

ARTICULOS GENERALES

Rendimiento del maíz abonado con estiércoles de diferentes proporciones carbono/nitrógeno aplicados solos o combinados con *Azotobacter chroococcum* Corn yield's paid with manures of different provides carbono/nitrógeno applied alone or mixed with *Azotobacter chroococcum*

E. Gómez Buzón^{1*}, E. Gómez Padilla¹, R. A. González¹, Irene Expósito Elizagaray¹, R. Santiesteban², A. Zamora² y Gloria Randolpho³.

¹ Universidad de Granma, Cuba. Dirección particular: 5ta e/2da y 3era. Edif. 29 Apto 8. J. Menéndez. Bayamo. Granma. Cuba.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov".

³ MINAGRI. Granma.

*E-mail: egomezb@udg.co.cu.

RESUMEN. En un suelo fluvisol, se estudió el efecto del estiércol vacuno de diferentes relaciones carbono/nitrógeno (C/N) combinado o no con *Azotobacter chroococcum* en el rendimiento del maíz. Los estiércoles fueron aplicados a razón de 15 t ha⁻¹ de materia seca en toda el área de las parcelas e incorporados al suelo con grada fina. A los 15 días después de la siembra, se aplicó *Azotobacter chroococcum* cepa INIFAT-17 a los tratamientos de proporción C/N de 18,5 y 13,3:1. Los tratamientos fueron distribuidos en el campo conforme a un diseño en bloque al azar, midiéndose el rendimiento de granos obtenido. Se encontró que el estiércol de proporción C/N de 13,3:1 produjo el mayor rendimiento entre todos los estiércoles con o sin la adición del *Azotobacter*, siendo estadísticamente similar al rendimiento obtenido con la fertilización mineral completa que contribuyó al mayor rendimiento de granos. Los estiércoles de proporciones C/N de 10:1 y 14,8:1 produjeron rendimientos menores que el estiércol de proporción C/N de 13,3:1 aunque, exceptuando el estiércol de proporción C/N de 14,8:1 todos los estiércoles fueron superiores al testigo sin fertilización. La regresión entre las proporciones C/N de los estiércoles secos y el rendimiento de granos de maíz arrojó que cuando el estiércol presenta proporción C/N de 11,9:1 se logra el máximo rendimiento con una varianza explicada del 92,9 %. Cuando el estiércol aplicado tenía de 1 a 7 días después de excretado se obtuvieron rendimientos tan altos como los obtenidos con la fertilización mineral completa pero su efecto favorable se redujo cuando este estiércol se combinó con aplicaciones de *Azotobacter*.

Palabras clave: Proporción de C/N, estiércol, maíz, *Azotobacter chroococcum*.

ABSTRACT. In a Fluvisol was studied the effect on corn yield of cow manure of several C/N ratios combined or not with *Azotobacter chroococcum*. Manures were applied in proportion of 15 t ha⁻¹ of dry matter in all pot. After 15 days of sowing was applied *Azotobacter chroococcum* to treatments of C/N de 18.5 y 13.3:1. It was used a randomized block experimental design. It was found that the best yield was obtained with manure with C/N ratio of 13.3:1; in this case was found similar yield that mineral fertilization. Corn yield obtained with manure of C/N ratios of 10:1 and 14.8:1 were lower than those obtained with manure of C/N ratio of 13.3:1 although all manure produced higher yield than plot without manure with the exception of manure with 14.8:1 C/N ratio. Accordingly with regression analysis the highest yield was gotten with cow manure with C/N ratio of 11.9:1. Manure recently produced by animal produced similar yield than complete mineral fertilization but its favourable effect was reduced when this manure was combined whit *Azotobacter*.

Key words: C/N ratio, manure, corn, *Azotobacter chroococcum*.

INTRODUCCIÓN

El empleo del estiércol contribuye a mantener o recuperar el equilibrio biológico del suelo, por ello muchos investigadores buscan mayor eficiencia agronómica y económica del mismo combinándolo con fertilizantes microbianos en diversos cultivos y

suelos con muy buenos resultados (Leifeld *et al.*, 2002); pero aún se necesita mayor precisión sobre la influencia de factores tales como la edad del estiércol, y su proporción C/N, que entre otros, pudieran incidir en el efecto fertilizante del estiércol

(Dendooven *et al.*, 2000 y Gómez *et al.*, 2005). Por tales razones, el objetivo del trabajo fue: Evaluar el comportamiento del rendimiento del maíz (*Zea mays L.*) abonado con estiércoles de diferentes proporciones C/N combinados o no con *Azotobacter chroococcum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un suelo fluvisol de la Estación Experimental de Jucaibama perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov” de la provincia de Granma.

