

Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Assessment of a composting alternative for the treatment of biodegradable organic waste from Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

LAURA CRISTINA LESMES POSADA¹ - MARÍA PAULINA VILLEGAS DE BRIGARD²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Magíster (DEA) en Ciencias y Técnicas del Agua. Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

laura.lesmes@escuelaing.edu.co - maria.villegas@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/01/2019 Aceptado: 08/02/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En el presente artículo se establecen las condiciones óptimas de operación de un proceso de compostaje por medio de una comparación de los resultados obtenidos en una planta piloto. Los análisis se realizaron para dos modelos de mezcla de residuos orgánicos biodegradables provenientes de las actividades de corte de césped, poda de árboles y preparación de alimentos en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Se hicieron ocho montajes para cada uno de los dos modelos, y en ambas mezclas se utilizaron residuos de corte de césped, poda de árboles (hojas verdes, secas y hojarasca, dependiendo de la disponibilidad) y aserrín. En el primero se incluyeron adicionalmente residuos de frutas y verduras (alimentos crudos o sin procesar), mientras que en el segundo se incluyeron residuos de alimentos cocinados.

Al final del proyecto se determinó entre las dos opciones de mezcla la que producía el mejor resultado. El proceso de evaluación consistió en hacer seguimiento a los parámetros de humedad, pH y temperatura durante el proceso, y una verificación final del producto terminado por medio de análisis de caracterización y composición en laboratorio. Finalmente, se realizó la comparación del compost con la norma

NTC 5167, aplicable para productos orgánicos usados como abonos en Colombia.

En conclusión, la mezcla de residuos cocinados, poda de árboles y corte de césped produjo un mejor resultado para el proceso de compostaje, ya que se alcanzaron altas temperaturas, que se mantuvieron por un largo tiempo, y el producto terminado cumplió todos los requerimientos establecidos en la norma NTC 5167.

Palabras claves: compostaje, aprovechamiento de residuos, residuos orgánicos biodegradables.

Abstract

This article establishes the optimum operating conditions of a composting process through a comparison of the results obtained in a pilot plant. The analyses were carried out for two different models of biodegradable organic waste mixture from the activities of grass cutting, tree pruning, and food preparation at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Eight assemblies were made for each of the two models, in both mixtures grass cutting, tree pruning (green leaves, dry and litter depending

on availability), and sawdust were used. In the first, fruit, and vegetable residues (raw or unprocessed foods) were also included, while in the second, cooked food residues were included.

At the end of the project, the one that produced the best result was determined between the two mixing alternatives. The evaluation process consisted in monitoring the parameters of humidity, pH, and temperature during the process, and a final verification of the finished product making a characterization and composition analysis in the laboratory. Finally, the compost was compared with standard NTC 5167 applicable to organic products used as fertilizers in Colombia.

In conclusion, the mixture of cooked residues, tree trimming, and grass cutting produced a better result for the composting process, as they reached high temperatures maintaining them for a long time and the finished product meets all the requirements established in the standard NTC 5167.

Keywords: composting, waste management, biodegradable organic waste.

INTRODUCCIÓN

La situación actual a escala mundial en cuanto a los residuos sólidos biodegradables refleja la necesidad de aprovechar este tipo de residuos. La disposición inadecuada de éstos conduce a una generación excesiva de gases de efecto invernadero y ocupación de espacios que podrían llegar a utilizarse para otros fines. Estos desechos deben manejarse de manera sostenible para evitar el agotamiento de los recursos naturales, minimizar el riesgo para la salud humana, reducir las cargas ambientales y mantener un equilibrio general en el ecosistema (Khalid, Arshad, & Anjum, et al., 2011).

Un buen proceso de compostaje de los residuos sólidos orgánicos biodegradables permite una adecuada recuperación de los suelos, devolviéndoles sus características tanto químicas como biológicas, una reducción en los gases de efecto invernadero, una merma en el área requerida para la disposición, disminución de costos y de uso de abonos químicos o fertilizantes.

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, institución universitaria de educación superior, genera una gran cantidad de residuos de corte de césped y poda de árboles que hasta el momento no se han aprovechado. Genera también, aunque en una proporción muy inferior, residuos de alimentos. El propósito del proyecto fue determinar las mezclas de residuos más adecuadas y los requerimientos específicos para el compostaje a partir de un montaje piloto, al mismo tiempo que buscaba fomentar la implementación y el desarrollo de metodologías para su aprovechamiento.

