

Revisión bibliográfica MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO INCORPORADO CON LOS ABONOS VERDES Y SU PARTICIPACIÓN EN LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA

Gloria M. Martín✉ y R. Rivera

ABSTRACT. Modern agriculture, in order to avoid environmental contamination problems and soil degradation, has aimed its work to search and apply different nutritional alternatives, that allow to keep high yields in the agricultural production. The use of green manures known for millenniums, is one of the mostly used alternative in the world, not only because of its nutrient contribution but also for the checked improvement of soil physical and biological properties. Several studies made in Cuba and in the world have shown the feasibility of using leguminous as green manure in rotation with economic crops such as rice, potato, pumpkin, corn and others. This review was aimed to present some results from studying the dynamics of green manure mineralization and the factors this process depends on. Also an outlook about the use of the stable isotope ^{15}N in the studies of manure participation in crop nutrition was made, making some emphasis on plant scoring and the evaluation of nutrient profitability. The efficient use of green manures in agricultural systems will depend on its adequate use, depending on the specific conditions existing in each place where it is applied. Taking into account the characteristics of each species, according to its speed and the extention of mineralization, it would be possible to optimize nitrogen absorption from green manures by post economic crop and get this way the highest crop productivity.

RESUMEN. La agricultura moderna, para evitar los problemas de contaminación ambiental y de degradación de los suelos, se ha dirigido a la búsqueda y aplicación de diferentes alternativas nutricionales, que permitan mantener altos rendimientos en la producción agrícola. El uso de los abonos verdes, conocido desde milenios atrás, es una de las alternativas mayormente utilizadas a nivel mundial, no solo por el aporte de nutrientes que realiza, sino también por la mejora comprobada de las propiedades físicas y biológicas del suelo. Diversos estudios realizados en el mundo y Cuba han demostrado la factibilidad del empleo de leguminosas como abonos verdes en rotación con cultivos económicos como el arroz, la papa, la calabaza, el maíz y otros. La presente revisión bibliográfica se encaminó a presentar algunos resultados de los estudios sobre la dinámica de la mineralización de los abonos verdes y los factores de los que depende este proceso, además de realizar una panorámica acerca del empleo del isótopo estable ^{15}N en los estudios sobre participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición de los cultivos, haciendo énfasis en el marcaje de estas plantas y la evaluación del aprovechamiento de este nutriente. El empleo eficiente de los abonos verdes en los sistemas agrícolas dependerá de su manejo adecuado, en dependencia de las condiciones específicas existentes en cada lugar donde se apliquen. Además, teniendo en cuenta las características de cada especie en cuanto a su velocidad y extensión de la mineralización, será posible optimizar la absorción del nitrógeno de los abonos verdes por el cultivo económico posterior y lograr de este modo una máxima productividad de las cosechas.

Key words: nitrogen cycle, green manures, mineralization, plant nutrition

Palabras clave: ciclo del nitrógeno, abonos verdes, mineralización, nutrición de las plantas

INTRODUCCIÓN

El empleo de los abonos verdes en la agricultura constituye una prác-

tica tradicional, que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas, con la finalidad de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, constituyendo una importante alternativa que puede sustituir parcial o totalmente los fertilizante minerales (1, 2, 3).

Las plantas utilizadas como abonos verdes generalmente pertenecen

a la familia de las leguminosas, por la posibilidad que tienen estas de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias del género *Rhizobium*, aunque en los últimos tiempos se cultivan otras especies de crecimiento rápido y de buena producción de masa verde, como es el caso de algunas gramíneas, crucíferas o compuestas (4).

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

Las funciones más importantes de los abonos verdes están referidas a: cobertura y protección del suelo, mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas, incremento de su contenido en materia orgánica, así como del aporte, reciclaje y movilización de nutrientes, combate de los nemátodos, las plagas y las enfermedades, control de plantas invasoras y la disminución del lavado de los nutrientes (4).

Para poder introducir esta alternativa nutricional en la agricultura, es necesario conocer cuáles son las especies mejor adaptadas, la velocidad y extensión de la mineralización del material vegetal incorporado y el grado de aprovechamiento de los nutrientes por el cultivo económico posterior.

En la presente revisión bibliográfica se resumen algunos resultados obtenidos en el mundo y en Cuba en relación con estos aspectos.

