MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar

Quality evaluation of compost produced from agro-industrial byproducts of sugar cane

Alexander Bohórquez[1], Yina J. Puentes[2], Juan Carlos Menjivar[3]

[1] Ingeniero Agrónomo. MSc. Ciencias Agrarias. Ingenio Riopaila-Castilla, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. abohorquez@riopaila-castilla.com
[2] Ingeniera Agrónoma. Ph.D. Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca. yjpuentesp@unal.edu.co
[3] Ingeniero Agrónomo. PhD. Ciencias del suelo. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca. jcmenjivarf@unal.edu.co

Fecha de recepción: 17/09/2013
Fecha de aceptación: 30/01/2014

ABSTRACT

Fresh by products of the sugar industry (sugarcane sludge, bagasse and vinasse) incorporated into the soil generate a negative impact on plants. Therefore, compost is an alternative solution to the use of sugarcane byproducts, which must meet the requirements of the Colombian technical standard 5167 for use as biofertilizer. This study aimed to evaluate the quality of compost made from different combinations of products of the milling process of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.). Composting piles were established in the Ingenio Riopaila-Castilla, Valle del Cauca, Colombia, using a complete randomized block design with five treatments and four replications. 100% sugarcane sludge (T1), 75% sugarcane sludge and 25% bagasse (T2), 50% bagasse and 50% sugarcane sludge (T3), 25% sugarcane sludge and 75% bagasse (T4) and 100% bagasse (T5), all supplemented with 2 m^3 of vinasse. The response variables: pH, electrical conductivity, moisture, ash, organic matter, moisture retention, the carbon-nitrogen ratio, the total oxidizable organic carbon, total nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, potassium, iron, copper, manganese and zinc, were evaluated at the time when the initial compost piles were prepared, and the 42, 51, 59, 73 and 90 days after beginning the process. The results showed that the carbon-nitrogen mixtures initial ratio is critical for obtaining a good quality of compost. The T3 provided the best quality with the highest content of nutrients. The composting time ensuring adequate maturation levels for nutrients in the compost was 90 days.

Key words: fertilizer, bagasse, sugarcane sludge, *Saccharum officinarum*, vinasse.

RESUMEN

Los subproductos frescos de la industria azucarera (cachaza, bagazo y vinaza) incorporados al suelo generan un impacto negativo sobre las plantas. Por tal motivo, el compost es una alternativa para el aprovechamiento de los subproductos, el cual debe ajustarse a las exigencias de la norma técnica colombiana 5167 para su uso como biofertilizante. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del compost elaborado con diferentes combinaciones de subproductos del proceso de molienda de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Se establecieron pilas de compostaje en el Ingenio Riopaila-Castilla, Valle del Cauca, Colombia, utilizando un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: 100% cachaza (T1), 75% cachaza y 25% bagazo (T2), 50% cachaza y 50% bagazo (T3), 25% cachaza y 75% bagazo (T4), y 100% bagazo (T5), todos suplementados con 2 m^3 de vinaza. Las variables de respuesta -pH, conductividad eléctrica, humedad, cenizas, materia orgánica, retención de humedad, relación carbono–nitrógeno, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total, fósforo, calcio, magnesio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc- se evaluaron al momento de montar las pilas, y a los 42, 51, 59, 73 y 90 días después de iniciado el proceso. Los resultados muestran que la relación carbono-nitrógeno inicial de las mezclas es fundamental para obtener una buena calidad del compost. El T3 presentó la mejor calidad con el mayor contenido de nutrientes. El tiempo de compostaje que asegura una adecuada maduración con máximo contenido de nutrientes en el compost fue 90 días.

Palabras claves: abono, bagazo, cachaza, *Saccharum officinarum*, vinaza.

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

INTRODUCCIÓN

En Colombia existen trece ingenios azúcareros, que en la actualidad siembran aproximadamente 223.905 hectáreas en caña de azúcar (*S. officinarum* L.) con una producción de 114,6 t/ha de caña (Cenicaña, 2010); la producción se destina principalmente para la elaboración de azúcar y alcohol carburante. En el ingenio Riopaila-Castilla (2011), se producen alrededor de 1.056.618 t de bagazo y 211.648 t de cachaza al año; por cada tonelada de tallos que ingresan al proceso de transformación agroindustrial, se generan 250 kg de bagazo, 30 kg de cachaza, 6 kg de cenizas y 45 kg de melaza; además, por cada litro de alcohol anhidro producido a partir de la meladura se generan 13 L de vinaza (Cuellar *et al*., 2002).

La vinaza es un subproducto líquido resultante del proceso de producción de etanol, obtenida ya sea por destilación de la melaza fermentada o por la fermentación directa del jugo de caña de azúcar (*S. officinarum* L.); este subproducto es rico en potasio y materia orgánica; presenta un pH ácido y elevada conductividad eléctrica (Bautista y Duran, 1998).

La cachaza es uno de los principales residuos de la industria de la caña de azúcar (*S. officinarum* L.) (Zérega, 1993), y rico en materia orgánica, calcio, fósforo y nitrógeno (Berrocal, 1987); se origina a partir de los lodos de coagulación formados por las ceras, azúcares, hidrocarburos e impurezas que aporta la caña (Hernández *et al*., 2008). El bagazo es un residuo fibroso que se obtiene de la extracción del jugo en el proceso de molienda de la caña; es heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, presenta baja densidad y un alto contenido de humedad (Peña, 1999). Este subproducto agroindustrial es utilizado como combustible, para generación de calor dentro de la misma industria azucarera, además es utilizado para la producción de papel, fabricación de tableros aglomerados y en la alimentación animal, entre otros usos.

Algunos ingenios azucareros, como Mayagüez, Riopaila-Castilla, Providencia e Incauca, han encontrado en el compostaje de estos subproductos una solución a la generación de grandes cantidades de residuos; así, en el valle geográfico del río Cauca se ha implementado el compostaje de los residuos de la industria azucarera y de alcohol carburante en seis plantas ubicadas en los departamentos de Valle del Cauca, Risaralda y Cauca, lo cual representa una producción mayor a 24.000 t mensuales de compost (Salamanca, 2012).

Muñoz (2012) evaluó el efecto de la aplicación de diferentes dosis de compost (producido de la mezcla de cachaza, vinaza y residuos de cosecha) en combinación con fertilizantes de síntesis en la productividad de la caña, y encontró que en los tres primeros cortes, la dosis de compost de 5 t/ha incrementó la productividad del cultivo.

El compost como acondicionador orgánico natural mejora a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, incrementa la porosidad, disminuye la densidad aparente, consolida la estructura y consistencia, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, capacidad buffer, la concentración de algunos nutrientes esenciales y la actividad biológica del suelo (Labrador, 2001; Ward, 2002; Brady and Weil, 2004; Quiroz y Pérez, 2013). En 2004, la Fundación de Hogares Juveniles Campesinos (FHJC) recomendó el compostaje como el mejor método para aprovechar los residuos orgánicos y mejorar los suelos de las fincas pequeñas bajo el enfoque de agricultura orgánica.

Estrada (2005) considera el compostaje como el tratamiento más adecuado para el aprovechamiento de la gallinaza. Por su parte, Blandón *et al*. (1998) demostraron que las fincas cafeteras pueden producir un compost de mejor calidad cuando compostan solamente la pulpa de café sin adicionarle el mucílago.

Con relación a la utilización de compost a partir de residuos de agroindustria como acondicionador de suelos, Jaramillo (2012) evaluó agronómicamente el efecto enmendante de dos tipos de compost a partir de alperujo sobre suelos calizos de fertilidad orgánica baja en España, obteniendo resultados sobresalientes.

La utilización del compost que se genera de diferentes residuos implica un conocimiento adecuado de sus propiedades; esto permite conocer en qué condiciones y tipos de suelos es posible su uso, ya sea como fertilizante, enmienda orgánica o acondicionador; por esta razón, la investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del compost realizado en la planta del ingenio Riopaila-Castilla para determinar qué combinación de subproductos genera un compost de mejor calidad, de tal forma que pueda ser utilizado como acondicionador de suelos, cumpliendo con la Norma Técnica Colombiana (NTC 5167).

p. 73-81

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la planta de compostaje del ingenio Riopaila-Castilla ubicado en el departamento del Valle del Cauca, corregimiento de San Antonio de los Caballeros (Florida), coordenadas geográficas 03º36'38" N y 76º27'96" O, a una altitud de 1050 msnm.

Para la elaboración del compost se utilizaron subproductos provenientes del proceso de molienda de tallos de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) del ingenio Riopaila-Castilla, tales como cachaza, bagazo y vinaza al 25%; cada subproducto se caracterizó químicamente para determinar el aporte inicial al compost.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco tratamientos (tabla 1) y cuatro repeticiones. La unidad experimental correspondió a una pila de 20 t de peso y 1,5 m de altura.

Tabla 1. Proporción de subproductos en cada tratamiento

	Subproductos		
Tratamiento	**Cachaza (%)**	**Bagazo (%)**	**Vinaza (m^3)**
1	100	-	2
2	75	25	2
3	50	50	2
4	25	75	2
5	-	100	2

Las pilas de compost fueron muestreadas en diferentes tiempos (42, 51, 59, 73 y 90 días) considerando la experiencia y los trabajos previos realizados en el ingenio. A partir de dicha experiencia se evidenció que antes de 42 días el producto generado no es adecuado para su manejo y aplicación en campo, dado su elevado contenido de humedad y presencia de material sin transformar.

Para las variables de respuesta: pH (potenciómetro en agua 1:1 p/v), relación carbono-nitrógeno (C:N), conductividad eléctrica (CE), humedad (H), cenizas (C), materia orgánica (MO), carbón orgánico oxidable total (COOT), nitrógeno total (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y retención de humedad (RH), se analizaron las muestras en el laboratorio del Ingenio Riopaila-Castilla por diferentes metodologías estandarizadas como: conductimetría, gravimétrica, de ignición (ver a), Walkley and Black, Kjeldahl, Bray II, espectrometría de absorción atómica, Olsen, porcentaje de saturación (ver b).

$$a)\ \%\ Cenizas = \left[\frac{peso\ final}{peso\ inicial}\ x\ 100\right]\left[\frac{100 - \%humedad}{100}\right]$$

$$b)\ \%\ saturación = \left[\frac{A\ x\ 100}{Wm}\right]\left[\frac{100 - \%humedad}{100}\right]$$

Donde:

A = peso en gramos del volúmen de agua utilizado para alcanzar el punto de saturación

Wm = peso en gramos de la muestra

$\%\ humedad$ = contenido de humedad inicial de la muestra

El experimento se estableció en la planta de compostaje industrial, en pilas de compostaje, para lo cual, se pesó la cachaza y el bagazo en una báscula industrial (Mettler Toledo); una vez pesados, se combinaron en diferentes porcentajes de acuerdo con el diseño de los tratamientos (tabla 1). La vinaza se adicionó en todos los tratamientos en una misma dosis de 2 m^3 por pila de compostaje, con el fin de enriquecer con potasio las mezclas; dada la concentración de este elemento en la vinaza, dosis más elevadas generarían un desbalance en la relación K:Mg. Una vez establecidas las pilas de compostaje, el primer mes se realizaron dos volteos semanales y posteriormente un volteo por semana hasta la finalización del ensayo; estos volteos permiten homogenizar y oxigenar las mezclas de tal forma que el producto final sea uniforme en su presentación; para realizar estos volteos se utilizó un buldócer modelo CATD5N LX 2005.

Los datos obtenidos de las variables de respuesta fueron sometidos a un análisis de varianza (anova), para lo cual se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1.3 (2006), donde se detectaron diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química de subproductos

La cachaza mostró valores similares a los obtenidos por Arbeláez (1992) y Zérega (1993); la concentración de elementos mayores, nitrógeno, fósforo y potasio no

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

supera la unidad y concuerda con lo reportado estos autores. El porcentaje de materia orgánica es similar a los mostrados por Zérega (1993), quien reporta valores superiores al 50%; sin embargo, el estudio de Arbeláez (1992) reporta valores menores a 33,5%; la relación C:N se considera alta, comparada con la Arbeláez (1992), quien reporta una relación C:N de 31,98.

Con relación al bagazo, los valores encontrados son muy similares a los obtenidos por Sánchez (2013) en casi todos los parámetros: nitrógeno total, fósforo y potasio se encuentran por debajo de 0,8%; la humedad está cercana a 48%; los valores de calcio, magnesio y sodio por debajo de la unidad; el pH (5,5) es similar; los valores de materia orgánica y carbón orgánico oxidable total se consideran bajos, si se comparan con los reportados por este autor (Sánchez, 2013), (tabla 2).

Tabla 2. Caracterización química de los subproductos cachaza, bagazo y vinaza

Elementos	Unidades	Cachaza	Bagazo	Vinaza
Materia Orgánica (MO)	%	50,10	45,81	3,61
Carbono orgánico oxidable total (COOT)	%	12,82	25,60	2,10
Nitrógeno total (N)	%	0,26	0,13	0,17
Relación carbono - nitrógeno (C:N)		49,22	196,9	12,35
Fosforo total (P)	%	0,80	0,10	21,31*
Potasio (K)	%	0,12	0,03	2,65*
Humedad (H)	%	20,01	47,11	95,32
Calcio (Ca)	%	0,41	0,03	0,75*
Magnesio (Mg)	%	0,13	0,03	0,63*
Sodio (Na)	%	0,003	0,002	0,28*
Manganeso (Mn)	%	0,009	0,002	2,01**
Zinc (Zn)	%	0,002	0,0005	3,02**
Boro (B)	%	< 0,006	< 0,006	0,50**
Aluminio (Al)	%	0,11	0,04	0,001
Hierro (Fe)	%	0,25	0,07	3,01**
Cenizas (C)	%	2,14	7,13	0,21
Sílice (Si)	%	< 0,003	< 0,003	0,02
Cobre (Cu)	mg/kg	0,001	0,0001	0,52**
Azufre-total (S)	mg/kg	0,02	0,02	0,0001*
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	1,01	0,14	3,71
Capacidad intercambio catiónico (CIC)	Cmol(+)/kg	26,12	17,39	243,5
pH		5,4	5,0	4,0
Densidad 20 °C				1015*

Fuente: Laboratorio de análisis del Ingenio Riopaila-Castilla 2012.
* kg/m3
** mg/L

En la vinaza, el contenido de materia orgánica y carbono orgánico oxidable total se consideran bajos; el valor de nitrógeno total se considera normal; la relación C:N, densidad y pH se encuentran dentro del rango; todo lo anterior, comparado con los datos reportados por Quintero (2008) y Gallego *et al*. (2012).

p. 73-81

Comportamiento de las variables evaluadas

La relación C:N presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto de los tratamientos; diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) por efecto de la época de muestreo, mas no por la interacción tratamiento*época. En la figura 1, se observa que el T5 presentó la mayor relación C:N y el T1, la menor; esto se considera normal, ya que la relación C:N de la materia prima bagazo supera en 400% la relación de la cachaza.

Las relaciones C:N evaluadas al final del proceso de compostaje, es decir, a los 90 días, mostraron que los mejores tratamientos de mayor a menor, con valores cercanos a 20 (rango óptimo recomendado por Costa, 1991; Rynk and Colt, 1997; USDA, 2000; Labrador, 2001; NYC Department of Sanitation, 2012) fueron los tratamientos T5, T4 y T3. Es importante tener presente que la relación C:N inicial en cada tratamiento es un factor determinante en la relación C:N final del compost producido.

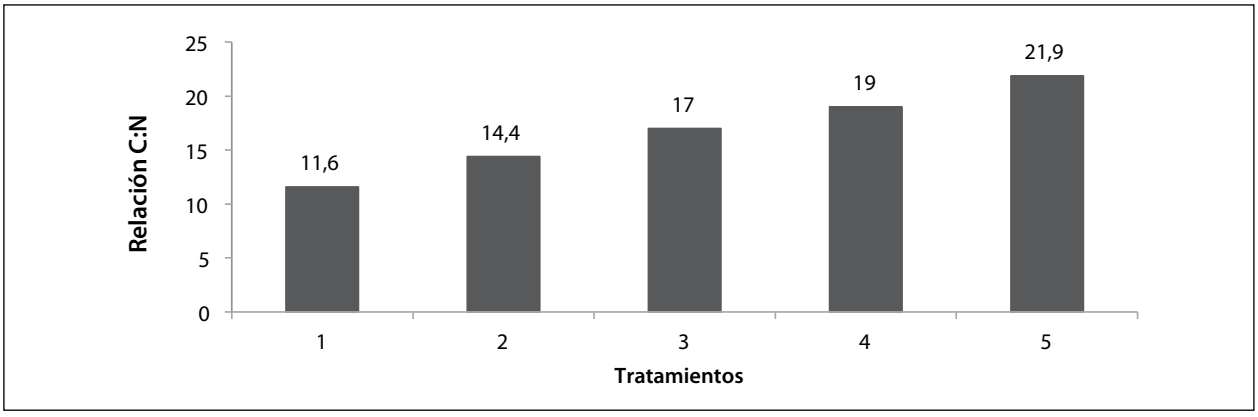

Figura 1. Relación C:N en los diferentes tratamientos a los 90 días

La relación C:N muestra tendencia a disminuir por época de muestreo, siendo evidente la disminución de la relación C:N entre la relación inicial y final del compost (42 y 90 días): esto permite corroborar que el compostaje realizado es un proceso práctico y apropiado para la estabilización de materiales orgánicos.

El pH, cenizas y los contenidos de magnesio y hierro no presentan diferencias por efecto de los tratamientos; el resto de variables evaluadas, sí (tabla 3). Por efecto de la época de muestreo, todas la variables mostraron diferencias (tabla 4), mas no por la interacción tratamiento*época. El tratamiento con la mayor concentración de nutrientes fue el T1, mientras que el T5 presentó la más baja concentración, lo cual se considera normal debido a la mayor relación C:N inicial y final que presenta el bagazo, material correspondiente al T5.

Tabla 3. Comportamiento de las variables de respuesta por efecto de los tratamientos

	Variables de respuesta															
Tratamiento	pH	CE	H	C	MO	COOT	N total	P2O5	K2O	CaO	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	RH
1	(7,3)a	(7,7)a	(36,7)a	(32,9)a	(30,2)a	(6,96)a	(0,6)a	(1,3)b	(0,7)b	(2,0)a	(0,5)a	(0,9)a	(0,05)a	(0,00)b	(0,01)a	(113,7)a
2	(7,1)a	(8,0)a	(37,5)ab	(33,4)a	(29,0)a	(10,9)a	(0,7)b	(1,3)b	(0,6)ab	(1,3)b	(0,4)a	(0,9)a	(0,04)b	(0,00)b	(0,00)c	(112,7)a
3	(7,1)a	(5,4)ab	(36,4)a	(43,2)a	(30,1)a	(22,1)a	1,3)bc	(2,5)a	(1,0)a	(1,9)a	(0,8)a	(1,3)a	(0,07)bc	(0,007)a	(0,02)b	(109,3)a
4	(7,2)a	(6,4)ab	(44,3)b	(27,6)a	(27,9)a	(11,4)a	(0,6)c	(0,9)c	(0,6)ab	(1,1)bc	(0,4)a	(0,7)a	(0,03)c	(0,00)b	(0,00)c	(112,1)a
5	(7,1)a	(4,0)b	(43,4)bc	(28,4)a	(20,3)b	(6,6)b	(0,3)d	(0,3)d	(0,4)c	(0,8)c	(0,4)a	(1,1)a	(0,02)c	(0,00)b	(0,00)c	(83,0)b

Valores dentro de la columna con igual letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) según la prueba de Duncan.

p. 73-81

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

En relación con las épocas de muestreo, se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para todas las variables evaluadas, mas no para la interacción tratamiento*época. En términos generales, se demuestra que la mayoría de las variables no presentan diferencias para la segunda y tercera época de muestreo, de donde se concluye que no es necesario la evaluación a los 42 días (tabla 4). Las variables evaluadas mostraron una tendencia creciente durante el proceso de compostaje; en este sentido, los nutrientes tienden a concentrarse a medida que transcurre el tiempo de compostaje y acontecen los procesos de degradación y mineralización de los compuestos orgánicos presentes en los subproductos mezclados inicialmente.

Esta tendencia al aumento de la concentración de la mayoría de los nutrientes presentes en el compost a medida que transcurre el tiempo concuerda con lo reportado por Rynk (1992) y Cifuentes *et al*. (2011). Al evaluar la dinámica de las variables respecto a las épocas de muestreo, se concluye que a los 90 días de compostaje, se encuentra el máximo contenido de nutrientes, los cuales están dentro del rango óptimo para un compost de buena calidad.

Según las correlaciones de Pearson, la humedad presentó una alta correlación negativa con la mayoría de los nutrientes, entre ellos, nitrógeno, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc, lo que evidencia la importancia del control de la humedad para obtener un compost de calidad. La conductividad eléctrica presenta correlación positiva con potasio y magnesio, las cenizas son más abundantes cuando se aumentan los contenidos de magnesio, hierro, manganeso y cobre; estas variables se podrían utilizar para predecir la dinámica del proceso de compostaje y la calidad del producto final en función de su utilidad.

Tabla 4. Comportamiento de las variables de respuesta por efecto de la época de muestreo

	Variables de respuesta															
Época (días)	pH	CE	H	C	MO	COOT	N	P_2O_5	K_2O	CaO	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	RH
0	(7,3)b	(1,2)d	(51,2)a	(22,0)d	(26,7)b	(8,5)b	(0,6)bc	(1,0)c	(0,2)d	(1,2)bc	(0,2)e	(0,6)d	(0,02)d	(0,00)c	(0,00)d	(141,9)a
42	(7,0)c	(5,3)c	(41,9)bc	(28,4)c	(30,5)a	(11,4)a	(0,6)b	(0,8)d	(0,5)c	(1,4)ab	(0,3)d	(0,7)c	(0,03)cd	(0,00)b	(0,00)c	(118,7)b
51	(7,1)c	(5,5)c	(40,5)bc	(32,4)bc	(26,0)b	(9,2)b	(0,5)c	(0,8)d	(0,5)c	(1,2)b	(0,4)c	(0,9)bc	(0,03)bc	(0,00)b	(0,00)bc	(90,8)cd
59	(7,3)ab	(8,4)ab	(35,5)c	(33,7)b	(30,6)a	(11,0)a	(0,6)b	(2,5)a	(0,8)ab	(1,3)ab	(0,5)b	(0,8)bc	(0,03)b	(0,00)b	(0,00)b	(109,9)b
73	(7,4)a	(7,0)b	(26,4)ab	(33,2)b	(20,3)c	(9,0)b	(0,5)c	(1,4)b	(0,7)b	(0,9)c	(0,4)c	(0,9)b	(0,03)bc	(0,00)b	(0,00)bc	(82,2)d
90	(7,1)d	(10,8)a	(21,4)d	(50,0)a	(30,4)ab	(22,1)a	(1,3)a	(1,7)b	(1,0)a	(1,9)a	(0,7)a	(1,5)a	(0,07)a	(0,007)a	(0,02)a	(92,7)c

Valores dentro de la columna con igual letra no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) según la prueba de Duncan.

Calidad del compost

Para evaluar la calidad del compost producido en los diferentes tratamientos, se compararon éstos con la norma técnica colombiana (NTC) 5167, la cual sugiere que los valores de NPK deben ser superiores a 1%. El tratamiento T3 presentó los mayores valores en nitrógeno (1,3%), fósforo (2,5%) y potasio (1,0%), así, presenta las mayores concentraciones de NPK. En los tratamientos restantes, el nitrógeno y el potasio presentaron bajos contenidos y se encuentran por debajo de 1% (tabla 3).

El contenido de humedad en todos los tratamientos se considera alto, teniendo en cuenta que el límite permisible máximo es de 35%; así, el T4 (44,3%) presenta el mayor valor y el T3 (36,4%), el menor. Según Salamanca (2012), algunas calidades comerciales de compost presentan solamente 15% de humedad, por lo cual es conveniente disminuir el contenido de humedad, y realizar tratamientos adicionales, tales como solarización en condiciones controladas para deshidratar y quitar humedad al producto final antes de ser utilizado en campo, o en su defecto más volteos por semana.

p. 73-81

Según la NTC 5167, el carbono orgánico oxidable total deber ser mínimo 15%; el T3 presenta el mayor valor (22,1%) y el T5, el menor (6,6%). En cuanto a las cenizas, el contenido máximo debe ser 60%; en todos los tratamientos, se encuentran por debajo de este nivel, cumpliendo con la exigencia; el T3 tiene el mayor porcentaje (43,2%) y el T4, el menor.

Respecto al pH, todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de 4 a 9 como lo exige la norma. El T3 muestra un pH casi neutro (7,1), lo que lo hace ideal para ser aplicado en cualquier tipo de suelo.

Análisis comparativo del compost

En el mercado se encuentran compost comerciales derivados de subproductos de la industria azucarera, producidos en varios ingenios del Valle del Cauca. Al comparar éstos con el compost del T3 producido en el Ingenio Riopaila-Castilla, se observa que la mayoría de las variables evaluadas se encuentran dentro de un rango similar a las calidades de esos compost comerciales; sin embargo, el compost del T3 presenta contenidos ligeramente bajos de potasio y calcio; el contenido de manganeso supera los reportados en los compost comerciales (tabla 5).

Tabla 5. Comparación calidad compost obtenido con calidades comerciales de compost de subproductos de la industria azucarera

Aporte nutricional	Compost 1	Compost 2	Compost Riopaila-Castilla
N %	1,0	1,0	1,3
P_2O_5 %	1,3	1,0	1,7
K_2O %	2,5	2,6	1,0
CaO %	3,5	3,7	1,9
MgO %	1,3	1,1	0,8
Fe %	1,4	1,3	1,3
Mn ppm	350	450	700
Cu ppm	80	35	67
Zn ppm	90	80	160
Humedad máxima %	30	15	21
Cenizas %	41	60	47
COOT %	15	10	12
pH	8,1	7,5	7,1
Saturación %	102	75	88
Relación C:N	15	10	17

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Los bajos contenidos de potasio, calcio y magnesio se deben al escaso aporte de estos nutrientes a través de la vinaza utilizada que, como ya se discutió, mostró valores muy bajos comparados con los valores referenciados por otros autores para este subproducto. Se sugiere para futuros ensayos evaluar una dosis más alta, como por ejemplo 6 m^3 de vinaza por pila de compost de 20 t, que aporte la cantidad suficiente de estos elementos como para mantener un equilibrio en la relación K:Mg.

CONCLUSIONES

El tiempo de compostaje que garantiza una adecuada maduración y mayor aporte de nutrientes en el compost producido es de 90 días, el cual cumple con la mayoría de requerimientos de la norma técnica colombiana NTC 5167.

El tratamiento que presentó la mejor calidad con los mejores contenidos nutricionales fue el correspondiente a la mezcla de 50% de cachaza y 50% de bagazo, suplementada con 2 m^3 de vinaza (T3).

AGRADECIMIENTOS

Al Ingenio Riopaila-Castilla, por su apoyo, financiamiento y continuo interés en el proyecto. A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, por su apoyo en la formación posgraduada del primer autor.

REFERENCIAS

Arbeláez C. 1992. Efectos comparativos de tres presentaciones de cachaza en algunas propiedades químicas de los suelos en la productividad de la caña de azúcar (tesis de magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos). Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 60 p.

Bautista F, Durán-de-Bazúa M. 1998. Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinazas crudas y tratadas biológicamente. Revista Internacional Contaminación Ambiental 14:13-19.

Berrocal M. 1987. Efecto de los residuos de la industria azúcar-alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña y azúcar en un vertisol de Guanacaste. Agronomía Costarricense 12(2):147-153.

Blandón G, Rodríguez N, Dávila M. 1998. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. Revista Cenicafé 3:169-185.

Brady N, Weil R. 2004. Elements of the nature and properties of soils. 2nd edition. New Jersey: Pearson-Prentice Hall. 606 p.

Centro de Investigación en la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). 2010. Informe anual. 160 p.

Cifuentes R, De León LR, Porres C. 2011. Producción de abono orgánico a partir de cachaza y tallos de caña de azúcar recuperados de las carreteras. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala 23:8-17.

Costa F, García C, Hernández T, Polo A. 1991. Residuos orgánicos urbanos: Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (Sebas). Murcia, España, 181 p.

Cuéllar AI, Villegas DR, León OM, Pérez IH. 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. La Habana, Cuba, Publínica, pp. 88-92.

Estrada PM. 2005. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de Investigación 2(1):43-48.

Fundación Hogares Juveniles Campesinos (FHJC). 2004. Manual de agricultura alternativa; Principios. Colección Cuidando la creación. Ediciones San Pablo. Santafé de Bogotá D.C. 96 p.

Gallego J, Muñoz E, Hernández L. 2012. Effects of vinasse-microorganisms blend application on a Vertisol with sugarcane. Agronomía Colombiana 30(1):116-123.

Hernández MGI, Salgado GS, Palma LD, Lagunes ELC, Castelán EM, Ruiz RO. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. Interciencia 33:855-860.

Ingenio Riopaila-Castilla. 2011. Informe de gestión. 32 p.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). 2004. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. Bogotá D.C. 40 p.

Jaramillo C. 2012. Evaluación agronómica de un suelo calizo enmendado con compost de alperujo. Tesis de magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 83 p.

Labrador J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. pp.152 -180.

Muñoz AF. 2012. Evaluación de la aplicación de compost en el cultivo dela caña de azúcar. En: Memorias XI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Riohacha, La Guajira. 128 p.

New York City (NYC) Department of Sanitation. 2012. Master composter manual. Department of Sanitation. NY. 158 p.

Pansu M, Gautheyrou J. 2006. Handbook of soil analysis. Mineralogical, organic and inorganic methods. Netherlands: Springer publishers. 993 p.

Peña A. 1999. Usos de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar: Los residuos industria azucarera (CEA) y el medio ambiente. En: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, http://www.bvsde.paho.org; consulta: marzo 2014.

Quintero R. 2008. Investigaciones sobre el manejo de las vinazas aplicadas al suelo. Documento de trabajo número 631. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia Cenicaña. Cali, Colombia. 21 p.

Quiroz IG, Pérez AV. 2013. Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5:1069-1075.

Rynk R, Colt M. 1997. Composting at home. Boise, Idaho: Cooperative extension system, University of Idaho College of Agriculture. 41 p.

Rynk R. 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-54. Ithaca, NY. 186 p.

Salamanca S. 2012. Compostaje de residuos industriales en Colombia. Revista Tecnicaña 28:13-18.

Sánchez D. 2013. Estudio de factibilidad para la creación de la planta de abonos orgánicos de Colombia (tesis de grado Administrador del medio ambiente y de los recursos naturales). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali: Facultad de Ciencias Básicas. 117 p.

Statistical Analysis Systems (SAS®). 2006. Version 9.1.3. SAS/STAT User's guide Statistics. Statistical Analysis System Institute. Inc. Cary, NC. 26 p.

United States Department of Agriculture (USDA). 2000. Environmental Engineering, National Engineering Handbook. Part 637. Chapter 2. Composting. Washington D.C. 67 p.

Ward M. 2002. Composting a beginner's guide. Slippery rock, Pennsilvanya: Slippery University. 26 p.

Zérega ML. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Caña de azúcar 11(2):71-92.

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria