EFICIENCIA DEL NITRÓGENO INCORPORADO CON LOS ABONOS VERDES EN EL CULTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays*)

Mayté Alvarez, Margarita García y Eolia Treto

ABSTRACT. A field experiment was carried out at the National Institute of Agricultural Sciences in 1996-1997, with the purpose to study the efficiency of applying N with green manures used as maize precedent crop. The effect of four green manure species: *Crotalaria juncea, Sesbania rostrata* and *Canavalia ensiformis* was compared with two check treatments. The first one without green manure, but with nitrogen fertilizer and the second one without green manure, and without mineral fertilizer. 50 kg.ha^{-1} ^{15}N fertilizer 3.48 at % were applied 10 days after plant germination to 1.80 m^2 subplots. The N-utilization coefficient was determined by means of the difference and isotopic methods. Results showed an increase of maize yield by applying green manures, which was higher to absolute check treatment between 1 and 2.4 t.ha^{-1} and to the mineral fertilizer treatment from 0.3 to 1.78 t.ha^{-1}. *Crotalaria juncea* and *Sesbania rostrata* species showed the best behavior this response being related to the high contribution of phytomass nutrients and the high C:N relationship in the plant under spring-summer conditions. N utilization coefficient embodied to green manures varied from 25 to 89 %, depending on the species studied, N-mucuna being the most efficiently used (89 %) by maize.The biological nitrogen fixation (BNF) varied between 48 and 89 %.

Key words: fertilization efficiency, nitrogen, *Zea mays*, green manure, biological nitrogen fixation, BNF

RESUMEN. Durante el período 1996-1997, en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas se llevó a cabo un experimento de campo, con el objetivo de estudiar la eficiencia del N incorporado con especies de plantas leguminosas como abonos verdes y utilizadas como precedentes del cultivo del maíz. Se comparó el efecto de cuatro especies de leguminosas: *Crotalaria juncea, Sesbania rostrata* y *Canavalia ensiformis* con dos testigos: el primero sin abono verde, con fertilizante mineral y el segundo sin abono verde, sin fertilizante mineral. A los 10 días de germinadas las leguminosas, se aplicó ^{15}N en sub-parcelas de 1.80 m^2 a razón de 50 kg.ha^{-1} de N a 3.48 at %. Se determinó el coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno por el método de las diferencias y el isotópico. Los resultados mostraron un incremento de los rendimientos del maíz con el uso de los abonos verdes, siendo este superior al control absoluto entre 1 y 2.4 t.ha^{-1} y a la variante con fertilizante mineral entre 0.3 y 1.78 t.ha^{-1}. *Crotalaria juncea* y *Sesbania rostrata* fueron las especies con mejor comportamiento, estando esta respuesta en relación con los altos aportes de fitomasa, nutrientes y la alta relación C:N del material que éstas incorporan en condiciones de primavera-verano. El coeficiente de aprovechamiento del N incorporado con los abonos verdes varió de 25 a 89 %, estando en dependencia de las especies estudiadas, siendo el N–mucuna el más eficientemente utilizado (89 %) por el maíz. La fijación biológica del nitrógeno (FBN) varió de 48 a 89 %.

Palabras clave: eficiencia de fertilización, nitrógeno, *Zea mays*, abonos verdes, fijación biológica del nitrógeno, FBN

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura en los trópicos ha resultado en una disminución de las tierras agrícolas y una insuficiente producción de alimentos incapaz de satisfacer las necesidades de una creciente población (Beare, Vikramreddy y Srivastava, 1997). Por otra parte, y, en particular, el uso excesivo de los fertilizantes químicos ha provocado efectos negativos de contaminación sobre el medio ambiente y la naturaleza.

Mayte Alvarez, Investigadora; Dra. Margarita García, Investigador Auxiliar y Dra. Eolia Treto, 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.

En este sentido, la práctica del abonado verde y, en especial, el uso de leguminosas en rotación con los cultivos económicos es considerada como una buena alternativa, por la capacidad que tienen estas de fijar nitrógeno atmosférico, que después queda aprovechable para los cultivos. Este proceso es bastante significativo para un gran número de especies, llegando a fijar algunas, como la *Leucaena leucocephala*, cantidades de hasta 400 kg.ha^{-1}.año^{-1} (Da Costa, 1995).

Para ordenar y sistematizar una rotación de cultivos, es necesario conocer el grado de aprovechamiento de los nutrientes incorporados con los abonos verdes por los cultivos sucesores. Para estos estudios se han utilizado métodos convencionales, el método de las diferencias y otros de avanzada como el isotópico, siendo

este último directo y eficiente para lograr este propósito (Milagros Monedero *et al.*, 1998).

El efecto positivo de la rotación de cultivos con leguminosas ha sido demostrado por diferentes autores (Burkles, 1994; Guzmán, Pozo y Rodríguez, 1995; Van der Mey, 1995 y Bierderbeck *et al*., 1998) sobre todo en gramíneas, principalmente el maíz por la importancia que tiene este cereal, no solo en la alimentación humana sino también en la alimentación animal, tanto por su forraje como por sus granos que son sumamente nutritivos.

Asimismo, 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 (Alfonso *et al*., 1994; Irene Moreno, Leyva y María E. Dominí, 1996 y Margarita García, 1997), faltando aún investigaciones que contengan desde el conocimiento de las especies más avanzadas hasta su incorporación final a los sistemas agroproductivos de una amplia gama de cultivos agrícolas, en particular el maíz.

Es por ello y conociendo que el éxito de esta práctica depende del conocimiento de las especies idóneas definidas por hábitat, vigor de crecimiento y eficiencia hasta su introducción final a los sistemas productivos, se llevó a cabo el presente trabajo con los objetivos siguientes:

- ⇨ determinar el efecto de diferentes especies de abonos verdes en rotación sobre el cultivo del maíz,
- ⇨ conocer el coeficiente de aprovechamiento del N incorporado con abonos verdes por el cultivo del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos propuestos, este experimento fue conducido sobre un suelo Ferralítico Rojo (Hernández *et al*., 1975) en áreas de la Estación Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) a 138 m sobre el nivel del mar, en San José de las Lajas, provincia La Habana.

Las principales características químicas del suelo así como las condiciones climáticas en el período experimental (1996-1997) se presentan en las Tablas I, II, III y IV.

Tabla I. Características químicas del área experimental (0-30 cm)

pH (H_2O)	MO (%)	P asimilable (ppm)	K	Ca	Mg
				cmol.kg^{-1}	
6.50	2.42	325.25	0.66	12.87	2.51

Tabla II. Precipitación (mm)

Años	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
1996	127.8	159.9	154.5	149.6	127.1	207.1	55.4
1997	165.3	0.0	143.1	179.2	242.1	150.3	170.3

Tabla III. Humedad relativa (%)

Años	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
1996	82	83	83	83	84	86	83
1997	80	87	81	82	86	83	79

Tabla IV. Temperatura promedio (^{0} C)

Años	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
1996	24.9	25.8	26.6	26.6	25.7	24.7	22.8
1997	26.2	25.8	26.9	26.7	25.7	24.5	23.8

En este experimento se estudiaron seis tratamientos que fueron:

1. testigo absoluto (sin abono verde, sin fertilizante mineral)
2. testigo mineral (sin abono verde y con fertilizante mineral: 150 y 100 kg.ha^{-1} de N y K_2O, respectivamente)
3. *Crotalaria juncea*
4. *Canavalia ensiformis*
5. *Sesbania rostrata*
6. *Mucuna aterrimum.*

Los tratamientos se distribuyeron en el campo, de acuerdo con un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas.

La siembra de los abonos verdes se llevó a cabo de forma manual en parcelas de 32.4 m^2, utilizando diferentes densidades de siembra, de acuerdo con las especies estudiadas (0.45 m entre hileras y alto número de semillas por metro).

A los 10 días de germinadas las plantas, se procedió a fertilizar las parcelas con ^{15}N a razón de 50 kg.ha^{-1} de N en forma de urea en solución, con una abundancia de 3.48 at % ^{15}N, en un área de 1.80 m^2 (2 x 0.90 m) situada en los dos metros centrales del tercer surco de cada parcela.

A los 60 días se procedió a la incorporación de los abonos verdes, evaluándose antes el aporte de fitomasas fresca y seca, y de NPK mediante un muestreo de plantas completas. Para ello, se tomaron las plantas correspondientes a un área de 0.45 m^2 por parcela, subdividiéndose éstas en sus respectivos órganos; de cada órgano se halló el peso fresco, tomándose una muestra de 100 g, la cual fue procesada posteriormente en el laboratorio, determinándose el aporte de fitomasa seca y de NPK por órgano.

La incorporación se realizó de forma superficial, utilizando un arado de disco ADI-3M (cubano). Inmediatamente después se procedió a la preparación del suelo, utilizando el sistema de labranza mínima (una aradura, una o dos gradas).

Antes de la siembra del maíz se fertilizaron las cuatro parcelas correspondientes a la variante con fertilización mineral (NK), aplicando una dosis de 150 kg.ha^{-1} de N en forma de urea y 100 kg.ha^{-1} de K_2O como KCl. El 40 % de la dosis total de N fue aplicada en la siembra y el 60 % restante a los 45 días de la germinación.

La siembra del maíz se llevó a cabo a los 15 días de la incorporación del abono en un medio de 0.90 x 0.25 m.

Se procedió a la cosecha a los 90 días, realizando antes un muestreo de plantas completas, con el objetivo de determinar la formación de fitomasas fresca y seca y la extracción total de NPK, así como el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes.

Las labores culturales y atenciones fitosanitarias fueron realizadas de acuerdo con las Normas Técnicas del cultivo del maíz (Cuba. MINAGRI, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aporte de fitomasa y nutrientes de los abonos verdes incorporados. Según se muestra en la Tabla V, excepto la *Mucuna aterrimum* y la *Canavalia ensiformis* que aportaron cantidades muy bajas de fitomasa y nutrientes, el resto de las especies realizaron suministros considerables de estos. La *Crotalaria juncea* y la *Sesbania rostrata* fueron las especies más sobresalientes en este sentido, con aportes de fitomasa fresca de 27.5 y 25.3 t.ha^{-1} y de 7.8 y 7.4 t.ha^{-1} de fitomasa seca respectivamente.

Tabla V. Aportes de fitomasa y nutrientes de los abonos verdes incorporados

Especies	Masa fresca (t.ha^{-1})	Masa seca (t.ha^{-1})	N (kg.ha^{-1})	P (kg.ha^{-1})	K (kg.ha^{-1})
Canavalia	16.02 c	3.01 c	87.15 c	13.97 c	76.25 c
Mucuna	10.51 d	2.02 d	52.07 d	6.57 d	32.12 d
Sesbania	27.52 a	7.89 a	147.92 a	19.85 a	130.72 a
Crotalaria	25.32 b	7.35 b	125.12 b	17.32 b	102.10 b
ESx	0.457***	0.15***	0.781***	0.685***	2.101***

Las especies acumularon nitrógeno, que varió de 52 kg.ha^{-1} con mucuna a 148 kg.ha^{-1} con sesbania; los aportes de potasio, por su parte, variaron de 32 kg.ha^{-1} con mucuna a 131 kg.ha^{-1} con crotalaria.

Los resultados confirman lo indicado por numerosos autores (Calegari, 1995; Irene Moreno, Leyva y María E. Dominí, 1996 y Margarita García, 1997), los cuales refieren que la sesbania y la crotalaria son especies de exuberante desarrollo, que se adaptan a condiciones tropicales: altas lluvias, altas temperaturas y días largos, produciendo abundante fitomasa de 4 a 8 t.ha^{-1} y cantidades de nitrógeno que varían de 140 a 160 kg.ha^{-1} para crotalaria y sesbania, respectivamente.

Efecto de los abonos verdes incorporados sobre el rendimiento del maíz y sus componentes. Los abonos verdes incorporados tuvieron una influencia positiva y significativa sobre el rendimiento del maíz (Tabla VI). Los más altos rendimientos del cultivo se obtuvieron con la incorporación de la *Crotalaria juncea*, con la cual se lograron incrementos por encima del control absoluto de 2.4 t.ha^{-1} (218 %), siendo estos asimismo superiores a la aplicación del fertilizante mineral en 1.38 t.ha^{-1} (145 %). Comportamientos intermedios se observaron con el resto de las especies evaluadas, obteniéndose con la incorporación de canavalia, mucuna y sesbania rendimientos similares a la variante con aplicación del fertilizante mineral y superiores al testigo absoluto en valores que oscilaron de 1 a 1.4 t.ha^{-1}.

Tabla VI. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del maíz (t.ha^{-1})

Tratamientos	Rendimientos (t.ha^{-1})	Incremento respecto al testigo (t.ha^{-1})	Incremento respecto al testigo (%)	Incremento respecto al fertilizante mineral (t.ha^{-1})	Incremento respecto al fertilizante mineral (%)
Testigo	2.02 d	-	-	-	-
Fertilizante mineral	3.02 c	1.00	149.5	-	-
Canavalia	3.02 c	1.00	149.5	0.00	0.00
Mucuna	3.32 bc	1.30	164.4	0.30	109.90
Sesbania	3.42 b	1.40	169.3	0.40	113.20
Crotalaria	4.40 a	2.40	217.8	1.38	145.70
ESx	1.10***				

El índice del componente correspondiente al número de mazorcas por parcela se comportó de forma similar al rendimiento por área en los tratamientos evaluados (Tabla VII). En este sentido, el número de mazorcas clase A fue de 10 a 13 veces superior al testigo absoluto, cuando se utilizaron los abonos verdes y de dos a tres veces superiores a la variante con fertilizante mineral. El número de mazorcas clase B fue significativamente superior al testigo absoluto cuando se emplearon los abonos verdes. Sin embargo, el número de mazorcas clase C, de inferior calidad, fue superior en las variantes de peor comportamiento (testigo absoluto y fertilización mineral), comportándose de forma inversa en las variantes donde se incorporaron los abonos verdes.