Preparación del suelo: El 20 de abril y 10 de mayo de 1993 se aplicó rotura y una grada pesada, respectivamente. Los abonos orgánicos se aplicaron el 11 y 12 de mayo de 1993 en la superficie del suelo. El 12 de mayo se aplicó una grada fina, el 13 de mayo se surcó, realizándose la siembra el 14 de mayo de 1993 con la variedad de maíz Francisco Mejorado.

Fertilización: La fertilización mineral seleccionada fue la de mejores resultados en dicha Estación y consistió en la aplicación de 75, 80 y 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, en el momento de la siembra, aplicándose a los 30 días de la siembra 75 kg ha⁻¹ de N adicionales. Las fuentes de nutrientes minerales fueron: Sulfato de Amonio (20 % de N), Superfosfato Simple (20 % de P₂O₅) y Cloruro de Potasio (60 % de K₂O).

Se aplicó a todos los tratamientos una cantidad fija de estiércol seco, correspondiente a 15 t ha⁻¹. La Tabla 1 muestra las cantidades correspondientes de estiércol húmedo.

Esquema experimental: Se emplearon los tratamientos siguientes:

1. Sin abono.
2. Fertilización mineral consistente en: 150, 80 y 30 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.
3. Estiércol vacuno (E.V) de relación C/N de 18,5:1 a razón de 34 t. ha⁻¹ con humedad.
4. E.V de relación C/N de 18,5:1 a razón de 34 t. ha⁻¹ con humedad + 20 L ha⁻¹ de *Azotobacter chroococcum* cepa INIFAT-17.
5. E.V de relación C/N de 14,8:1 a razón de 33,3 t ha⁻¹ con humedad.
6. E.V de relación C/N de 13,3:1 a razón de 29,4 t ha⁻¹ con humedad.
7. E.V de relación C/N de 13,3:1 a razón de 29,4 t. ha⁻¹ con humedad + 20 L. ha⁻¹ de *Azotobacter chroococcum* cepa INIFAT-17.
8. E.V de relación C/N de 10:1 a razón de 25,8 t. ha⁻¹ con humedad.

Todos los tratamientos fueron distribuidos en el campo sobre la base de un diseño en bloques al azar con cuatro réplicas. Cada parcela contó con 7 surcos de 6 m de largo; las distancias entre surco y entre plantas fueron de 0,70 m y 0,30 m, respectivamente, con un área para cosechar de 21 m².

Tabla 1. Características de los estiércoles empleados

C/N	A.O t/ha *	En % de la materia seca. **				% M.S	pH	Edad
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C			
18.5:1	34,0	2,10	0,57	1,70	38,55	44	7,58	1a 7 días
14.8:1	33,3	2,18	0,56	1,50	32,26	45	7,25	2-3 meses
13.3:1	29,4	2,27	0,70	1,80	30,19	51	7,30	Hasta 1 año
10:1	25,8	1,90	0,57	1,00	19,00	58	7,30	2 a 4 años

* t. ha de estiércol con humedad aplicado.(A.O significa Abonos Orgánicos).

** Los análisis de los abonos se realizaron según las normas establecidas por los laboratorios provinciales de suelos del MINAGRI en Cuba.

La edad del estiércol se obtuvo a partir de dos criterios que debían coincidir:

a) Encuesta realizada a ganaderos y vecinos de las vaquerías en donde se encontraron depositados los estiércoles.

b) La observación de los investigadores, sobre la base de la textura, color y composición de restos de alimentos de los estiércoles.

Características del suelo

Se tomaron muestras compuestas por cada parcela, las que fueron analizadas utilizando los métodos establecidos por los laboratorios provinciales de suelos del MINAGRI en Cuba.

El suelo se clasificó como Aluvial poco diferenciado, según el mapa de suelos a escala 1:25 000 del Ministerio de la Agricultura, el que se correlaciona con el suelo Fluvisol Típico. (Instituto de Suelos, 1999)

Tabla 2. Análisis del suelo antes de la aplicación de los abonos

Materia orgánica (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH		K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CCB	CCC
	mg. 100 ⁻¹ g.s. (Oniani)		H ₂ O	KCl	Cationes intercambiables en Cmol.kg ⁻¹ de suelo.					
1,79	6,33	13,3	7,3	5,9	0,35	4,08	13,53	5,2	23,1	23,1

En la Tabla 2 se puede observar que según el método de Oniani (extracción con H₂SO₄ 0.1 mol L⁻¹) los contenidos de P₂O₅ y de K₂O asimilables pueden considerarse bajo y mediano, respectivamente. El pH es adecuado para el cultivo, pero el contenido de materia orgánica (M. O.) del suelo se evalúa de bajo (Mesa y Naranjo, 1984); presentando abundante sodio intercambiable que alcanza valores de 17,6 % del valor de la CCC. Estos datos indican que integralmente, las condiciones para la nutrición de las plantas no eran las mejores.