DESCOMPOSICIÓN DE LOS ABONOS VERDES. FACTORES DE LOS QUE DEPENDE

Los abonos verdes se siembran en el campo, en asociación o antes de sembrar el cultivo económico principal. Una vez que ha alcanzado el desarrollo óptimo en fitomasa y nutrientes, se procede a su incorporación al suelo, para que ocurra el proceso de mineralización, en el cual los componentes orgánicos de las plantas son degradados hasta la formación de los elementos en sus formas minerales simples. En el caso del nitrógeno, este pasa de N orgánico a N mineral, fundamentalmente en forma de nitratos. Los factores que determinan las tasas de mineralización del nitrógeno de los residuos orgánicos son temperatura, relación C:N, pH del suelo, mineralogía de las arcillas, humedad, biología del suelo y manejo de los residuos (5).

CALIDAD DEL MATERIAL INCORPORADO AL SUELO

Este es el factor más importante del cual depende la mineralización, porque la calidad y el volumen del material incorporado al suelo y la forma en que es manejado, regulan el grado y la extensión de la inmovilización o liberación del nitrógeno. Diversos autores han demostrado que la relación C:N de las plantas empleadas como abono verde influye decisivamente en la retención o no del nitrógeno. El conocer la relación C:N de los abonos verdes permite estimar cómo se comportarán la descomposición y mineralización después de la incorporación (6).

La relación C:N y la cantidad de lignina y celulosa presentes en los abonos verdes ejercen una influencia inversa en la velocidad de su descomposición, o sea, a mayor relación C:N y por ende mayor cantidad de lignina y celulosa, más lenta será la descomposición de los residuos, los cuales tienden a acumularse en el suelo de forma parcialmente descompuesta (7).

Las plantas con relación C:N alta, mayores de 25, forman una cobertura estable, que contribuye al incremento del contenido de materia orgánica y por ende a mejorar la estructura del suelo y a protegerlo del impacto de la lluvia y la radiación solar; además, favorece el desarrollo del sistema radical, la formación

de nódulos y la fijación simbiótica del nitrógeno. En plantas con relación C:N menor de 25, la mineralización del N es más rápida (8).

En estudios realizados en Cuba, donde se valoró la influencia de la relación C:N de diferentes abonos verdes sobre la capacidad de mineralización o inmovilización de estos, evaluada como el porcentaje de N mineralizado o inmovilizado (Figura 1), se encontró el índice crítico de relación C:N=36.35 por encima del cual hay una inmovilización del N del suelo y por debajo hay un incremento en la disponibilidad del nitrógeno mineral producto de la mineralización trabajando a 30°C de temperatura (9).

Las variaciones encontradas en los índices críticos de relación C:N dependen directamente de la temperatura, duplicándose este valor con incrementos de 10°C ($Q_{10}=2$). El Q_{10} es una expresión utilizada en cinética química y se utiliza para indicar cuántas veces aumenta la velocidad de una reacción química cada 10°C de variación de la temperatura (10).

Las variaciones en los índices críticos de la relación C:N deben ser producto de la intensificación del metabolismo microbiano a través de incrementos en la constante de velocidad del proceso de descomposición, ya que no deben existir variaciones en la relación C:N del protoplasma microbiano (10).

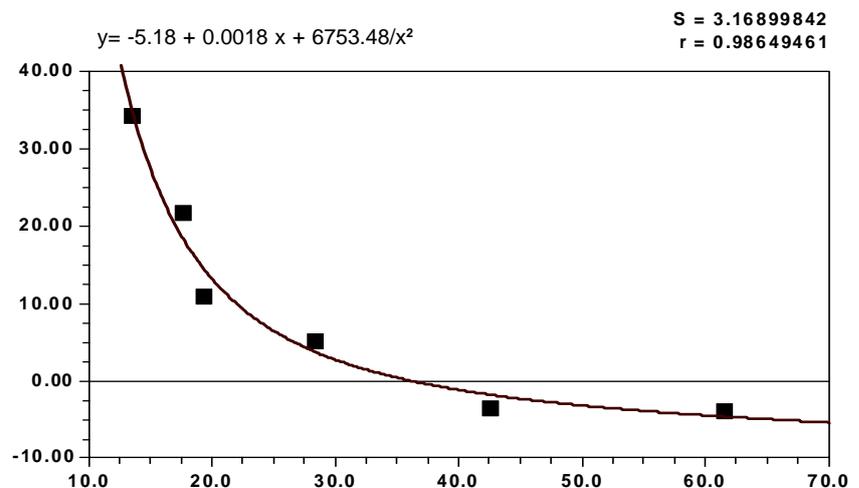


Figura 1. Influencia de la relación C:N en la mineralización del nitrógeno de los abonos verdes (9)

Varios autores han demostrado la influencia de la relación tallos : hojas en el comportamiento de la mineralización de los abonos verdes. Con relaciones mayores de 1 hay un predominio de los tallos, los que tienden a imponer su comportamiento de inmovilización como consecuencia de su alta relación C:N, a los mayores contenidos de lignina y posiblemente de polifenoles (8).