RESULTADOS

Se implementó el piloto de compostaje en un espacio de 3 x 3 m con cubierta y cerramiento, utilizando canastas plásticas adecuadas como composteras. El piloto, compuesto por zonas de pesaje, mezcla, compostaje y maduración, servirá como espacio de aprendizaje y exploración para futuras investigaciones.

El cerramiento inicial se hizo con polisombra, pero en los primeros montajes se presentaron fuertes olores y moscas debido a una aireación insuficiente. Se decidió cambiar el cerramiento haciéndolo en malla y descartar los resultados anteriores en el análisis (figura 1).



Figura 1. Piloto de compostaje antes y después de adecuaciones del cerramiento.

Las condiciones deseadas para un buen desarrollo del proceso de compostaje, según la bibliografía consultada, se presentan más adelante (tabla 1).

Para la determinación de las mezclas y la operación del piloto se tomaron como condiciones las presentadas posteriormente (tabla 2).

Se establecieron dos modelos de mezcla para los residuos de corte de césped y poda de árboles: uno con residuos de frutas y verduras (alimentos crudos o sin procesar) y otro con residuos de alimentos cocinados. Se analizaron seis montajes para cada mezcla (los dos primeros se descartaron). Así mismo, se muestra el resumen de las proporciones y características obtenidas (tablas 3 y 4).

Para los montajes del modelo de frutas y verduras se obtuvieron relaciones C:N de 23:1 a 35:1, humedades de 54 al 65 % y temperaturas máximas de 45 °C, mientras que para el modelo de residuos de alimentos cocinados se obtuvieron relaciones C:N de 25:1 a 30:1, humedades de 55 a 65 % y temperaturas máximas de

Tabla 1
Condiciones óptimas de operación para el proceso de compostaje, según varias fuentes

Fuente	Condiciones óptimas para el proceso						
	Humedad (%)	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (%)	Relación C/N inicial	Tamaño de partícula	Densidad
Universidad de Cornell	40 - 60	5,5 - 8	>40, 50 en 3 días a 5 días 60 - 70	>10	30:1	Medio	
Acodal	40 - 60 %	5,5 - 8	Fase 1 40 °C Fase 2 60 - 65 °C Fase 3 <40 °C	>10	25 - 30:1	1 - 10 cm	
FAO. Manual del compostaje del agricultor	50 - 60 al inicio 45 - 55 fase 2 y 30 - 40 al final	Fase mesofílica 4 - 4,5- Fase termofílica 7 - 8,5 fase mesofílica 7 y maduración 7	Fase 1 45 °C Fase 2 llega a 60° Fase 3 40 a 45 °C	5 - 15	25 - 35:1 y final de 15:1	10 - 15 cm	150 - 250 kg/ m ³ inicial y 600 - 700 kg/ m ³ final
Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, Bogotá	45 - 60 inicial. Al finalizar 30 - 35 %	5 - 5,5 mesofílica 8 - 9 termofílica 8,5 mesofílica 2 y 7 - 8 maduración	40° fase mesofílica de 40 a 70 en termofílica de 40 a 45 en mesofílica 2 y 18 a 22 en maduración	5 - 15	30:1 (inicial) 10 - 12 (final)	5 - 10 cm	
Composting food wastes, University of Plymouth	45 - 65	5,5 - 8	54 - 60	>10	20:1 - 35:1	2,5 - 5,0 cm	600 kg/m ³
On-Farm Composting, Virginia cooperative extension	50 - 60	6,5 - 8,0	43 - 60	>5	25:1 - 30:1	1/8 a 2 pulgadas	<40 lb/ft ³
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	45 - 75	5,0 - 9			13,9:1 - 19,6:1		
Effects of compositions on food waste composting	55	4,8-9					

Tabla 2
Condiciones ideales para el proceso de compostaje

Condiciones ideales para el proceso		
	Unidades	Valor
Humedad inicial	%	60
pH		6 - 8
Temperatura mínima alcanzada	°C	60
Oxígeno disuelto	%	>10
Relación C:N inicial		30:1
Tamaño de partícula	cm	5 - 10
Densidad final	kg/m ³	600

61 °C. Con respecto a los montajes 1 y 2, fue necesario realizar un volteo debido a una disminución notable de la temperatura, sin que se observara una adecuada descomposición de los residuos de alimentos.

Las mediciones de pH, temperatura y humedad a lo largo del proceso se realizaron en tres puntos de la

canasta: izquierda, centro y derecha. Más adelante se presenta la conducta típica observada para todos los montajes reflejada en el montaje 7, resultando más homogéneo el comportamiento en la mezcla de residuos cocinados que en la de residuos de frutas y verduras (crudos) (figura 2).