Labores agrotécnicas realizadas y precipitaciones

Las precipitaciones de 718 mm en los cinco meses de desarrollado el cultivo unidas a cuatro riegos por aspersión realizados, garantizaron el agua necesaria para la plantación. El cultivo se mantuvo limpio de plantas indeseables, también se le realizó un aporque, realizándose la cosecha cuando las mazorcas estaban completamente secas en el campo, las cuales se desgranaron, se pesaron los granos y se corrigió la humedad de estos hasta 15 %.

Procedimiento estadístico para la evaluación de los resultados

Se empleó el paquete estadístico Statistica Versión 5.1 (1997). Los datos de rendimiento de granos se procesaron mediante un análisis de varianza de

clasificación doble. Al encontrarse diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tuckey.

Con el objetivo de relacionar el grado de descomposición del abono orgánico (medido a partir de su proporción C/N) con el rendimiento de granos, se seleccionaron los tratamientos en los cuales los abonos tenían relación C/N 14,8; 13,3 y 10,1 (todos sin *Azotobacter*), aplicándose un análisis de regresión entre la proporción C/N de los abonos y el rendimiento de granos, no se incluyó en la regresión el estiércol de relación C/N de 18:1 porque al estar recientemente excretado es rico en N mineral procedente de las deyecciones líquidas del ganado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los estiércoles en el rendimiento

Como se refleja en la Tabla 3 los valores de rendimiento de granos fueron bajos para todos los tratamientos debido posiblemente al bajo contenido de materia orgánica del suelo y al elevado nivel de Na⁺ intercambiable con su efecto desfavorable sobre el suelo que, según Ruiz-Vera y Wu (2006), provoca la ruptura de los agregados

del suelo y la dispersión de las arcillas. A pesar de ello, el análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas entre los tratamientos, evidenciándose que algunos de ellos, fueron más eficientes que otros para la vida vegetal bajo estas condiciones adversas.

El menor rendimiento se obtuvo en las parcelas que no fueron fertilizadas así como las que recibieron el estiércol de proporción C/N 14,8:1 (Tabla 3), lo cual se explica a partir de que este abono contenía grandes cantidades del alimento (pasto de gramíneas), en estado seco, habiéndose perdido el N-mineral proveniente de las deyecciones líquidas fundamentalmente por vía gaseosa (Sharpley *et al.*, 1998); debido a ello probablemente se favoreció el bloqueo del N-mineral del suelo por parte de los

microorganismos (He *et al.*, 2002). Por el contrario, la fertilización mineral completa produjo el mayor rendimiento seguida por los estiércoles de proporción C/N = 13,3:1 y el estiércol recién excretado (C/N = 18,5:1) rico en amoníaco proveniente de las deyecciones líquidas. Similares resultados obtuvieron Cooperband *et al.* (2002) para la gallinaza fresca. Aunque hay que tomar en cuenta que el uso del estiércol recién excretado tiene el inconveniente que su manipulación no es recomendable por poseer patógenos peligrosos para la salud humana (Meals and Braun, 2006; Holley, R., *et al.*, 2006) por el contrario, el estiércol de proporción C/N de 13,3:1 se destacó entre todos los estiércoles como el de mejor efecto en el rendimiento, siendo un abono completamente humificado y prácticamente inocuo; pero también el más rico en nutrientes (Tabla 1).

Tabla 3. Efecto de los tratamientos experimentales en el rendimiento de granos de maíz

TRATAMIENTO	t.ha ⁻¹ de granos	Significación*
1. Fertilización mineral completa.	2,16	a
2. Estiércol de relación C/N de 13,3:1	1,73	ab
3. Estiércol de relación C/N de 13,3:1 + <i>Azotobacter</i> .	1,72	ab
4. Estiércol de relación C/N de 18,5:1	1,54	bc
5. Estiércol de relación C/N de 10,1	1,50	bc
6. Estiércol de relación C/N de 18,5: 1+ <i>Azotobacter</i> .	1,16	cd
7. Estiércol de relación C/N de 14,8:1	0,91	d
8. Sin abono.	0,86	d
Probabilidad	P ≤ 0,01	
C. V. (%)	17,86	
\bar{sx}	0,1493	

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos experimentales

Se encontró dependencia entre el rendimiento de granos de maíz y la proporción C/N de los abonos orgánicos seleccionados para este fin. (Figura 1). La varianza explicada para la regresión es del 92.9 % y la ecuación cuadrática explicativa del proceso de dependencia refleja que cuando la relación C/N de los estiércoles secos es de 11,9:1 se obtiene el máximo rendimiento, lo cual significa que los estiércoles con esa característica poseen las mejores condiciones como abono (Tabla 1) debido posiblemente a su efecto suministrador de nutrientes asimilables, especialmente el N y de humus que beneficia la aireación y el drenaje, entre otros efectos beneficiosos. (Gómez *et al.*, 2005)

Los estiércoles de proporciones C/N inferiores a 11,9:1 dan menores rendimientos, porque posiblemente están muy humificados, siendo lenta su mineralización (Atallah *et al.*, 1995), aunque se conoce que tales estiércoles realizan un importante papel en la formación de microagregados estables (Canarutto, 1996 y Dendooven *et al.*, 2000). Hay que tomar en cuenta que cuando los suelos tienen proporciones C/N entre 10.4 a 12.4 hay una adecuada tasa de mineralización/inmovilización (Ibañez *et al.* 2006), favoreciéndose tanto la liberación de N asimilable como la formación de humus, ello explica por qué la proporción C/N de 11,9:1 es la mejor dentro de los estiércoles secos estudiados, lo que tiene una gran importancia para la utilización y conservación del sistema suelo así como para el uso de los estiércoles como abono.

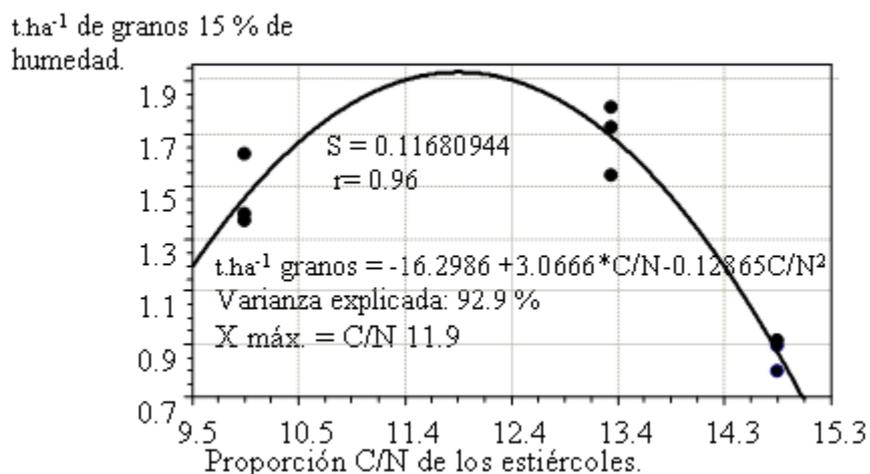


Figura 1. Dependencia entre la proporción C/N de los estiércoles y el rendimiento de granos de maíz

Citando a Terrón, Fuentes (1999) señala que cuando los residuos orgánicos presentan una relación C/N entre 20 a 30 hay equilibrio entre el bloqueo del N y la liberación de N; mientras que Qian y Schoenan (2002), encontraron que la liberación de N asimilable en estiércoles sólidos se lleva a cabo cuando presentan relaciones C/N en el rango de 13 a 15. Los valores citados de proporción C/N óptima para la mineralización, son algo mayores que los encontrados en el presente trabajo, lo cual pudiera explicarse a partir de que en el trópico las altas y fluctuantes temperaturas, así como la alta humedad, favorecen la intensificación de los procesos microbianos que causan un elevado consumo de C y N asimilable por parte de los microorganismos, y en consecuencia, la mineralización neta del N orgánico es más rápida (Martín Gloria y Rivera, 2002), siendo necesario para evitar la inmovilización neta, relaciones C/N del residuo orgánico añadido más estrechas que en climas menos cálidos. (Leifeld *et al.*, 2002 y Kumar and Goh, 2002)

Efecto sobre el rendimiento de la aplicación conjunta de estiércoles de alta y baja proporción C/N y *Azotobacter chroococcum*