La influencia de la edad de los restos vegetales en la mineralización depende también de los cambios en los contenidos de C y N que tiene la planta con la edad. Algunos autores informan que en experimentos de incubación aeróbica con la especie *Sesbania rostrata*, encontraron que el N mineralizado disminuye a medida que aumenta la edad de las plantas (días después de la germinación) al ser incorporadas al suelo. Esto confirma el efecto depresor de los niveles de lignina ascendentes en un abono verde próximo a la floración sobre la mineralización del nitrógeno (11).

Como aplicación práctica del uso de la relación C:N de los abonos verdes y su manejo, en el Brasil se emplean las mezclas de especies de plantas leguminosas y gramíneas, las que dan una relación C:N "intermedia" (ni muy alta ni muy baja), que favorece una mineralización más paulatina del nitrógeno y evita problemas con la inmovilización de este elemento o su lavado (12).

INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDAFOCLIMÁTICOS

Los componentes vivos del suelo, incluyendo los microorganismos, raíces de las plantas e invertebrados, tienen un importante efecto en la mineralización de la materia orgánica y el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas. No solo influyen los diferentes componentes de la biota del suelo sino también las interacciones entre los distintos grupos de organismos. En condiciones de suelos Ferralíticos Rojos, se ha obtenido una aceleración del proceso de mineralización de los abonos

verdes en presencia de plantas de maíz, debido a la riqueza microbiana de su rizosfera y a la absorción activa de N que realizan en demanda de su metabolismo (9).

La mineralización del nitrógeno en suelos sometidos a condiciones alternas de períodos seco y húmedo es el doble de la mineralización obtenida cuando los suelos están sometidos a condiciones de humedad constante. La mayoría de los suelos tropicales pasan por estos períodos, lo que probablemente favorece la actividad microbiana del suelo, o tal vez, una mayor accesibilidad del humus a los microorganismos por la contracción o hinchamiento de los minerales arcillosos (13).

De forma general, la mineralización se incrementa con el aumento de la temperatura (10), siendo el óptimo para este proceso en condiciones tropicales mayor que en las regiones templadas, a partir de la adaptación de los microorganismos a las condiciones climáticas. Se ha encontrado un óptimo de 35°C para la nitrificación y de 50°C para la amonificación, aunque dejando claro que la velocidad de nitrificación es superior a la de amonificación (14).

Numerosos autores plantean que la mineralización es superior en condiciones aeróbicas que en anaeróbicas; de esta manera se han obtenido altas velocidades de mineralización en experimentos de incubación aeróbica (15). Por otra parte, se ha verificado que la mineralización de los abonos verdes es más lenta en los suelos inundados que en los aireados (16).

Los límites de pH entre los que la mineralización tiene lugar han sido dados generalmente entre 5,5 y 10, con el óptimo alrededor de 8.5. A medida que aumenta el pH del suelo hasta valores de 8,0, aumentan los rangos de mineralización hasta alcanzar 16.8 nmol/g/hora (17).

También el manejo que se le da a los abonos verdes en el momento de la incorporación influye en su mineralización, la cual es más rápida si se incorpora al suelo que si se deja sobre él, debido al mayor con-

tacto que existe entre el suelo y el residuo vegetal cuando se tapa. Los restos molidos provocan inmovilización del C y N, debido al mayor contacto de los restos en este estado físico con los microorganismos del suelo (18).

Otro aspecto a tener en cuenta y que influye sobre la mineralización del nitrógeno es que aumenta por la adición de fertilizantes de origen mineral y orgánico. 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 (19).

En estudios sobre mineralización del nitrógeno de los abonos verdes en presencia o no del cultivo económico posterior, se ha encontrado que la presencia de las raíces de las plantas estimula el proceso de mineralización, debido a la riqueza microbiana de su rizosfera y a la activa absorción del nitrógeno que realizan (20).