Con respecto a la humedad, se puede observar el comportamiento típico para todos los montajes (figura 3). Hay una tendencia a disminuir a lo largo del tiempo, haciéndose más evidente en la mezcla de residuos cocinados.

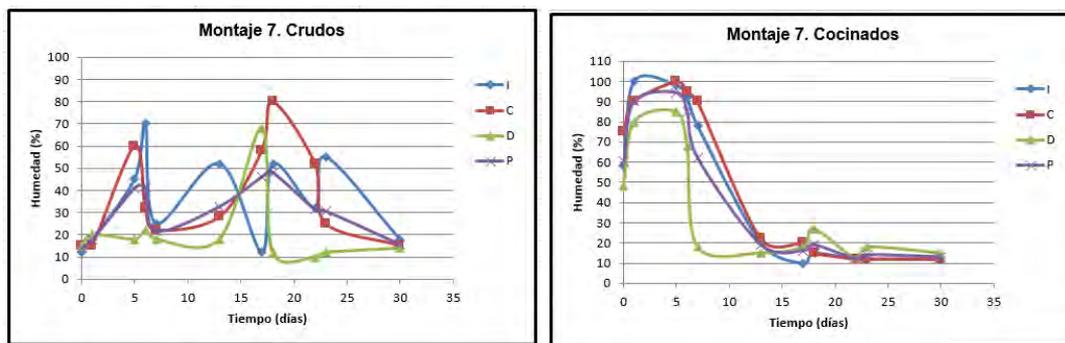
Así mismo, se aprecia el comportamiento del pH, similar en todos los montajes (figura 4). Al inicio del proceso hay una disminución en su valor. Aunque no baja hasta 4,5, como se indica en la bibliografía, se observa que sí disminuye, posiblemente debido a la acumulación de ácidos orgánicos. Al final del proceso se observa una estabilización del pH en 6,9, específicamente para la mezcla de residuos cocinados en todos los montajes.

Tabla 3
Resumen de proporciones y características obtenidas en el modelo de residuos de frutas y verduras

Componente		Montaje residuos de frutas y verduras					
		1	2	3	4	5	6
		12 sep.	10 sep.	12 oct.	18 oct.	24 oct.	3 nov.
Peso (kg)	Corte de césped	1,16	2,50	1,56	1,10	1,86	1,50
	Poda de árboles	-	-	1,98	-	-	2,38
	Hojasca	1,22	1,10	-	0,78	0,74	-
	Residuos de frutas y verduras	4,38	3,76	9,10	7,62	4,12	8,30
	Residuos de alimentos	-	-	-	-	-	-
	Aserrín	-	-	1,50	1,00	1,00	1,00
Parámetro	Carbono (kg)	1,33	1,77	2,52	1,98	1,82	2,46
	Nitrógeno (kg)	0,05	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08
	Relación C/N	28,47	23,21	30,55	34,99	29,89	30,04
	% de humedad	63,84	56,74	65,13	63,45	54,21	63,92
	Temperatura máxima	27	30	39	43	32	45
	Tiempo para alcanzar T máx.	10	1	7	7	1	3

Tabla 4
Resumen de proporciones y características obtenidas en el modelo de residuos de alimentos cocinados

Componente		Montaje de residuos de frutas y verduras					
		1	2	3	4	5	6
		12 sep.	10 sep.	12 oct.	18 oct.	24 oct.	3 nov.
Peso (kg)	Corte de césped	1,7	3,1	2,7	0,7	2,2	1,6
	Poda de árboles	-	-	1,8	-	-	1,8
	Hojasca	2,7	1,6	-	0,9	0,8	-
	Residuos de frutas y verduras	-	-	-	-	-	-
	Residuos de alimentos	13,9	13,9	16,1	9,0	7,9	17,5
	Aserrín	2,1	1,5	3,0	1,5	1,8	3,0
Parámetro	Carbono (kg)	3,3	2,8	3,6	1,8	2,1	3,4
	Nitrógeno (kg)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Relación C/N	29,76	25,26	25,18	30,09	28,98	22,72
	% de humedad	62,40	54,77	64,02	64,12	61,54	65,27
	Temperatura máxima	50	50	61	53	48	59
	Tiempo para alcanzar T máx.	6	6	7	4	5	3



I: Izquierda, C: Centro, D: Derecha y P: promedio.