Tabla VII. Efecto de los tratamientos sobre el N de mazorcas por parcela

Tratamientos	Número de mazorcas		
	Clase A	Clase B	Clase C
Testigo	0.00 d	9.25 b	33.25 a
Fertilizante mineral	5.25 c	16.75 a	26.25 ab
Canavalia ensiformis	13.00 ab	20.50 a	11.75 d
Mucuna aterrimum	15.25 a	19.25 a	11.25 d
Sesbania rostrata	11.50 ab	23.00 a	16.75 cd
Crotalaria juncea	10.50 b	18.25 a	20.00 bc
ES x			

De acuerdo con numerosos autores y en coincidencia con los resultados encontrados, es ampliamente reconocida la factibilidad del empleo de los abonos verdes para lograr incrementos sustanciales en los rendimientos de los cultivos agrícolas. Así, en condiciones similares a las estudiadas en Cuba, Margarita García (1997), en el cultivo de la calabaza, indicó que la *Crotalaria juncea* fue la especie con mejor comportamiento en las condiciones de primavera, al incrementar sus rendimientos de 4 a 6 t.ha^{-1} por encima de la fertilización mineral y del control, respectivamente . Igualmente, en Brasil, Ferreira y Carvalho (1996), al utilizar algunas leguminosas en rotación con el maíz, obtuvieron los mejores resultados con la *Crotalaria juncea* . Por otra parte, Bravo (1998), en Nicaragua, al utilizar la canavalia, la mucuna y el caupí en

rotación con el maíz, observó que los rendimientos de este cultivo fueron favorecidos hasta en un 91 %.

En general, los resultados anteriormente obtenidos reflejan una relación directa entre los rendimientos del maíz y la magnitud de los aportes de las especies de leguminosas en rotación. En este sentido, la crotalaria y la sesbania,con los mayores aportes, fueron las que repercutieron en mayor magnitud sobre los rendimientos del maíz; la mucuna y la canavalia con los más bajos aportes, tuvieron influencia pobre en el rendimiento del cultivo posterior.

Eficiencia del nitrógeno incorporado con los abonos verdes. El coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno incorporado con los abonos verdes varió en dependencia de las especies estudiadas (Tabla VIII).

Tabla VIII. Coeficiente de utilización del N incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz. Métodos isotópico y de las diferencias

Variante	N total maíz	N-AV aportado	% de N derivado del abono verde	% de utilización del abono verde	
	(kg.ha^{-1})		Método isotópico	Métodos	
				isotópico	diferencias
Crotalaria	73.1	132.2	50.1	27.64	32.4
Mucuna	74.4	53.8	89.0	88.70	81.4
Sesbania	81.3	126.1	47.7	30.80	40.2
Canavalia	54.6	144.6	66.8	25.20	17.0
Mineral	97.0	-	-	-	-
Control	30.6	-	-	-	-

En este sentido, el nitrógeno incorporado con la mucuna fue el más eficientemente utilizado por el cultivo del maíz (89 %), en comparación con el resto de las especies, que variaron en el siguiente orden: 30.8, 27.64 y 25.2 % para sesbania, crotalaria y canavalia, respectivamente.

Resultados similares fueron obtenidos por Senaratne, Liyanage y Soper (1995), quienes encontraron 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 %.

De igual modo, Rivera y Urquiaga (1995) obtuvieron diferentes valores en el porcentaje de nitrógeno absorbido por el maíz, en dependencia de las especies de abonos verdes estudiadas; así, para canavalia y mucuna, estos valores fueron de 42 y 53 %, mientras que para la crotalaria se elevaron hasta 68-72 %.

En cuanto a los dos métodos utilizados (de las diferencias y el isotópico), no se observaron diferencias apreciables en el porcentaje de utilización del nitrógeno-abono verde.

El índice de eficiencia del nitrógeno incorporado con las diferentes especies evaluadas, no tuvo relación directa con la respuesta encontrada en el rendimiento del cultivo del maíz, por lo que todo parece indicar que la eficiencia de los diferentes materiales depende, además, del volumen y la calidad del material incorporado, de una serie de indicadores, los cuales son: efectos alelopáticos, control de plantas invasoras, control sobre patógenos del suelo, etc, conocidos todos en su conjunto como efecto de “rotación”.

El porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde (FBN) varió en dependencia de las especies estudiadas, oscilando estos valores entre 48 y 89 %.

CONCLUSIONES

- La *Crotalaria juncea* y la *Sesbania rostrata* desarrolladas en las condiciones de primavera fueron las especies con mejores comportamientos al utilizarlas en rotación y como abono verde en el cultivo del maíz.
- Los rendimientos obtenidos en el cultivo del maíz estuvieron en correspondencia con la magnitud de los aportes de fitomasa y nutrientes de los abonos verdes incorporados, correspondiendo a la *Crotalaria juncea* y la *Sesbania rostrata* las especies con mejores aportes al sistema.
- El coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno incorporado en el cultivo del maíz varió de 25 a 89 %, siendo el nitrógeno-mucuna el más eficientemente aprovechado (89 %) en comparación con el resto que fue siempre inferior al 30 %.

REFERENCIAS

Alfonso, C. A. /*et al*./. Influencia de los abonos verdes sobre las propiedades de los suelos y el reciclaje de nutrientes. /C. A. Alfonso.../*et al*./. Informe de resultados. Instituto de Suelos, 34 p., 1994.

Beare, M. H., G. T. Vikramreddy y S. C. Srivastava. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the Tropics: The role of descomposer biota. **Applied Soil Ecology** 6(1):87-108, 1997.

Bierderbeck, V. O. /*et al*./. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. **Soil Biology and Biochemistry** 30(8-9):1177-1185, 1998.

Bravo, J. C. B. Respuesta de maíz a la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno en rotación con abonos verdes.- **En**: Reunión anual (XLIV:1998:Río San Juan). Resúmenes. Nicaragua : Río San Juan, 1998.

Burkles, D. El frijol terciopelo: Una planta “nueva” con historia. CIMMYT. Documento interno, México. 1994.

Calegari, A. Leguminosas para adubacao verde de verao no Paraná. **IAPAR, Circular** 80:118, 1995.

Da Costa, M. B. B. Abonos verdes: una práctica indispensable en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y sub-tropicales. / M.B.B. Da Costa.- **En:** Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica (San José).- Costa Rica, 1995.- p. 91–119 .

Evaluación de diferentes abonos verdes en el manejo de la nutrición nitrogenada del tomate mediante el isótopo ^{15}N. /Milagros Monedero /*et al*./.**- En:** Seminario Científico (XI:1998:La Habana). Programa y Resúmenes.- La Habana:INCA, 1998.

Ferreira, A. M. Efeitos de adubos verdes incorporados ou em cobertura, nos componentes de producao de diferentes cultivares de milho. /A. M. Ferreira, M. L. M Carvalho.**- En:** Congreso Nacional de Milho e Sorgo (XXII:1998:Paraná).- Resumos. Brasil:Paraná, 1998.- p. 138.

García, Margarita. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. /Margarita García.- Tesis de Grado (Dr. C. Ciencias Agrícolas); INCA, 1997.

Guzmán, T. J. Empleo de diferentes leguminosas en sistemas sostenibles de cultivos. /T. J. Guzmán, J. L. Pozo y J. Rodríguez.**- En:** Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica (2:1995:La Habana). Programa y Resúmenes.- La Habana, 1995.

Hernández, A. /*et al*./. II Clasificación genética de los suelos de Cuba**. Agricultura.** Enero-Junio. 47-63, 1975.

MINAGRI. Instructivo Técnico del cultivo del maíz.- Cuba: Ciudad de La Habana, 1992.

Moreno, Irene, A. Leyva y María E. Dominí. La *Sesbania rostrata* (Brem) como sustituto de fertilizante nitrogenado en cultivos económicos de ciclo corto. **Cultivos Tropicales** 16(1):49-51, 1995.

Rivera, R. Mineralización y participación del N de tres especies de abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz. /R. Rivera, S. Urquiaga.**- En:** Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica (2:1995 mayo 17-19). Programa y Resúmenes, 1995.

Senaratne, R., N. D. L. Liyanage y R. J. Soper. Nitrogen fixation and N transfer from cowpea, mung bean and groundnut when intercropped with maize. **Fertilizer Research** 40:41-48, 1995.

Van Der Mey, J. Evaluation of Lupins as a rotation crop for wheat and maize. Lupins Oil and Protein Seed Centre, 1995.- 21 p.

Recibido: 3 de diciembre de 1998
Aceptado: 4 de diciembre de 1998