SINCRONÍA ENTRE EL PROCESO DE LIBERACIÓN DEL N-ABONOS VERDES Y LA ABSORCIÓN POR UN CULTIVO POSTERIOR

Una decisión importante en la práctica del abonado verde es la elección de la etapa de crecimiento o desarrollo, en la cual el abono verde es incorporado al suelo (21). Para incorporar un abono verde se debe tener en cuenta el momento de mayor fijación de nitrógeno y formación de fitomasa de las plantas; esto coincide generalmente con la fase de la floración y formación de vainas, es por ello que se recomienda realizar la incorporación en esta etapa, aunque existen especies cuyo ciclo es muy largo y, por tanto, para llegar a esta fase requieren de mucho tiempo en el campo, por lo que se recomienda la incorporación cuando hayan alcanzado una gran producción de fitomasa, independientemente de la fase en que se encuentren (14).

En un experimento realizado con residuos de caupí, se encontró que el nitrógeno mineralizado después de 10 semanas fue 24 % mayor que a las siete semanas. Debido a esto es que tiene particular importancia el dejar pasar un tiempo entre la incorporación del abono verde y la siembra posterior, para que ocurra una descomposición total (21).

Otros autores plantean que los más altos rendimientos de los cultivos se logran al sembrarlos en el intervalo más corto entre la incorporación del abono verde y la siembra del cultivo subsiguiente, sobre todo en condiciones tropicales con altas temperaturas e intensas precipitaciones (22).

Al incorporar residuos con una relación C:N alta, se debe esperar al menos 60 días antes de la próxima plantación para que los restos estén parcialmente descompuestos. Estos mismos autores plantean que si se desea acelerar el proceso de descomposición, se pueden añadir fertilizantes nitrogenados que disminuyen la relación C:N relativa o hacer compost con el material vegetal antes de su incorporación (23).

UTILIZACIÓN DEL ISÓTOPO ^{15}N EN LOS ESTUDIOS SOBRE PARTICIPACIÓN DEL N-ABONOS VERDES EN LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

La utilización de los isótopos del N en la agricultura o en los trabajos relacionados con la biología tienen como ventajas que en el caso de los sistemas agrícolas, estos son utilizados indistintamente por las plantas y permiten entonces estudiar la dinámica y el ciclo del N de una forma más precisa (24).

Entre los objetivos de trabajo en la investigación agrícola con el uso del ^{15}N están la cuantificación de la fijación biológica del nitrógeno (FBN), eficiencia de las fuentes nitrogenadas y el aprovechamiento del N- abonos verdes (25).

Marcaje de los abonos verdes con ^{15}N . Para el estudio del aprovecha-

miento del N de los abonos verdes es importante primeramente, la obtención del material vegetal enriquecido con ^{15}N (marcado), de esta manera es posible cuantificar la cantidad de N-leguminosa que se mineraliza, inmoviliza, es absorbida por los cultivos o sale del sistema producto de pérdidas por volatilización o lavado (26).

Para realizar este tipo de investigaciones de una manera precisa y confiable, es necesario marcar el material vegetal con 2 at% ^{15}N exc. como mínimo (2).

Una de las formas empleadas para la obtención de plantas de abono verde marcadas ha sido efectuar su crecimiento en macetas y canaletas (15) (Tabla I). El nitrógeno se aplica cada tres días, de modo tal que las plantas absorban la mayor cantidad posible de ^{15}N y que la FBN se reduzca al mínimo. Con este fin, es mejor la aplicación de fertilizantes basados en nitratos, ya que este anión inhibe la fijación biológica del nitrógeno (27).

Este autor obtiene bajos enriquecimientos debido a que las tres especies presentaron nodulación durante la primera siembra efectuada y la fijación biológica del nitrógeno (FBN) fue apreciable (15). En la segunda siembra, el sustrato se esterilizó y la nodulación fue mínima, estando esto también asociado a que el sustrato presentó desde el primer momento altos contenidos de nitrógeno.

La obtención de las plantas marcadas se debe realizar en el fotoperíodo más favorable para el desarrollo vegetativo de las plantas porque, de lo contrario, estas florecerían rápidamente y el crecimiento foliar disminuiría (15).

En Brasil procedieron a la esterilización del suelo, para así evitar la fijación biológica del nitrógeno y plan-

tean que es necesario el fraccionamiento de las dosis de N para que el fertilizante esté siempre a disposición de las plantas. De esta forma, lograron un enriquecimiento de la *Mucuna atterrimum* en el orden de 3.17 at% ^{15}N exc. y la *Crotalaria juncea* de 4.33 at% ^{15}N exc. (26).