Según la Tabla 3, el *Azotobacter* no influyó en el rendimiento al aplicarlo con el estiércol de proporción C/N de 13,3:1; por el contrario, redujo el rendimiento cuando se aplicó conjuntamente con el estiércol de proporción C/N de 18,5:1 lo que indica que en estiércoles con esa proporción C/N la aplicación de *Azotobacter* junto al abono es

innecesaria. Este efecto pudiera explicarse a partir de que en el estiércol fresco (C/N 18,5:1) además de poseer alto contenido en carbono, hay N-NH₄ procedente de las deyecciones líquidas de los animales que según Sharpley *et al.* (1998), puede constituir entre el 25 % hasta el 40 % del N balanceado aplicado al suelo el cual pudo ser utilizado por las bacterias *Azotobacter* añadidas, produciendo un efecto inmovilizador del N mineral del estiércol, reduciéndose de este modo la disponibilidad de N asimilable para las plantas proveniente del estiércol (Martínez, 1986 y Álvarez *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

1. La fertilización mineral, o una fertilización con estiércol vacuno de relación C/N de 13:1 aseguraron los mayores rendimientos de granos de maíz, siendo la proporción C/N de 11,9:1 la óptima para favorecer el rendimiento en estiércoles secos.
2. El *Azotobacter* combinado con estiércol de proporción C/N de 13:1 no influyó en el rendimiento obtenido mientras que, cuando se combinó con el estiércol recién excretado rico en N mineral, se redujo el rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, C. *et al.*: Determinación por métodos isotópicos de la capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico en la asociación planta *Azotobacter chroococcum*, *Memorias del XIII Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 12-15 de Noviembre de 2002, La Habana, 2002.

2. Atallah, T. *et al.*: "Effect of storage and composting on the properties and degradability of cattle manure". *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (54): 203-213, 1995.
3. Canarutto, S. *et al.*: "Effects of Humic Acids from Compost-Stabilized Green Waste or Leonardite on Soil Shrinkage and Microaggregation", *Compost Science & Utilization* 4(4):40-46, 1996.
4. Cooperband Leslie *et al.*: "Effect of poultry litter and composts on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. (62):185-194, 2002.
5. Dendooven, L. *et al.*: "Failure to simulate C and N mineralization in soil using biomasa C-to-N ratios as measured by the fumigation extraction method?", *Soil Biology and Biochemistry*. (32): 659-668, 2000.
6. Fuentes, M.: *El Suelo y los Fertilizantes*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 352 pp., 1999.
7. Gómez, E. *et al.*: "Eficiencia en la absorción del N en el cultivo del maíz (*Zea mays L.*) debido al efecto de abonos orgánicos en un suelo fluvisol", *Cultivos Tropicales*. 26(2):73-77, 2005.
8. He, L. *et al.*: "Nitrogen mineralization and transformation from composts and biosolids during field incubation in a sandy soil". *Soil Science*. 165(2):161-169, 2002.
9. Holley, R. *et al.*: "Salmonella Survival in Manure-Treated Soils during Simulated Seasonal Temperature Exposure". *Journal Environmental Quality* .35:1170-1180, 2006.
10. Ibañez, A. *et al.*: "Sustancias húmicas en suelos cafetaleros de la finca "El Sinaí", Oaxaca (México). Resumen. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo, La Habana, 2006.
11. Instituto de Suelos: *Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, Minagri, Cuba, 1999.
12. Kumar, K and K. Goh: Management practices of antecedent leguminous and non leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *European Journal of Agronomy*. (16): 295-308, 2002.
13. Leifeld, J. *et al.*: "Biological activity and organic matter mineralization of soils amended with biowaste compost". *Journal of Plant Nutrition and Soil Science—Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*. (165):151-159, 2002.
14. Martín ,Gloria y R. Rivera, Dinámica de la mineralización del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* en un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. XIII Congreso Científico del INCA, (Resúmenes), p. 126, La Habana, 2002.
15. Martínez, R.: Características fisiológicas del género *Azotobacter*, Ciclo Biológico del Nitrógeno del suelo, Ed. Científico-Técnica, La Habana, pp. 27-29, 1986.
16. Mesa, A. y M. Naranjo: *Manual de Interpretación de los Suelos*, Ed. Científico -Técnica, Cuba, 136 pp, 1984.
17. Meals, D and D.Braun: *Journal Environmental Quality*. Vol. 35:1088-1100, 2006.
18. Qian, P. and J. Schoenan: "Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratios", *Canadian Journal of Soil Science*. (82):219-225, 2002.
19. Ruiz-Vera and L. Wu: "Influence of Sodcity, Clay Mineralogy, Prewetting Rate, and Their Interaction on Aggregate Stability", *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 70:1825-1833, 2006.
20. Sharpley, A. *et al.*: Impacts of Animal Manure Management on Ground and Surface Water Quality, en Ground Waste Utilization: Effective use of manure as soil resource. ANN ARBOR PRESS. Michigan, pp. 182-186, 1998.

Recibido: 07/05/2008

Aceptado: 21/02/2009