

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña

Properties of a compost obtained starting from residuals of the production of sugar cane

Elvis López Bravo¹, Anderso Javier Andrade Rivera², Miguel Herrera Suárez¹, Omar Gonzalez Cueto¹ y Armando García de la Figal Costales³

¹ Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

² Instituto Politécnico Universitario de Trujillo, Municipio Valera, República Bolivariana de Venezuela. CP 03101

³ Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700

E-mail: elvislb@uclv.edu.cu

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar las principales propiedades de un compost elaborado a partir de bagazo, cachaza y ceniza, obtenidos del proceso de fabricación de azúcar. Para la elaboración de la mezcla se realizó una caracterización de la materia prima en función de las propiedades relacionadas al proceso de compostaje. Durante el proceso de biodigestión anaeróbica se realizó el control de los principales parámetros de seguimiento hasta alcanzar la maduración de la misma. En la materia prima utilizada se encontró una densidad aparente de 0,12 a 0,48 g cm⁻³, el pH de la misma osciló entre 5,2 y 8,7, mientras que la conductividad eléctrica estuvo en el rango de 0,4 a 0,9 $\mu\text{S m}^{-1}$. Por su parte los contenidos de P, K, Ca y Mg mostraron valores entre 0,3 y 2,8 %. Finalmente, en el compost se obtuvo una densidad aparente de 0,5 g cm⁻³. La relación carbono-nitrógeno (C/N) mostró una dependencia lineal al tiempo de compostaje, mostrando una adecuada maduración de la mezcla. Se constató además la presencia de N, P, K, Ca y Mg con valores de 1; 1,3; 1,1; 2 y 1,1 % respectivamente. Al evaluar los resultados se concluye que el compost muestra una composición adecuada para ser empleado como abono orgánico en la agricultura.

Palabras clave: bagazo, cachaza, ceniza, densidad, humedad

ABSTRACT

The goal of the present work was to determine the main properties of a compost made from bagasse, slowness and ash, obtained from the sugar factory process. To elaborate the mixture a characterization of the raw material was carried out in function of the properties related to the composting process. During the process of anaerobic biodigestion, the control of the main monitoring parameters was carried out, until reaching the maturation state. In the raw material used a bulk density of 0.12 to 0.48 g cm⁻³ was found, the pH oscillated between 5.2 and 8.7, while the electrical conductivity was in the range of 0.4 to 0.9 $\mu\text{S m}^{-1}$. On the other hand, the contents of P, K, Ca and Mg showed values between 0.3 and 2.8 %. Finally, a bulk density of 0.5 g cm⁻³ was obtained in the compost. The carbon-nitrogen (C/N) ratio, showed a linear relation with respect to the time of composting, showing a suitable maturation of the mixture. The presence of N, P, K, Ca and Mg with

values of 1; 1.3; 1.1; 2 and 1.1 % were also verified. After evaluating the results it is concluded that compost shows a suitable composition to be used as organic fertilizer in agriculture.

Keywords: bagasse, filter cake, ash, density, moisture

INTRODUCCIÓN

En el proceso de fabricación de azúcar de caña se generan subproductos industriales entre los cuales se encuentra el bagazo, la cachaza y la ceniza; los cuales son considerados residuos sólidos e impurezas del proceso productivo. Debido al manejo inapropiado de estos subproductos los centrales azucareros, son considerados fuentes altamente contaminantes. La industria de la caña de azúcar genera, por cada tonelada de tallos molidos, 250 kg de bagazo, 6 kg de cenizas y 30 kg de cachaza. Esta última es acumulada en los alrededores de la fábrica causando efectos ambientales adversos (Armas, 1986).