Los mayores enriquecimientos de la *Crotalaria* se deben a la baja incidencia de la FBN, lo cual ocurrió debido a la baja nodulación detectada, factor confirmado por el menor tenor de nitrógeno e inferior crecimiento de las raíces. A pesar de las medidas tomadas, en el momento de la cosecha la mucuna presentó una mayor nodulación, reflejada en un mayor crecimiento y tenor de N, lo que trajo como consecuencia una dilución isotópica del nitrógeno marcado (at% ^{15}N más bajo y menor relación C:N).

En Cuba se han marcado plantas de abono verde procediendo a fertilizarlas diez días después de germinadas, con una dosis de 50 kg.ha⁻¹ de fertilizante con un 3.48 at% ^{15}N en un área de 1.80 m² situada en los dos metros centrales del tercer surco de cada parcela experimental (28). Por otra parte, en Francia se ha procedido de la misma forma y se plantea que el resto de la parcela se debe fertilizar con la misma fuente nitrogenada pero sin tener un enriquecimiento de ^{15}N (29).

En Venezuela se hicieron crecer plantas de crotalaria y sorgo en una mezcla de arena + vermiculita y cada siete días se aplicaron 100 ppm de N como ($^{15}\text{NH}_4$)₂SO₄ con 20% at% exc. Los autores consideran que la técnica usada para el marcaje resultó excelente, dado los altos valores obtenidos; las concentraciones de ^{15}N fueron las siguientes: sorgo 16 at% exc de ^{15}N y crotalaria 12 at% exc. de ^{15}N (30).

Tabla I. Porcentaje de nitrógeno y at % ^{15}N exceso del material marcado (15)

	Hojas		Tallos		Raíces	
	% N	at % ^{15}N	% N	at % ^{15}N	% N	at % ^{15}N
<i>Crotalaria</i>	5.38	1.88716	2.12	2.10381	1.96	1.86155
<i>Mucuna</i>	3.59	1.99155	1.55	2.01369	2.16	1.84766
<i>Canavalia</i>	3.3	1.7409	1.33	1.72692	1.55	1.18071

EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DEL N-ABONOS VERDES

La evaluación del aprovechamiento de los nutrientes aplicados en los sistemas agrícolas reviste una importancia significativa en el orden de esclarecer de una manera exacta el grado de participación de las diferentes alternativas nutricionales, incluyendo a los abonos verdes, en la nutrición de los cultivos. En el caso del nitrógeno se puede realizar de dos formas: por el método directo (dilución isotópica del ^{15}N) y el método indirecto (método de las diferencias) (2).

El método de dilución isotópica se basa en las diferencias en composición isotópica de las diferentes fuentes de N disponible para el crecimiento de las plantas, a saber: N-suelo, N-fertilizante y N_2 . Estas diferencias pueden presentarse a partir de las pequeñas aunque detectables diferencias en la abundancia natural del ^{15}N o por la adición de materiales enriquecidos o empobrecidos al suelo o al sustrato, lo que permite identificar claramente en la planta el N proveniente de las distintas fuentes (marcadas y no marcadas) (26).

Por otra parte, el método de las diferencias se basa en la suposición que la cantidad de nutrientes del suelo que toma el cultivo es independiente de la cantidad del fertilizante (nutriente) aplicado. El método se ejecuta a través de la evaluación de la absorción del N en dos parcelas.

En la parcela sin fertilizante nitrogenado se estima la cantidad de N que aporta el suelo. La parcela con fertilizante sirve para evaluar la cantidad de N que el cultivo absorbe, tanto del suelo como del fertilizante y de ahí, por diferencia entre ambas, se estima la cantidad del nutriente del fertilizante absorbido por el cultivo (25).

De forma general, en experimentos con respuesta a la fertilización, las plantas de las parcelas fertilizadas toman más N del suelo que las no fertilizadas (efecto "priming"), lo cual se atribuye a un efecto del fer-

tilizante sobre la velocidad del suministro de nutrientes del suelo (mineralización) a través de los procesos físico-químicos y microbiológicos del suelo (31). Además, las plantas que se desarrollan en parcelas fertilizadas exploran un mayor volumen de suelo, lo cual trae por consecuencia que realicen una mayor absorción de N.

Coincidiendo con esto, en resultados obtenidos en Cuba, investigando el efecto de los abonos verdes y los fertilizantes minerales nitrogenados sobre el cultivo del maíz crecido en condiciones de macetas que contenían suelo Ferralítico Rojo, también se ha observado el efecto "priming" (Tabla II) (9), al encontrar un menor coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno por el método isotópico que por el de las diferencias, variando entre un 7-15 %, lo que se debe probablemente a la movilización complementaria del nitrógeno del suelo bajo la influencia de las fuentes nitrogenadas aplicadas.

