

Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana

Jimmy Álvarez Díaz*, Christian Gómez**, Fabián Herrera***, Monika Cristina Echavarria Pedraza†

Universidad Manuela Beltrán. Bogotá - Colombia

FECHA DE ENTREGA: 6 DE FEBRERO DE 2013

FECHA DE APROBACIÓN: 4 DE ABRIL DE 2013

Resumen El compostaje a pequeña escala en dispositivos cerrados fue uno de los temas claves de investigación del Jardín Botánico de Bogotá (JBB) para el desarrollo de las actividades del proyecto 319 de Agricultura Urbana. Ante el escenario de consolidación de un programa de agricultura urbana en la ciudad, el JBB diseñó y construyó un prototipo para la producción de *compost* en condiciones urbanas. El objetivo de esta investigación fue el rediseño y optimización de este prototipo teniendo en consideración los factores condicionantes de un proceso aeróbico de compostaje a pequeña escala. De acuerdo con un análisis de las dimensiones reales del prototipo y las características de diseño y manejo del material orgánico tenidas en cuenta por el JBB para la producción de *compost* de buena calidad, en esta investigación se realizó una primera fase de diagnóstico de la eficiencia del prototipo, en cuanto a la calidad del producto obtenido, e identificación de las posibles mejoras. Una segunda fase consistió en la construcción de un dispositivo rediseñado, para culminar en una última fase de experimentación y verificación de la eficiencia del mismo. Durante la realización de las distintas fases se tuvieron en cuenta siempre los factores que controlan un proceso aeróbico de compostaje (oxígeno, pH, humedad y temperatura), así como para luego mejorar algunas características del prototipo del JBB, tales como su tamaño, modo de aireación, aislamiento térmico y facilidad de volteo, entre otras, que aumentarían la eficiencia del proceso de compostaje a pequeña escala.

Abstract Small-scale composting on closed devices was one of the key research topics of the Bogota Botanical Garden (JBB) for the development of the Urban Agriculture Project 319 activities. Given the consolidation scenario of an urban agriculture program in the city, the JBB designed and built a prototype for producing compost in urban conditions. The

* jimmy.alvarez@docentes.umb.edu.co

** cgomez@umb.edu.co

*** fherrera@umb.edu.co

† monikepe@hotmail.com

goal of this research was the redesign and optimization of this prototype taking into account the determinants of a small scale aerobic process. According to an analysis of the dimensions of the actual prototype, the design features and the handling of organic materials taken into account by JBB for the production of good quality compost, this research carried out a phase to determine the diagnostic efficiency of the prototype, in terms of product quality and to identify possible improvements. A second phase consisted on the construction of a redesigned device and a final experimentation and verification phase of its efficiency. During the execution of the different phases the factors that control a compost aerobic process (oxygen, pH, humidity and temperature) were always taken into account, to improve some features of the prototype JBB, such as its size, ventilation mode, thermal insulation and ease of turning among others, to increase the efficiency of the composting process to small scale.

Palabras Clave: biodigestión aerobia, aerobio, agricultura urbana, compostaje, hojarasca, aireación pasiva, dispositivos de compostaje.

Keywords: aerobic biodigestion, aerobic, urban agriculture, composting, litter, passive ventilation, composting devices.

1. Introducción

Los residuos sólidos orgánicos (RSO) conforman una gran parte de los residuos sólidos (RS) generados en la ciudad de Bogotá, y es un punto dentro del cual no se hace mucho énfasis en una ciudad como la nuestra. La mayoría de estos se originan principalmente dentro de los hogares, en los comercios, y de forma secundaria en instituciones educativas y parques industriales.

Los residuos orgánicos son biodegradables y pueden ser procesados en presencia de oxígeno para su compostaje, o en la ausencia de oxígeno mediante la digestión anaeróbica. Ambos métodos producen, una especie de abono orgánico o fertilizante, que si se prepara correctamente también puede ser utilizado como una valiosa fuente de nutrientes en la agricultura urbana. Algunos estudios muestran que del volumen total de residuos orgánicos urbanos generados por un hogar promedio, los que más contribuyen con un 25 % cada uno son los originados por desechos vegetales (por ejemplo, residuos verdes o de jardín) y por residuos de alimentos. Además de ser un recurso valioso para los suelos pobres en nutrientes (si se les proporciona un manejo adecuado), este material genera los más importantes niveles de contaminación cuando se depositan en vertederos. Algunas formas de desechos orgánicos pueden causar problemas de salud pública, tales como enfermedades, malos olores y vectores pues se descomponen mediante digestión anaerobia produciendo biogás, como el metano, que es un gas de efecto invernadero. También se producen filtraciones de líquidos lixiviados, los cuales tienen el potencial de contaminar las aguas subterráneas y en algunas ocasiones llegan a liberar metales pesados.

Las medidas que se deben adoptar para contrarrestar los impactos ambientales generados por la sociedad actual, por un lado deben ser más contundentes y por

otro deben intensificarse la búsqueda de alternativas que aseguren la minimización de aquellos impactos que están degradando el planeta que habitamos todos. Entre otras preocupaciones, la búsqueda de una solución viable al manejo de los residuos orgánicos urbanos llevó al planteamiento del mejoramiento del diseño del prototipo de *compost* domiciliario construido por el Jardín Botánico de Bogotá, que en un principio fue pensado como alternativa para darle solución al manejo seguro de los residuos orgánicos domiciliarios pero que al mismo tiempo, pretendía darle solución al manejo adecuado y seguro del *compost* utilizado por la red de agricultores urbanos de la ciudad.

En este trabajo se parte del supuesto que es posible realizar mejoras al prototipo de *compost* domiciliario construido por el equipo técnico del JBB, que en un primer análisis demostró que era posible mejorar algunas características que aumentará la eficiencia del proceso de compostaje. Esto origino el rediseño de optimización planteado en el presente estudio, el cual genera como su resultado más importante el rediseño de una nueva versión mejorada del prototipo existente en el JBB.

2. Establecimiento de los montajes

Los dispositivos construidos fueron ubicados en el área establecida por el JBB como zona de compostaje (Figuras 1 y 2), la cual consiste de una estructura techada de zinc y plástico negro con una altura de 4 metros del suelo, sin muros y piso en tierra, de aproximadamente 160 m² que se encuentra rodeado por una cerca viva que lo protege en uno de sus costados. Esta zona está destinada a la producción del abono orgánico que la institución requiere y se realiza la investigación referente a diferentes técnicas para la producción de *compost* y lombricultura. Debido a que la compostera no está aislada del ambiente del jardín, el cual se caracteriza por su exuberante vegetación de bosque andino, hace que se presenten condiciones altas de humedad, de aproximadamente el 75 %.

3. Procedimiento

El siguiente fue el procedimiento empleado para la generación de este material:

1. Recolección de residuos orgánicos.
2. Recolección de hojarasca.
3. Selección del material orgánico adecuado para el proceso de compostaje (no todo el material orgánico sirve).
4. Trituración por separado del material orgánico y hojarasca, lo más finamente posible.
5. Pesaje por separado del material orgánico y hojarasca triturada.
6. Mezcla de los dos tipos de material (orgánico y hojarasca) de acuerdo a una relación previamente establecida 1:1 en volumen.
7. Adición del carbonato de calcio (80 gr) por montaje individual, para estabilización del pH.

8. Los montajes se identificaron asignándoles una numeración:
 - (a) Prototipo 1: tiene la particularidad de habersele agregado un inóculo casero de microorganismos coadyuvantes del proceso de fermentación (levadura, melaza, estiércol y agua).
 - (b) Prototipo 2: se diferencia del anterior por que se le agrega estiércol fresco de ganado vacuno.
9. Una vez establecidos los dos montajes, se procedió a la toma diaria de los parámetros de T y pH, durante un periodo máximo de 28 días. Este periodo se estableció de acuerdo con experiencia previa de compostaje, el cual se ajustó perfectamente al cronograma de trabajo.
10. El procedimiento de volteo fue realizado para efectuar una homogenización regular, cuando hubo cambios de temperatura significativos o una humedad excesiva.
11. Según sea el caso, se procede a realizar variaciones en el proceso de experimentación de acuerdo con los contratiempos puntuales que se vayan presentando durante el proceso.

4. Ensamblaje

Se llevó a cabo un análisis detallado para determinar el volumen de residuos orgánicos adecuado para ser manejado en el dispositivo a rediseñar, el cual de acuerdo con la producción per cápita de basura en Bogotá que es de 0,77 kg/hab/día y cuya composición en un 50 % es de material orgánico¹. Adicionalmente, a estas cifras si se estima que una familia de 4 personas (promedio nacional habitantes por vivienda, 3,5)², produce un promedio de residuos orgánicos mensuales de 46 kg, aproximadamente, de los cuales tan solo el 65 % es apto para la utilización en un sistema de compostaje (el 35 % restante no son aptos para el proceso de compostaje).

Partiendo de estas cifras, entonces se estima que un dispositivo de compostaje diseñado para un grupo familiar de estas características debe ser diseñado para una capacidad de manejo de 31 kg de residuos orgánicos domiciliarios. Este volumen de material no debe ocupar todo el espacio de una caneca, sino que se debe planificar para que ocupen una tercera parte de la capacidad total de la caneca. Es decir que se necesita una caneca plástica de un volumen de 60 litros como capacidad estimada como óptima para el rediseño del prototipo de *compost* domiciliario. Es importante destacar que el rediseño se habilitó para que funcionara a una capacidad del 75 %, en un rango entre 30 y 35 kg, de esta manera se asegura que exista un espacio suficientemente libre para homogenización del material, mediante el volteo, se facilite y consiguientemente se favorezca y agilice el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Posterior a la determinación de la cantidad y composición de la materia prima e insumos a utilizar, se procedió al ensamblaje del biorreactor y su respectivo

¹ <http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/anexospot/Volumen%20Diagnostico.pdf>

² <http://www.dane.gov.co/>

duplicado. Las canecas comerciales fueron evaluadas por sus capacidades de durabilidad, soporte y capacidad de aislamiento del material a trabajar. Posteriormente fueron esterilizadas con hipoclorito de sodio al 5% (cloro). Para asegurar el aislamiento térmico del contenido al interior de las canecas, estas se recubrieron con una capa de isoflon de 5 ml de espesor y una camisa de plastilona negra, haciendo énfasis en la obtención y conservación de la temperatura óptima para el proceso microbiológico del sistema.

Una vez escogidos los materiales más adecuados para ser utilizados, se dio inicio a las labores del diseño de la parte interior de la caneca, enfocándose primero en la construcción del filtro de separación para la evacuación efectiva de lixiviados. Para esto, se cortó una malla de forma circular con el diámetro inferior de la caneca, esta malla forma un tamiz de 5 mm de apertura para la separación efectiva de los lixiviados y el material orgánico en proceso de compostaje.

Se fabricó una base en lámina metálica de forma rectangular de 6 cm de ancho \times 12 cm de longitud, que se ancló al fondo de la caneca por medio de dos tornillos de $\frac{1}{4}$ de pulgada, el cual permitió la fijación del filtro de separación y del sistema de aireación principal (tubo central de PVC).

Este tubo central de PVC de 2 pulgadas de diámetro y 58 cm de altura, constituyó el conducto de aireación principal y se ubicó en el centro de la estructura, atravesando toda la longitud de la caneca. A dicho conducto central se le perforaron ocho orificios ubicados en dos secciones independientes de cuatro orificios cada una. Los orificios en cada sección circular estuvieron separados entre sí por un ángulo de 90° , los cuales se habilitan para servir de base de anclaje de flautas de aireación secundarias que constan de tubos conductos de $\frac{1}{2}$ pulgada de tubo PVC perforados. A su vez, estas flautas cuentan con dos secciones de orificios de $\frac{3}{16}$ pulgadas, a una distancia de 5 y 10 cm respectivamente, desde el conducto de aireación principal, las cuales constan de dos orificios cada una y se encuentran separados entre sí por un ángulo de 180° . Estas flautas fueron aseguradas a la parte externa del dispositivo para facilitar una entrada constante de oxígeno.

La primera flauta de aireación secundaria se fijó a 20 cm de altura y la segunda a 40 cm. Algo novedoso en este diseño, fue la inclinación de 10° de las flautas desde tubo central hasta la pared de la caneca, para impedir la entrada de agua al dispositivo, producto de la condensación del vapor de agua o la lluvia y que por la gravedad se facilitará la evacuación de líquidos. Para dar mayor rigidez a la estructura interna las flautas fueron reforzadas desde la parte exterior de la caneca con uniones de tubo PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada. Cada una de las partes fue previamente limpiada y posteriormente unida con limpiador y pegamento para tubería PVC.

La caneca fue perforada a una altura de 40 cm, por dos orificios de 1 pulgada de diámetro, opuestos entre sí a cada lado de la caneca, los cuales cumplieron la función de dar soporte para el sistema de volteo. Estos orificios fueron reforzados con dos láminas de 10 cm de longitud y 5 cm de ancho que fueron ajustadas a la pared exterior de la caneca por medio de dos tornillos de $\frac{1}{4}$ pulgada, con su respectiva tuerca y arandela.

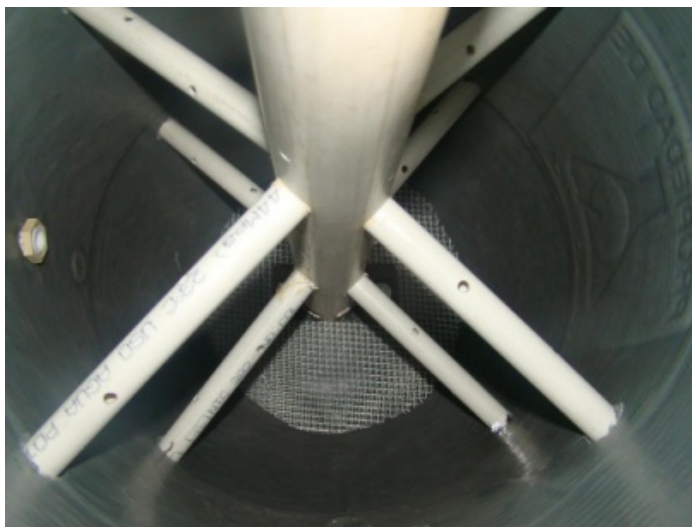


Figura 1. Estructura de flautas de aireación secundarias y sistema de separación para la lixiviación con tamiz de 5 mm.



(a)



(b)

Figura 2. Sistema de aireación interno, conformado por el tubo principal y las dos flautas secundarias.

Para la construcción de la estructura de soporte que va sostener la caneca y va permitir su volteo en un giro completo de 360° , se utilizó un perfil cuadrado metálico de un espesor de 2 pulgadas y 3 metros de longitud. Este perfil consistió en la unión de dos secciones que fueron soldadas entre sí, cada una de estas secciones actúa como una columna 1.10 metros de altura cada una y se disponen paralelamente entre sí por 45 cm de separación. A 10 cm desde la parte superior de las columnas, se realizaron orificios de 1 pulgada para ensamblar el soporte metálico a la caneca. Estos orificios del soporte metálico encajan perfectamente con los orificios de la caneca, para ser unidos mediante tornillos, no sin antes instalarse un separador de 2 cm de longitud a cada tornillo, de tal forma que se impida el rozamiento caneca-soporte metálico y se facilite al máximo el sistema de volteo sin ninguna dificultad. El soporte metálico fue pulido, pintado con una capa de anticorrosivo y esmalte gris para asegurar su vida útil ante los efectos corrosivos del ambiente.

5. Comparación final entre dispositivos

Al terminar la fase de ensamblaje y conclusión de los detalles finales del rediseño y optimización del dispositivo de compostaje, el siguiente paso fue la comparación de las características físicas de los dispositivos con aquellas del prototipo de *compost* domiciliario presente en el JBB.

	Disp. A	Disp. B	
Volumen (m ³)	0.208	0.06	Volumen total de cada dispositivo
Altura (m)	1,1	0,8	Únicamente se toma el de las canecas. Dispositivo B tiene su eje de rotación 0,1 m por encima de su altura, por tal razón al girar ocupa 0,2 m más (0,6 + 0,2)
Diámetro (m)	0,52	0,37	Diámetro útil mas aislante o aislantes.
Ancho (m)	0,62	0,47	Diámetro más sistema de base y rotación.
Área (m ²)	0,3224	0,1739	Área en estado estático.
Ángulo Crítico (°)	65 – 245	65 – 245	Ángulo de máxima extensión del dispositivo.
Longitud Máxima (m)	1,22	0,88	Longitud lograda al adoptar el ángulo crítico.
Área Máxima (m ²)	0,75	0,41	Área usada al lograr un ángulo crítico.

Cuadro 1. Comparación física de los dispositivos A (Prototipo del JBB) y B (Dispositivo rediseñado y construido).

El prototipo compostador urbano (dispositivo A), consiste en una caneca de 55 galones de color negro para un manejo de material en peso de 50 kg. El tamaño de la caneca del dispositivo B, en comparación con el dispositivo anterior, resulta mucho más pequeña (Capacidad de 15 galones). Al reducir el volumen, hasta llevarlo a los requerimientos mínimos de una unidad residencial promedio generadora de residuos sólidos.



Figura 3. Flautas de aireación que quedan cubiertas por el material depositado dentro de los dispositivos.

6. Resultados

6.1. Resultados del proceso de compostaje en los dispositivos rediseñados y construidos

Se procedió a realizar el montaje en el área de compostaje habilitado por el JBB. Se preparó el material orgánico que sería compostado en cada uno de los dispositivos construidos de la siguiente manera.

1. Recolección de los residuos orgánicos en un establecimiento comercial del municipio de Funza (Cundinamarca) y transportados en bolsas negras a las instalaciones del JBB.
2. Trituración de los residuos orgánicos y la hojarasca (material seco) por separado en pedazos muy finos para facilitar la asimilación de los nutrientes por parte de los microorganismos.



Figura 4. Dispositivos A y B.

3. Pesaje de la muestra, 30 kg del material orgánico (fuente de nitrógeno) y 5 kg de hojarasca (Fuente de Carbono).
4. Mezcla de ambos materiales triturados.

Una vez establecidos los montajes, se procedió a la toma diaria de los parámetros de temperatura, pH y humedad, como punto de partida para el inicio del proceso de compostaje que tendría una duración de 28 días a partir del día de actividades del 19 de abril de 2011. Se manejó una periodicidad de muestreo de 24 horas aproximadamente.

6.2. Medición de parámetros

pH. En la Figura 5 se observa que entre los días 14 y 23 se pierde la similitud entre los valores de pH (por periodicidad entre volteos) entre ambos dispositivos que se venían manteniendo hasta esta fecha, A partir del día 24, se vuelve a estabilizar los valores de pH entre los dos dispositivos y termina de esta forma hasta la culminación de la fase experimental en el día 28.

Pérdidas de masa. Para determinar la pérdida de masa del dispositivo por emisión de gases (CO_2) y evacuación de lixiviados, se llevaron a cabo dos mediciones, al principio y al final del proceso. Por diferencia de pesos, se observó que la pérdida de masa del dispositivo 1 (inóculo), fue mayor pérdida de masa que la del dispositivo 2 (estiércol), en un 6%. Ver cuadro 2.

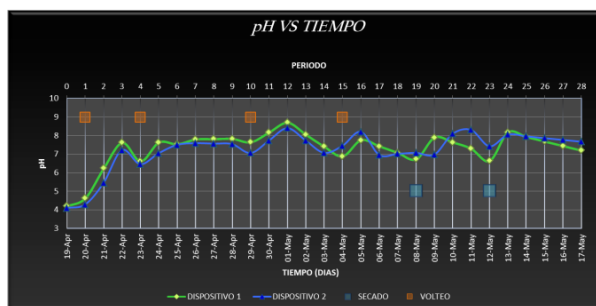


Figura 5. Comportamiento del pH registrado durante el proceso.

	Día 0 (kg)	Día 28 (kg)	Pérdida (kg)	% de pérdida
Dispositivo 1 (inóculo)	35	11	24	69 %
Dispositivo 2 (estiércol)	35	13	22	63 %

Cuadro 2. Pérdida de masa del proceso.

Temperatura. Es de notar el alto valor de temperatura (Figura 6) alcanzado en el día dos, el cual superó los 40 °C en ambos dispositivos. Debido a este gran valor, se procedió a realizar un primer volteo procurando evitar los cambios extremos de las condiciones de medio de cultivo de los microorganismos. Posteriormente, la frecuencia con que se efectuaron los volteos fue determinada por las exigencias de ambos parámetros de medida involucrados en la evaluación del proceso de compostaje.

Resultados físico-químicos del producto final obtenido. Los análisis químicos (cuadro 3) del *compost* obtenido en ambos dispositivos de compostaje evidenciaron propiedades similares, a excepción de la humedad y la saturación de Na, que resultaron mayores en el dispositivo 2.

6.3. Discusión de los resultados

Son muchos los autores que han encontrado útil la utilización de dispositivos de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos domiciliarios, la mayoría han encontrado en el producto final obtenido altos contenidos de nitrógeno y materia orgánica, ausencia de patógenos y compuestos fitotóxicos, aunque los promedios de temperatura durante el proceso hayan estado por debajo del rango

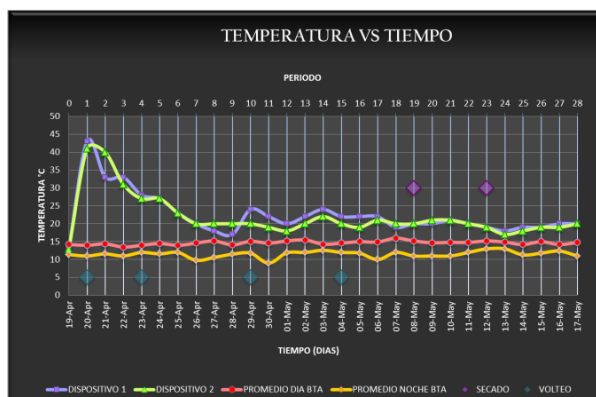


Figura 6. Comportamiento de la temperatura registrada durante el proceso.

Análisis	Unidades	Dispositivo 1	Dispositivo 2
Humedad	%	51.66	59.73
Conductividad	Ds/m	5480	4720
pH	U de pH	7.73	7.74
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	106.15	108.04
% de saturación	%	82.97	85.76
Calcio	Ca meq/100g	21.44	21.32
Magnesio	Mg meq/100g	13.66	13.64
Sodio	Na meq/100g	4.8	7.74
Potasio	K meq/100g	48.19	49.96
Saturación de bases	%	82,98	85,76
Nitrógeno total	N-Nt %	1.27	1.36
Fósforo	P/p.p.m	692.75	654.47
Materia orgánica	%	18.99	17.84
Carbono orgánico ³	%	11,01	10,34
Relación C:N	%	0.049305555555556	0.048611111111111

Cuadro 3. Análisis físico-químico del *compost* obtenido en ambos dispositivos de compostaje.

termofílico [3]. En adición, pocas emisiones de gases han sido detectadas. La información concerniente a la aplicación.

³ Como el contenido en carbono de la materia orgánica es de 58 %, esto hace que para pasar del porcentaje de carbono orgánico al porcentaje de materia orgánica tengamos que aplicar el factor 1.724, es decir: % materia orgánica = % C orgánico × 1.724.

A pesar de que en muchos casos no se alcancen temperaturas por encima de los 45 °C, el compostaje en canecas resulta adecuado para ambientes urbanos porque permite mantener la temperatura y humedad, además de optimizar la seguridad sanitaria de todo el proceso. El ambiente cerrado del proceso, facilita el aislamiento del material orgánico durante todo el tiempo del compostaje, impidiendo la proliferación de vectores de enfermedades. La temperatura es el indicador más importante de la eficiencia del proceso de compostaje [11]. Se encontraron temperaturas de hasta 43 °C en el *compost* evaluado, cerca de la fase termofílica, aunque la disminución paulatina hasta niveles de 20 °C (por encima de la temperatura ambiente) se debieron principalmente a los altos contenidos de humedad del material orgánico. En general, no se encontraron temperaturas altas al final del proceso de experimentación como se debería esperar por la alta actividad de los microorganismos.

Un inconveniente presentado y escasamente controlado en el montaje de la experimentación realizada, fue la alta humedad que presentó el material orgánico. Durante el proceso de descomposición normal, los residuos orgánicos se descomponen rápidamente para producir ácidos orgánicos y una fracción [2] considerable se transforma en contenidos de humedad. Según las revisiones en la literatura, la humedad alcanzada por la materia orgánica en descomposición se encuentra por encima del 80 %, razón por la cual la adición de material seco constituye un buen control del ajuste del contenido de humedad que debe bajarse hasta un rango comprendido entre un 55–65 %, para que se pueda llevar a cabo un buen compostaje de los residuos orgánicos. La adición de hojas secas además de aportar el carbono ayuda en la absorción de los lixiviados que se producen en el proceso de compostaje.

Por lo tanto, la composición inicial del material orgánico que fue de 1:1 en este experimento, influyó grandemente en los excesos de humedad presentados durante el proceso, el cual fue muy difícil de controlar a pesar de haberse efectuado procesos de secamiento directo al sol a fin de eliminar el exceso de humedad producido por el proceso de descomposición.

Si asumimos que en 28 días, los microorganismos actúan normalmente y se ha producido una descomposición asistida por el dispositivo, se pueden comparar los resultados de la calidad del *compost* obtenido con unos datos de un *compost* maduro, como los del cuadro 3, aportados por la investigación adelantada en la asignatura de microbiología de la UMB. Primero, es de anotar que una relación C:N < 20 muestra que los residuos orgánicos han sido estabilizados [8]. La relación encontrada en este trabajo de 1:10, está acorde con investigaciones adelantadas anteriormente en el JBB que han estado alrededor de este valor y hasta 1:20.

En relación con la humedad, se observa que en un dispositivo se logró controlar la humedad al final del proceso, manteniéndose en rangos adecuados del 50 % mientras que en el dispositivo 2 que se subió hasta un 60 % empezó a afectar los valores de conductividad eléctrica por el aumento casi del doble de cantidades de Sodio. Este aumento de humedad, no condicionó el aumento de otros parámetros químicos evaluados, que en general mostraron un *compost* producido dentro de parámetros normales con una alta saturación de bases cerca al 80 %, alta

concentración de fósforo (690 ppm aproximadamente) y valores de Nitrógeno y Carbono total dentro de los valores normales que demostraron una correcta descomposición del material orgánico facilitado por los dispositivos.

7. Conclusiones

El sistema de aireación pasiva presentó algunas inconsistencias en el transporte adecuado del oxígeno requerido para el desarrollo del proceso aerobio. La separación entre las flautas secundarias de aireación, no permitió que la zona central del material se aireara adecuadamente, donde se genera la mayor actividad microbiana.

El sistema de inclinación pensado para la eliminación de excesos de humedad ambiental, resultó adecuada al canalizar los líquidos hacia el exterior por gravedad, generados en estratos altos de la columna de *compost*.

El mecanismo de evacuación de lixiviados conformado por el filtro y zona de desalajo mostró un óptimo comportamiento al lograr la separación de las fases (sólido-líquido), y posterior expulsión de líquidos presentes en la zona inferior del dispositivo.

El aislamiento térmico logró mantener las condiciones propias del sistema dentro del dispositivo, pese a los eventos climáticos y condiciones poco favorables del ambiente que se presentaron durante el periodo de experimentación.

La infraestructura base, el eje de volteo y el punto de muestreo mejoró notablemente la manipulación y funcionamiento del dispositivo.

El exceso de humedad fue la variable de mayor preocupación, impidiendo el incremento de la temperatura y por ende, la óptima actividad microbiana; el control de este factor exigió el secado del material en dos ocasiones durante el proceso.

La temperatura no logró el nivel adecuado para la eliminación de patógenos, lo cual no clasifica el *compost* generado como óptimo para fines concernientes con la norma.

Aunque se logró un *compost* de buena textura al final de la etapa de experimentación, el tiempo previsto para la obtención de *compost* maduro, no fue suficiente, esto debido a las condiciones generadas en el sistema interno y las presentadas en el metasistema.

La pérdida de volumen del material en el interior del dispositivo, se debe al consumo de este por parte de los microorganismos, además de los lixiviados y emisiones de gases producto de la actividad metabólica y condiciones termófilas generadas en este proceso.

Se evidenció en la comparación final entre el dispositivo diseñado en el jardín botánico y el rediseño del presente trabajo de grado, que las mejoras implementadas tuvieron un comportamiento positivo, logrando mejorar las condiciones del proceso de producción de *compost* y facilidad de operación, disminuyendo los costos de fabricación por encima del 50%. En consecuencia, se cumplió con los objetivos trazados y se demostraron los beneficios del nuevo diseño.

Evaluando los resultados obtenidos en la fase de experimentación de 28 días y el análisis físico-químico de suelos al final de dicha fase, se observó que aunque el *compost* producido no fue maduro, las características que presentó son mejores que las generadas en un proceso normal, lo cual indica que el tiempo necesario para generar un *compost* maduro es menor a los 90 días mínimos que requiere un proceso estándar.

Referencias

1. Castañeda, E.: Informe final de investigación: evaluación del manejo de residuos sólidos domésticos para producción de *compost* y humus domiciliario bajo condiciones de agricultura urbana en el distrito capital. Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”, Proyecto 319, Subdirección Científica. (2010)
2. Chanakya H. N, Ramachandra T. V., Guruprasad M, Devi V.: Micro-treatment options for components of organic fraction of msw in residential areas. *Environ Monit Assess* 2007; 135: 129–39. (2007)
3. Colon J., Martinez-Blanco J., Gabarrell X., Artola A., Sanchez A., Rieradevall J.: Environmental assessment of home composting. *Resource, Conservation Recycle*. 2010; 54: 893–904. (2010)
4. CONAMA: Manual de compostaje casero. Gestión de Residuos Municipales. (2001)
5. COOPEBRIZAS: Abonos para la producción de hortalizas orgánicas. Costa Rica. (1998)
6. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis: Agricultura urbana: manual de tecnologías, Bogotá D.C. (2009)
7. Karnchanawong S., Suriyanon N.: Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 248-553. (2011)
8. Mathur S. P, Owen G., Dinel H., Schnitzer M.: Determination of compost biomaturity. *Literature review. Biol Agric Hortic*, 10:65–85. (1993)
9. Merzthal, G.: Ponencia sobre el diagnóstico de la agricultura urbana en Lima. Segundo encuentro Internacional de Agricultura Urbana. Bogotá, abril de 2009. (2009)
10. Navarro, R.: Manual para hacer composta aeróbica. CESTA, Amigos de la Tierra El Salvador. págs. 2–5. (2003)
11. Stentiford E. I.: Composting control: principles and practice. En: de Bertoldi M, Sequi P, Lemmes B, Papi T, editors. *The science of composting. Part 1*. Glasgow: Blackie; p. 56–9. (1996)
12. Solomon S. Organic gardener’s composting: archivo del libro electrónico: [rggcm10.pdf](#) or [rggcm10.htm](#). The PGCC Collection eBook, Fecha de publicación: Agosto de 2003 (2003)