No obstante, es posible convertir los residuos orgánicos provenientes de la molienda en abonos orgánicos para uso en la agricultura mediante la técnica del compostaje. El compostaje es una tecnología que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como enmiendas y/o abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los mismos. Numerosos autores han evaluado diferentes fuentes de materia prima y tecnologías para la producción y el mejoramiento de la calidad del compost (Storey *et al.*, 2015; Straathof and Comans, 2015; Zahra El Ouaquoudi *et al.*, 2015). Este método se define además como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos. Implica el desarrollo de una fase termofílica que genera temporalmente fitotoxinas, siendo productos de la biodegradación el dióxido de carbono, el agua, minerales y una materia orgánica estabilizada denominada compost, con ciertas características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos y agentes patógenos (Trautmann y Krasny, 1997).

Entre los parámetros de seguimiento para la obtención de compost se encuentran la temperatura la humedad y pH. Relativo a la naturaleza del sustrato lo caracteriza el tamaño de partícula, la relación carbono-nitrógeno (C/N), los nutrientes,

la materia orgánica y la conductividad eléctrica. Los intervalos óptimos de cada uno de ellos están influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido (Kaboré *et al.*, 2010; D' Haene *et al.*, 2014; Donn *et al.*, 2014).

Tomando en cuenta los beneficios desde el punto de vista agrícola y medioambiental que trae consigo el empleo de los residuos industriales en la producción de abono orgánico, el presente trabajo se propone determinar las principales propiedades del compost obtenido a partir de la mezcla del bagazo la cachaza y la ceniza provenientes del proceso de fabricación de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la mezcla para el compost

La dosis empleada de cada componente para elaboración del compost fue de 80 % de cachaza, 10 % de bagazo y 10 % de ceniza, se agregó además 0,2 % de urea como aditivo activador (Korner *et al.*, 2003). La masa total inicial fue de 1,5 t, a la cual se le realizó el mezclado de homogenización y se depositó formando una cama rectangular sobre el polígono con dimensiones de 3 m de ancho, 1 m de altura y 6,2 m de longitud. La oxigenación de la mezcla se realizó removiendo la cama de compost con una frecuencia de 15 días, para lo cual se invirtieron las distintas capas de la mezcla y se depositaron en los mismos sitios siguiendo la configuración original del cúmulo.

Seguimiento del proceso de compostaje

La temperatura en el cúmulo se tomó cada 24 h durante todo el proceso de compostaje entre las 9:00 y 10:00 AM, para lo cual se empleó un termómetro digital conectado a un sensor de longitud variable. En la cama de compost se realizaron un total de quince mediciones distribuidas regularmente a una altura de 0,1; 0,5 y 0,8 m según metodología propuesta por Diaz (2002). Por su parte, el control de la humedad en la cama de compost se efectuó con una frecuencia de cinco días durante todo el proceso empleando

un sensor Delta-T. Se realizaron las mediciones en quince puntos de la cama de forma similar a la toma de la temperatura. La humedad del compost se mantuvo entre 50 y 55 %, según valores recomendados para componentes de origen industrial (Haug, 1993). La humedad adecuada se obtuvo aplicando dosis controladas de agua a la mezcla y su posterior medición hasta alcanzar los valores deseados. Finalmente, se realizó el seguimiento de la relación Carbono-Nitrógeno (C/N) con una frecuencia de tres días durante todo el proceso.

Caracterización de la materia prima y el compost

Para la caracterización física y química de la cachaza, el bagazo y la ceniza se tomaron ocho muestras representativas de cada componente (4 kg), a las cuales se determinó la densidad aparente, el pH, la conductividad eléctrica (C.E.), y los porcentajes de P, K, Ca y Mg. Para la determinación de las propiedades del compost se tomaron un total de 12 muestras del producto final y se determinó además el Carbono Orgánico, el Nitrógeno Total, la Humedad, la Relación C/N y la granulometría. Los métodos empleados para cada uno de los análisis se resumen en la Tabla 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades de la materia prima

Los resultados de los análisis realizados a la materia prima se muestran en la Tabla 2. En todos los casos la densidad aparente es inferior a

0,5 g cm⁻³, lo cual caracteriza la estructura física del elemento con la existencia de espacios libres para la circulación del agua y el aire, necesarios para satisfacer las necesidades fisiológicas de los microorganismos. El análisis del pH en los componentes muestra determinada acidez en el bagazo en tanto la cachaza y la ceniza resultaron alcalinos. La conductividad eléctrica mostró valores menores a 1 μ S/m, lo cual resulta beneficioso, considerando que estos valores definen la C.E. del compost. Los valores bajos de C.E. posibilitan el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Haug, 1993).

Por su parte, el contenido de minerales en la materia prima mostró mayor concentración de fósforo en la ceniza, atribuible al proceso de nutrición de la caña de azúcar donde el fósforo pasa a formar diferentes compuestos. Las concentraciones de K, Ca y Mg muestran valores menores al 1 %, no obstante, son considerados aceptables para ser empleados en la mezcla para el compost (Sztern y Pravia, 1999; Nakasaki, 2005).

Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje

Como se muestra en la Figura 1, en los primeros 25 días se produjo un incremento lineal en la temperatura hasta alcanzar valores promedios de 55 °C, este incremento está vinculado a la descomposición aeróbica de la mezcla. Entre los días 25 y 35 de iniciado el proceso, la temperatura se mantuvo en valores relativamente estables, lo que caracteriza el estado donde tiene lugar la plena formación del compost. Posteriormente

Tabla 1. Métodos empleados en los análisis de laboratorio

Variables	Método	Materiales
pH (1:5 en agua)	Electrométrico	pH-metro
Conductividad Eléctrica μ S/m	Electrométrico	Conductímetro
% Carbón orgánico	Digestión	Estufa
% Nitrógeno total	Kjedhall	Titulación
% Calcio	Colorimetría	Bureta
% Magnesio	Colorimetría	Bureta
% Fósforo	Colorimetría	Espectrómetro
% Potasio	Colorimetría	Espectrómetro
Densidad real, g/cm ³	Picnómetro	Picnómetro
Densidad aparente g/cm ³	Cilindro (Boodt y Col)	Cilindro
Granulometría (partículas 2mm)	Juego de tamices	Tamices
Relación C/N	Cálculos	

Tabla 2. Resultados de los análisis de la materia prima

Variables	Cachaza	Bagazo	Ceniza
pH (1:5 en agua)	8,00	5,2	8,7
C.E. (1:5 μ S/m)	0,81	0,48	0,44
% Fósforo	0,52	1,8	2,73
% Potasio	0,6	0,9	0,5
% Calcio	0,9	0,8	0,6
% Magnesio	0,7	0,72	0,65
Densidad Aparente (g m^{-3})	0,25	0,12	0,48

los valores de temperatura descienden de forma gradual debido al decrecimiento de la descomposición y el equilibrio de la actividad biológica con la reserva de nutrientes disponibles en la mezcla.

Relación Carbono-Nitrógeno

Respecto a la relación carbono-nitrógeno (C/N), se evidenció una disminución durante todo el proceso debido a la dinámica del carbono, el cual tiende a disminuir como consecuencia de la oxidación (Figura 2). Esta relación se considera adecuada en tanto el valor inicial es el óptimo según varios autores (Sztern y Pravia, 1999; Soliva, 2001). El valor promedio final de la relación de C/N a los 60 días es el mínimo alcanzado, sin embargo, es importante haber llegado al periodo de maduración del compost, estableciéndose así una relación lineal respecto a los días de compostaje.

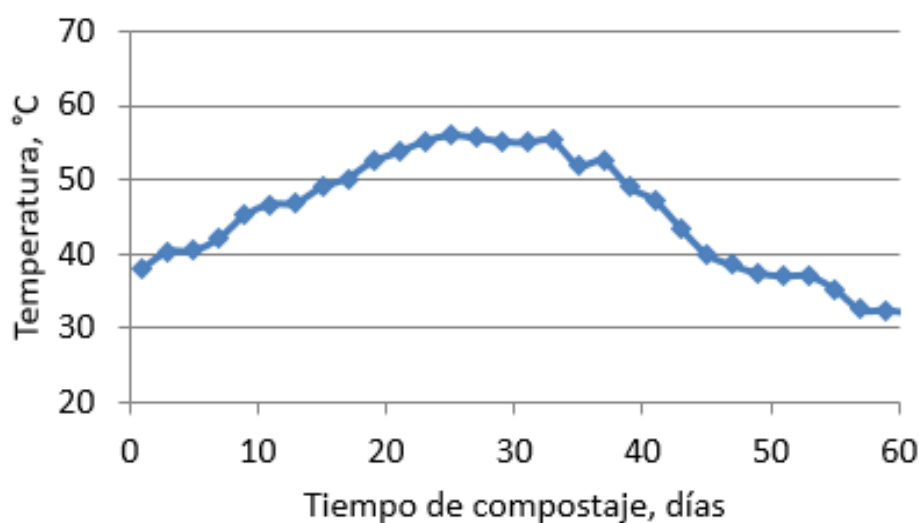
Evolución de la humedad durante el compostaje

Como muestra la Figura 3, durante todo el proceso de compostaje la humedad se mantuvo en los valores que favorecen el crecimiento microbiano (50 a 70 %), estos valores han sido definidos por diferentes autores como humedad óptima del proceso (Trautmann; Krasny, 1997; Korner, 2003).

Considerando el carácter aerobio del método de compostaje empleado, con estos valores de humedad en la mezcla se garantizó la circulación del oxígeno y de los gases propios del proceso. A pesar de eso, la humedad óptima ha sido relacionada a la naturaleza de la materia prima denotándose incrementos de la misma para residuos de cereales y madera (Haug, 1993).

Propiedades químicas y físicas del compost

Las propiedades químicas y físicas que caracterizan el compost fueron determinadas

**Figura 1.** Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje

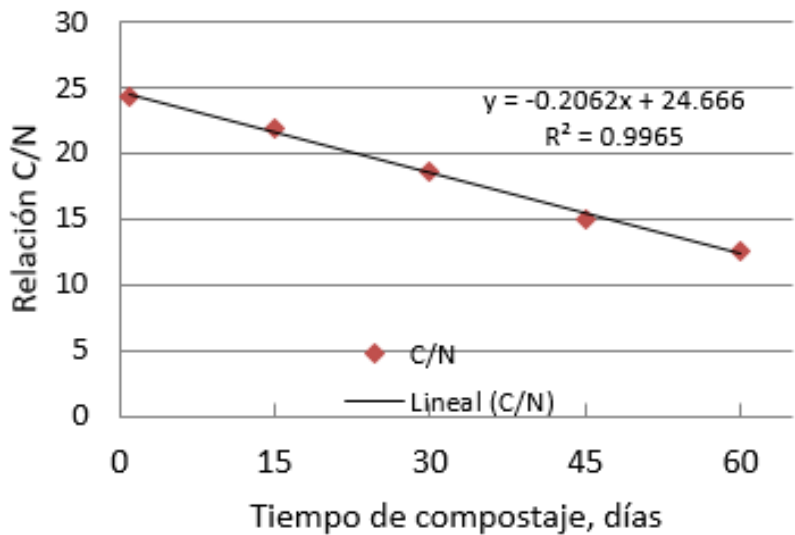


Figura 2. Comportamiento de la relación carbono-nitrógeno

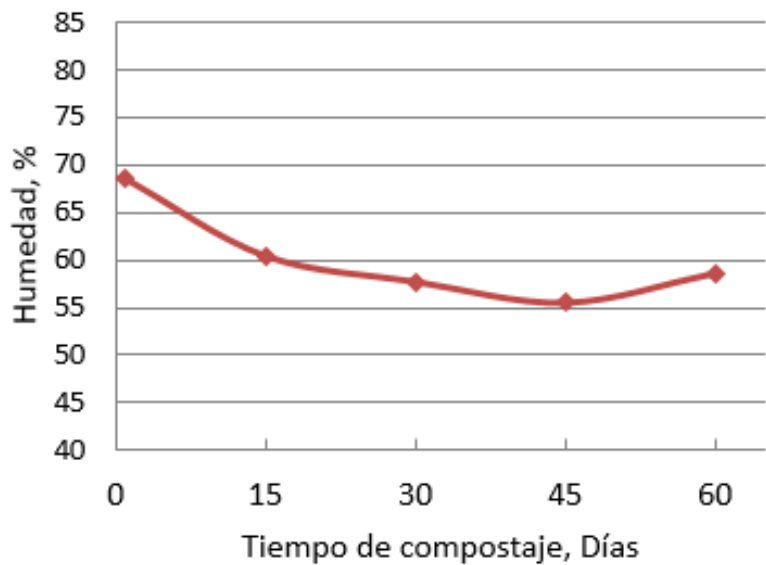


Figura 3. Comportamiento de la humedad del compost

luego de finalizar el proceso de maduración (Tabla 3). El pH final obtenido en el compost muestra una tendencia a la alcalinización. La evolución del potencial de hidrógeno durante el compostaje es afectado por la pérdida de ácidos orgánicos y la generación de amoníaco, originadas por la descomposición de las proteínas. Los valores de pH entre 7,5 y 8,5 son considerados como un indicador indirecto de condiciones adecuadas de aireación, donde no prolifera la biodigestión anaeróbica y la liberación adicional de ácidos orgánicos (Haug, 1993).

En relación con la conductividad eléctrica, el valor promedio fue de 0,83 $\mu\text{S/m}$, indicando que el producto no presenta limitaciones o riesgos de salinización, acidificación o fitotoxicidad para ser usado en los cultivos ya que el valor crítico requerido según Krause (2001) es de 5,5 $\mu\text{S/m}$. Este indicador es de vital importancia considerando el efecto sobre el suelo y las plantas que puede tener después de su aplicación a partir del alto contenido de sales en la capa activa. Por su parte la cantidad de carbono orgánico se encuentra dentro del rango referido por Finstein (1987) el

Tabla 3. Resultados de los análisis del compost

Variables	Valor
pH (1:5 en agua)	8,2
C.E. (1:5 μ S/m)	0,89
Relación C/N	12,5
% Carbón Orgánico	11,0
% Nitrógeno Total	1,0
% Fósforo	1,3
% Potasio	1,1
% Calcio	2,0
% Magnesio	1,1
Densidad Real (g/ml)	1,17
Densidad Aparente (g/ml)	0,55
Granulometría (% de partículas < 2mm)	47,81

cual debe oscilar entre un 14 y 30 % constituyendo uno de los macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. De igual modo, otros autores refieren como normal un contenido de nitrógeno entre 0,1 y 1,8 %, esta concentración define la calidad del compost como fertilizante. Por su parte, los contenidos de P, K, Ca y Mg en el compost están en correspondencia con los valores mínimos obtenidos en estudios anteriores (Hedegaard, 1996).

CONCLUSIONES

La cachaza, la ceniza y el bagazo, productos obtenidos del proceso azucarero, son adecuados para ser utilizados como materia prima en la elaboración de compost.

El compost obtenido muestra indicadores positivos de calidad, cuantificándose la humedad de 59 %, el pH 8,2; la relación carbono-nitrógeno de 12,5; una densidad aparente de 0,55 g cm⁻³, el nitrógeno de 1 %, fósforo 1,3 %, potasio 1,1 % y magnesio 1,1 %, así como una baja salinidad y alto contenido de partículas menores a 2 mm, lo que posibilita su utilización en la actividad agrícola.

BIBLIOGRAFIA

ARMAS, C.Y. La caña de azúcar como fuente de energía. Instituto de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar, Científico-Técnica, La Habana, Cuba. 1986, 157-189.

D' HAENE, K., J. SALOMEZ, S. DE NEVE, J. DE WAELE, G. HOFMAN. Environmental performance of nitrogen fertilizer limits

imposed by the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 192: 67-79, 2014.

DIAZ, M.J., E. MADEJON, R. LÓPEZ y F. CABRERA. Composting of vinasse and cotton gin waste by using two different systems. *Resour. Conserv. recycl.*, 34 (4): 235-248, 2002.

DNN, S., R.E. WHEATLEY, B.M. MCKENZIE, K.W. LOADES, P.D. HALLETT. Improved soil fertility from compost amendment increases root growth and reinforcement of surface soil on slopes. *Ecological Engineering*, 71 (0): 458-465, 2014.

FINSTEIN, M.S.M., J.A. HOGAN, P.F. STROM. Analysis of EPA guidance on sludge composting. Facility design and control. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, EE.UU. 1987, 7 p.

HAUG, R.T. *The practical handbook of compost engineering*. CRC Press, 1993, 752 p. ISBN: 9780873713733.

HEDEGAARD, M., y I. KRUGER. Composting of agriculture Wastes in Denmark IN respect of potential, industrial process technology and environmental consideration. Ed. Professional, B.A. 1996. ISBN: 978-1-60741-305-9.

KABORÉ, T.W.T., S. HOUOT, E. HIEN, P. ZOMBRÉ, V. HIEN, D. MASSE. Effect of the raw materials and mixing ratio of composted

- wastes on the dynamic of organic matter stabilization and nitrogen availability in composts of Sub-Saharan Africa. *Bioresource Technology*, 101 (3): 1002-1013, 2010.
- KORNER, I., J. BRAUKMEIER, J. HERRENKLAGE, K. LEIKAM, M. RITZKOWSKI, y R. STEGMAN. Investigation and optimization of composting processes-test system and practical examples. *Waste Management*, 23 (1): 17-26, 2003.
- KRAUSE, M.S., L.V. MADDEN, y H.A.J. HOITINK. Effect of potting mix microbial carrying capacity on biological control of Rhizoctonia damping-off of radish and Rhizoctonia crown and root rot of poinsettia. *Phytopathology*, Vol. 91: 1116-1123. 2001.
- NAKASAKI, K., K. NAG, y S. KARITA. *Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste*. *Waste Management & Research* 23 (1): 48-56, 2005.
- SOLIVA, M. Compostatge i gestió de residus orgànics. *Estudis i Monografies*, 31, Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, España. 2001: 111 p. ISBN: 9788477948032.
- STOREY, S., D.N. CHUALAIN, O. DOYLE, N. CLIPSON, E. DOYLE. Comparison of bacterial succession in green waste composts amended with inorganic fertilizer and wastewater treatment plant sludge. *Bioresource Technology*, vol. 179: 71-77, 2015.
- STRAATHOF, A.L. and R.N.J. COMANS. Input materials and processing conditions control compost dissolved organic carbon quality. *Bioresource Technology*, vol. 179: 619-623, 2015. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.12.054
- SZTERN, D. y M.A. PRAVIA. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. 1999, 69 p.
- TRAUTMANN, N. y M.E. KRASNY. *Composting in the classroom*. National Science Foundation, Cornell Waste Management Institute, Cornell Center for the Environment. 1997, 126 p.
- ZAHRA EL OUAQOUDI, F., L. EL FELS, L. LEMÉE, A. AMBLÈS, M. HAFIDI. Evaluation of lignocellulose compost stability and maturity using spectroscopic (FTIR) and thermal (TGA/TDA) analysis. *Ecological Engineering*, vol. 75: 217-222, 2015.

Recibido el 8 de octubre de 2015 y aceptado el 3 de abril de 2017