También en Brasil se ha encontrado este efecto en *Brachiaria decumbens*, la que incrementa la absorción del nitrógeno del suelo durante el período experimental, sugiriendo el efecto estimulador de las fuentes nitrogenadas sobre la toma del nutriente (32).

Como resultado de la fertilización nitrogenada, los cultivos toman más nitrógeno, tanto del suelo como de la fuente nitrogenada que se aplica. La suposición en la cual se basa el método de las diferencias es incorrecta y siempre que sea posible, la absorción del nitrógeno debe ser medida por métodos isotópicos.

La aplicación del método de las diferencias presenta resultados más similares a los obtenidos con el método isotópico, en la medida que el suelo aporte menos N (suelos con bajos contenidos de materia orgánica y N total) (28).

En otro tipo de experimento, trabajando con residuos de sorgo y crotalaria marcados con ^{15}N en Venezuela, se pudo calcular el aporte de N al suelo realizados por estas plantas empleadas como abono verde. Los mejores resultados fueron obtenidos con la crotalaria: 75-88 kg N.ha⁻¹. Los resultados permitieron concluir que la incorporación de abonos verdes es una práctica de alto potencial de uso en los suelos agrícolas, porque permite obtener concentraciones importantes de nitrógeno en el suelo (30).

EFICIENCIA DEL N APLICADO CON LOS ABONOS VERDES

Para optimizar el uso del nitrógeno incorporado con las leguminosas, es necesario llegar a estimar con precisión la velocidad de mineralización del material vegetal después de ser incorporado al suelo, teniendo en cuenta que el uso eficiente de esta fuente depende de una buena sincronización entre el N liberado de los residuos y la activa absorción por el cultivo subsiguiente.

En estudios realizados en condiciones de macetas en Brasil, se ha encontrado que entre el 85 y el 95 % del N proveniente de los abonos verdes fue absorbido por el maíz en los primeros 29 días después de la germinación, indicando una rápi-

Tabla II. Coeficiente de aprovechamiento del N aplicado con distintas fuentes por el cultivo del maíz a los 60 días después de la germinación (adaptado de 9)

Tratamientos	Método isotópico	Método de las diferencias
Fertilizante mineral $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	20.32 b	27.15 b
Abono verde <i>Canavalia ensiformis</i>	20.66 b	27.64 b
Fertilizante mineral + abono verde	42.53 a	57.13 a
ES x	2.56 ***	1.62 ***

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren según Prueba de Comparación de Medias de Duncan al 5 %

da mineralización. Asimismo, estos autores encontraron valores altos en el aprovechamiento del N absorbido por el maíz proveniente de los diferentes abonos verdes, siendo estos para la mucuna y la canavalia de 42 y 53 % respectivamente, elevándose hasta 68-72 % para *Crotalaria juncea* (33).

Igualmente, se han encontrado variaciones en el coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno-residuos de leguminosas por el cultivo del maíz en dependencia de las especies; así por ejemplo, para el frijol chino este índice fue de 7 a 11%, para el caupí de 11 a 20 % y para el maní de 12 a 26 % (11).

Por otra parte, se ha informado que con los abonos verdes la utilización del nitrógeno por el trigo (*Triticum aestivum* L.) ha sido alta en comparación con el fertilizante inorgánico, debido principalmente a que el N proveniente de los abonos verdes estuvo mayormente disponible durante la fase crítica de desarrollo del cultivo (34).

En Cuba, en estudios realizados sobre la eficiencia del nitrógeno de los abonos verdes en el cultivo del maíz, se ha encontrado que esta oscila entre 30 y 50 % en condiciones de suelo Ferralítico Rojo (Tabla III), y el autor plantea que esto es debido fundamentalmente a la baja relación C:N del material incorporado y las altas temperaturas que favorecen la rápida mineralización del nitrógeno (28).

Otros estudios realizados por el método isotópico en Filipinas han mostrado, en el cultivo del tomate, que este es capaz de absorber solo entre un 9-15 % del nitrógeno aportado por *Indigofera tinctoria* L. y *Vigna radiata* (L.) Wilez, debido a que la

cosecha se realizó en la estación seca, la cual debe estar influyendo sobre la mineralización del nitrógeno (35).