Figura 2. Variación de la humedad en el área para el montaje 7.

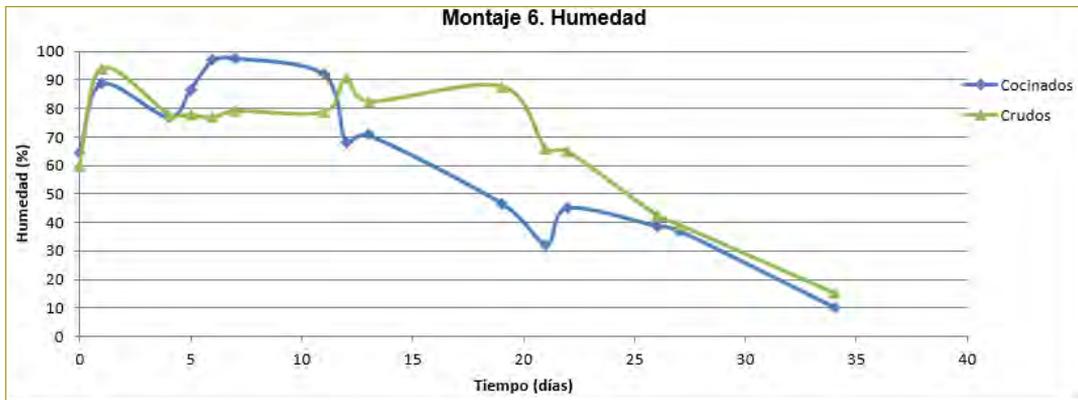


Figura 3. Variación de la humedad a lo largo del tiempo para el montaje 6.

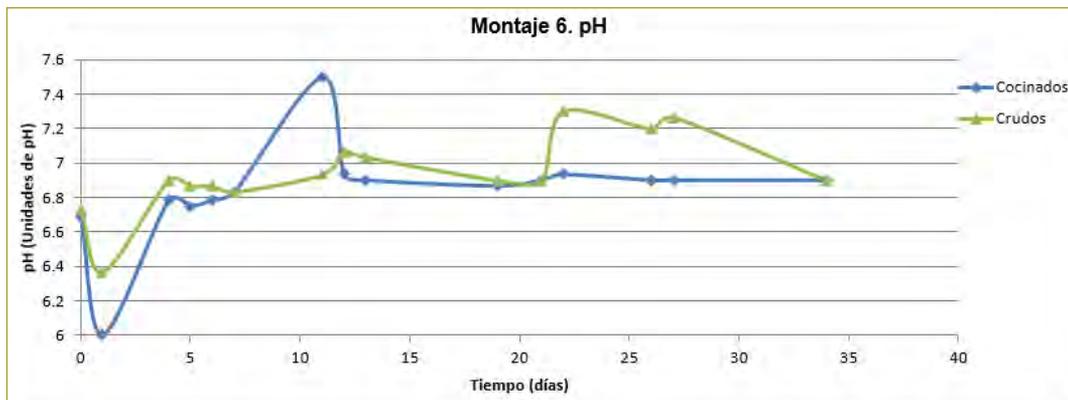


Figura 4. Variación del pH a lo largo del tiempo para el montaje 6.

Con respecto a la temperatura (figura 5), en la mezcla de residuos cocinados se observa el comportamiento típico de la curva de temperatura de un proceso de compostaje, en el que primero existe un aumento de temperatura hasta llegar a un valor máximo y después

disminuye, hasta finalmente llegar a una estabilización a temperatura ambiente. En general, las temperaturas alcanzadas son mayores en el módulo de residuos de alimentos cocinados.

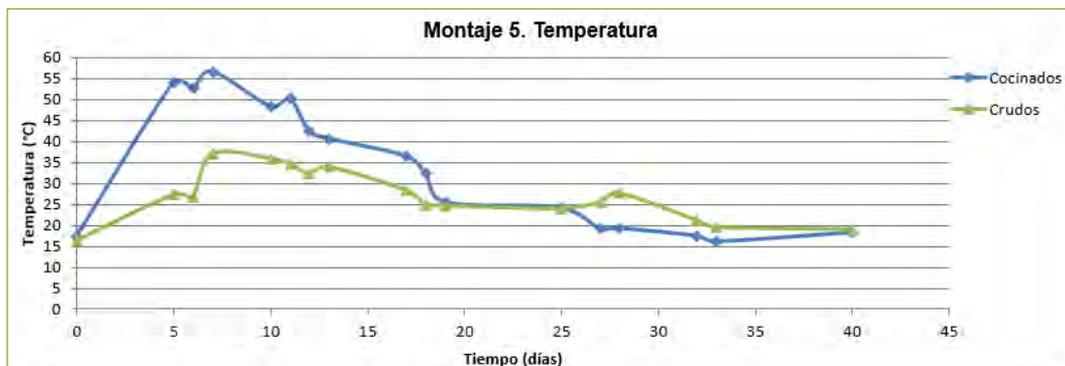


Figura 5. Variación de la temperatura a lo largo del tiempo para el montaje 5.

El producto obtenido con las dos mezclas ensayadas tuvo el aspecto, color y olor característicos del compost (figura 6). Se tomaron cuatro muestras, dos de cada módulo, y se enviaron al laboratorio para determinar sus características y compararlas con la norma NTC 5167, aplicable para productos orgánicos usados como abonos en Colombia. En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos (tabla 5).

Como se observa en la tabla de resultados, las muestras del módulo de residuos de alimentos cocinados cumplieron con todos los parámetros físicos y químicos establecidos. Las muestras del módulo de residuos de alimentos de frutas y verduras no cumplieron con los



Figura 6. Aspecto final del compost obtenido. Izq.: residuos crudos. Der.: residuos cocinados.

Tabla 5
Caracterización y composición del producto final para ambos modelos

Parámetros	Unidades	Muestra				NTC 5167
		Cocinados		Crudos		
		1	2	3	4	
Humedad	%	23,8	28,7	65,7	67,5	Máx. 35 %
Cenizas	%	7,87	8,98	3,59	4,77	Máx. 60 %
Pérdidas por volatilización	%	68,3	62,3	30,7	27,7	
Carbono orgánico oxidable total	%	28,4	27,7	13,4	11,4	Mín. 15 %
pH (pasta de saturación)	Unidades pH	6,25	6,25	8,67	8,3	Entre 4 y 9
Densidad (base seca 20 °C)	g/cm ³	0,31	0,33	0,29	0,33	Máx. 0,6 g/cm ³
Conductividad eléctrica	dS/cm	12,2	5,49	6,04	12,1	
Retención de humedad	%	250	239	128	112	Mín. 100 %
Cap. intercambio catiónico	(me/100 g)	60,1	52,1	26,9	25,9	Mín. 30 meq/100 g
C/N		21	20	30	28	Caracterizar
N total (NOrg)	%	1,35	1,36	0,45	0,41	Declarar si es > 1 %
Nitrógeno orgánico (NOrg)	%	1,35	1,36	0,45	0,41	Declarar si es > 1 %
Fósforo total (P ₂ O ₅)	%	0,98	0,62	0,17	0,15	Declarar si es > 1 %
Potasio total (K ₂ O)	%	1,04	0,95	0,81	0,81	Declarar si es > 1 %
Calcio total (CaO)	%	0,47	0,52	0,53	0,36	
Magnesio total (MgO)	%	0,17	0,16	0,09	0,09	
Azufre total (S - SO ₄)	%	0,13	0,15	0,06	0,05	
Hierro total	%	0,06	0,13	0,03	0,05	
Manganeso total	mg/kg	51,7	61,6	34,8	34,5	
Cobre total	mg/kg	5,32	7,11	4,73	4,58	
Zinc total	mg/kg	29,2	33,2	14,8	14,6	
Boro total	mg/kg	13,3	12,5	7,17	6,53	
Sodio total	%	0,59	0,61	0,04	0,02	
Sílice total SiO ₂ (extraído con HF)	%	1,9	3,23	0,95	1,07	
Residuo insoluble en ácido	%	1,08	2	0,32	1,25	
		Cumple		No cumple		

parámetros de humedad, carbono orgánico oxidable total y capacidad de intercambio catiónico.

CONCLUSIONES

La Escuela Colombiana de Ingeniería genera anualmente, en promedio, 326 toneladas de residuos de corte de césped y poda de árboles y 32 toneladas de residuos de alimentos provenientes de los establecimientos de comida, lo cual corresponde a una relación de 10 a 1. Es importante darle un tratamiento adecuado a esta gran cantidad de residuos de jardín; sin embargo, teniendo en cuenta su bajo contenido de carbono, baja humedad y lenta degradación, es necesario hacer mezclas con otro tipo de residuos. En este estudio, la mezcla empleada para obtener un producto adecuado tiene una mayor cantidad de alimentos que de césped y hojas, por lo que se debe evaluar la posibilidad de usar otros agentes que contribuyan a un buen desarrollo del proceso.

Se comprobó que para un adecuado funcionamiento de un proceso de compostaje se debe mantener la humedad en un rango de 40 - 60 %, su relación C:N inicial debe estar entre 25:1 y 30:1, el tamaño de partícula debe ser pequeño (5 - 10 cm) y el uso de un agente de carga puede ser necesario para lograr los valores de humedad, relación C:N y porosidad adecuada para un buen desarrollo del proceso.

Una suficiente aireación es indispensable para el adecuado funcionamiento del proceso, ya que con esto se previenen problemas como zonas de anaerobiosis, producción de olores y llegada de animales como roedores o moscas.

Con respecto al producto final, ambos modelos degradaron completamente los residuos de alimentos, frutas y verduras hasta obtener el aspecto y el olor terroso característicos del compost, pero los residuos de hojas y corte de césped requieren un mayor tiempo de proceso; por lo tanto, es necesario realizar un tamizado para separar este tipo de residuo y volver a mezclarlo con material nuevo para seguir con su proceso.

La mezcla de residuos cocinados, poda de árboles, corte de césped y aserrín produjo un mejor resultado para el proceso de compostaje. Se alcanzaron altas temperaturas, que se mantuvieron por un largo tiempo, y adicionalmente el producto terminado cumple todos los requerimientos físicos y químicos establecidos en la norma NTC 5167 para abonos orgánicos.

El porcentaje en peso de mezcla de residuos de corte de césped, poda de árboles y hojarasca debe estar entre el 13 y el 24 %, los residuos de alimentos cocinados entre un 62 y 74 % y el de aserrín entre 7 y 15 %, para obtener un producto adecuado, tomando en cuenta que se debe mantener la humedad cercana al 60 %, relación C:N inicial alrededor de 30:1, oxígeno disuelto mayor que el 10 % y tamaño de partícula de 5 a 10 cm, aproximadamente.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar realizando investigaciones para lograr una buena mezcla que produzca un mejor compost final, aprovechando los residuos sólidos orgánicos biodegradables producidos en el campus de la Escuela, considerando que la mayor cantidad corresponde a corte de césped y poda de árboles.

Así mismo, se aconseja continuar investigando en el campo del compostaje para aprovechar los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería, explorando nuevas posibilidades como las siguientes:

- Aplicación de melaza o inoculación de microorganismos.
- Análisis del proceso con énfasis en la microbiología.
- Nuevas mezclas para mejorar la degradación de pasto.
- Agentes de carga distintos del aserrín, como vasos de cartón.
- Compostaje de vasos, platos y cubiertos desechables que se encuentran en el mercado y se ofrecen como biodegradables.

REFERENCIAS

- Acodal. Sepúlveda, L., & Alvarado, J. (2013). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el valle de Aburrá* (1.a ed.). Medellín: Acodal, seccional Noroccidente.
- Chang, J. I., & Hsu, T.-E. (2008). Effects of compositions on food waste composting. *Bioresource Technology*, 99(17), pp. 8068–8074.
- Cornell Waste Management Institute (1995). *The compost process. Municipal Yard Waste Composting Operator's Fact Sheet*. Recuperado de <http://cwmi.css.cornell.edu/composting.htm> el 12 de agosto de 2017.
- Khalid, A., Arshad, M., & Anjum et al. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8), 1737–1744.

Kumar, M., Ou, Y-L. y L., & Lin, J-G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*, 30(4), pp. 602–609.

Lesmes, L. (2019, enero). Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (tesis de maestría). Maestría en Ingeniería Civil. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

NTC 5167. *Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo* (2004). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Colombia.

Román, P., Martínez, M.M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf> el 13 de abril de 2017.

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (2014). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de métodos de compostaje y lombricultura. Recuperado de http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf el 15 de abril de 2018.

University of Plymouth (2005). Composting food wastes 1. Scientific aspects. Recuperado de <http://www.research.plymouth.ac.uk/pass/Research/Scientific%20aspects%20of%20food%20waste%20composting.pdf> el 10 de octubre de 2018.

Virginia Polytechnic Institute and State University (2009). On - Farm Composting. A guide to Principles, Planning & Operations. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237698064_ON_FARM_COMPOSTING_A_GUIDE_TO_PRINCIPLES_PLANNING_AND_OPERATIONS el 15 de agosto de 2017.