CONSIDERACIONES FINALES

El empleo eficiente de los abonos verdes en los sistemas agrícolas dependerá de su manejo adecuado, en dependencia de las condiciones específicas existentes en cada lugar donde se apliquen, reflejado por la introducción de especies promisorias según la época del año, las condiciones edafoclimáticas imperantes y el objetivo perseguido con su utilización.

Además, teniendo en cuenta las características de cada especie en cuanto a su velocidad y extensión de la mineralización, será posible optimizar la absorción del nitrógeno de los abonos verdes por el cultivo económico posterior y lograr de este modo una máxima productividad de las cosechas.

La introducción a escala más extensiva de los abonos verdes depende de numerosos factores, entre ellos: la necesidad de producir las semillas en las mismas unidades donde van a ser utilizados, la inclusión de estos en los planes de rotación y asociación de los cultivos económicos en las fincas, así como la necesidad de una mayor conciencia de esta práctica entre los agricultores; esta última dependerá de la extensión de la producción sostenible de alimentos mediante prácticas agroecológicas de vital importancia en el desarrollo de los países de América Latina con escasos recursos como Cuba.

REFERENCIAS

1. MacKenzie, J. Green manure cover crops for Minnesota [Consultado 19-5-2000]. Disponible en: <http://www.3.extension.umn.edu/projects/yardandgarden/ygbriefs/H234_greenm.html>.
2. Ambrosano, E. J. /et al./ Técnica para marcação do adubo verde *Crotalaria juncea* com ¹⁵N para estudos de dinâmica do nitrogênio. En Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. (15:2001 nov. 11-16, Varadero). CD-ROM. 2001.
3. Monedero M.; Alfonso, C. A.; González, B. y Uriarte, R. Factibilidad económica y ecológica del uso de la asociación Maíz+*Canavalia ensiformis* en un sistema maíz-frijol. III Taller de Sistemas Integrados de Nutrición de las Plantas. En: Congreso Científico del INCA (13:2002, nov. 12-15, La Habana) *Memorias*. CD-ROM. Instituto Nacional del Ciencias Agrícolas, 2002. ISBN 959-7023-22-9.
4. Lloyd, P. Green manure crops. 2000. [Consultado 25-4-2000]. Disponible en: <http://www.buryrd.demon.co.uk/green.htm>.
5. Argenta, G. Maize nitrogen fertilization in no-tillage system following black oat. [Consultado 11-5-2001]. Disponible en: <http://www.ufsm.br/ccr/revista/resumos/rv294/eng/rvi294_1030.html>.
6. Jensen, S. L.; Mueller, T.; Magid, J.; Nielsen, N.E. Temporal variation of C and N mineralization, microbial biomass and extractable organic pools in soil after oilseed rape straw incorporation in the field. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, vol. 29, no. 7, p. 1043-1055.

Tabla III. Coeficiente de utilización del N incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz. Método isotópico y de las diferencias (28)

Variantes	N total maíz (kg.ha ⁻¹)	N aportado (kg.ha ⁻¹)	% utilización AV (método isotópico)	% utilización (met. dif.)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Relación tallo:hoja
<i>Crotalaria</i>	73.1	125.12	27.6 bc	34.1 b	4.40a	1.90
<i>Mucuna</i>	74.4	52.07	88.7 a	85.9 a	3.32bc	0.75
<i>Sesbania</i>	81.3	147.9	30.8 b	34.2 b	3.42b	2.20
<i>Canavalia</i>	54.6	87.15	25.2 c	27.0 c	3.02c	0.87
Fertilización mineral	97.0				3.02c	
Testigo	30.6				2.02d	
ESx			2.500 ***	2.134 ***	1.10***	

7. España, M. /et al./ Actividades enzimáticas y contribución de los residuos de cosecha del maíz al nitrógeno del suelo en diferentes sistemas de labranza en los llanos centrales, Venezuela. En Congreso Latinoamericano y Cubano de la Ciencia del Suelo. (15, 5:2001 nov. 11-16, Varadero). CD-ROM. 2001.
8. 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.
9. 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. p. 73.
10. 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.
11. Meelu, O.; Yadvinder-Singh y Bijay-Singh. Green manuring for soil productivity improvement. World Soil Resources Report. Department of Soils Punjab Agricultural University Ludhiana, India. Roma : FAO, 1994. 119 p.
12. Calegari, A. Plantas de Cobertura e Rotação de Culturas no Sistema Plantio Direto. En: Memorias de la V Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista. (5:1999 oct 3-7, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil) *Memorias*. CD-ROM. RELACO-01/00. 1999.
13. Coutinho, J. /et al./ Efeito da secagem e re-humedecimento do solo: modelos cinéticos de estimativa do N mineralizável. En Congreso Latinoamericano y Cubano de la Ciencia del Suelo. (15, 5 nov. 11-16, Varadero). CD-ROM. 2001.
14. 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 doctorado], INCA, 1997. 98 p.
15. Rivera, R. Relatorio sobre los trabajos realizados en el CNPAB/EMBRAPA, durante el período 15/05/94 hasta 9/12/94. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 1994. 60 p.
16. Rekhi, R. S.; Bajwa, M. S. Effect of urea application timing on ammonia volatilization in green manure amended wetland rice soil. *International Rice Research Notes*, 1994, vol. 19, no. 1.
17. Stevens, R. J.; Laughlin, R. J.; Malone, J. P. Soil pH affects the processes reducing nitrate to nitrous oxide and di-nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, vol. 30, no. 8-9, p. 1126-1149.
18. Vigil, M. F. Factors affecting the rate of crop residue decomposition under field conditions. *Conservation Tillage Fact Sheet*, 2001, no. 3, p. 95.
19. 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.
20. Martín, G. M. y Rivera, R. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* en un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. III Taller de Sistemas Integrados de Nutrición de las Plantas. En: Congreso Científico del INCA (13: 2002, nov 12-15, La Habana) *Memorias*. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2002. ISBN 959-7023-22-9.
21. 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.
22. George, T. /et al./ Recycling *in situ* of legume-fixed and soil nitrogen in tropical lowland rice. *Agron J.*, 90:429-437. 1998. [Consultado 19-5-2000]. Disponible en: <<http://link.springer-ny.com/link/service/journals/10087/bibs/90n3p429.html>>.
23. Couillet, F. /et al./ Estimación del aporte de N del suelo en un cultivo de maíz (*Zea mays*). En Congreso Latinoamericano y Cubano de la Ciencia del Suelo. (15, 5: nov. 11-16, Varadero). CD-ROM. 2001.
24. Dueñas, G.; Muñiz, O.; Alfonso, C. A. y Hernández, M. La producción de maíz y frijol por métodos sostenibles: un ejemplo de la aplicación pacífica de la tecnología nuclear en la agricultura. III Taller de Sistemas Integrados de Nutrición de las Plantas. En: Congreso Científico del INCA (13: 2002, nov 12-15, La Habana) *Memorias*. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2002. ISBN 959-7023-22-9.
25. Rivera, R. Uso del isótopo ¹⁵N en los estudios suelo-planta-suministro de nutrientes. En. Curso de Técnicas Isotópicas en la relación Suelo-Planta. Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 1999. 36 p.
26. Ambrosano, E. J. /et al./ O papel das leguminosas na recuperação da fertilidade do solo e sua relação com a proteção de plantas em sistemas de produção ecológica. En: Resumos do 1º Encontro de Processos de Proteção de Plantas. Controle Ecológico de Pragas e Doenças. Botucatu: Agroecológica : 2001, p. 37-60.
27. Curbelo, S. y Pastorini, D. Influencia del cultivo de referencia y del método isotópico (Dilución isotópica y valor "A") en la evaluación de cepas de Rizobios en soja y trébol blanco. Memorias Agricultura. En: First International Symposium on nuclear and related techniques in agriculture industry, health and environment. Workshop on nuclear physics (1:1997 oct. 28-30:La Habana), 1997.
28. 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 h.
29. 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.
30. Torres, A. y Rivero, C. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados con ¹⁵n sobre el nitrógeno en dos suelos venezolanos. En Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. (15: nov 11-16, Varadero). CD-ROM. 2001.

31. Kuzyakov, Y.; Friedel, J. K. y Stahr, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, vol. 32, no. 11-12, p. 1485-1498.
32. 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.
33. Rivera, R. y Urquiaga, S. Mineralización y participación del nitrógeno de tres especies de abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz. En: Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica : Programa y Resúmenes. La Habana, Cuba. 1995.
34. Badaruddin, M. y Meyer, D. Green manure legume effects on soil nitrogen grain yield and nitrogen nutrition of wheat. *Crop Science*, 1990, vol. 30, no. 4, p. 819-825.
35. 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: 18 de marzo de 2003

Aceptado: 23 de marzo de 2004

Cursos de Verano

Precio: 320 USD

Producción y manejo de biofertilizantes en condiciones del trópico

Coordinador: Dr.C. Nicolás Medina Basso

Fecha: 8 al 12 de julio

SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (64) 6-3773
Fax: (53) (64) 6-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu