
DINÁMICA EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST CON ADICIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN UN BIORREACTOR

Girier Aranguren Silva
Investigador SENNOVA

Julio César Hinojosa Bejarano
Semillero de investigación Sembrando Futuro
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Regional Vichada
Correspondencia autores: gasilva7380@gmail.com

Resumen: El presente estudio ha evaluado la influencia y el efecto de los microorganismos benéficos sobre el tiempo de producción en el proceso de elaboración de compost a partir de residuos orgánicos en biorreactor, así como su calidad a partir de los parámetros establecidos por la Norma Técnica Colombiana 5167 para uso como biofertilizante. La metodología utilizada comprende un proceso aeróbico de mezclas orgánicas dispuestas dentro de compartimientos de un biorreactor ubicado en las instalaciones de la planta de aprovechamiento de residuos sólidos del municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia, tomando lecturas de las variables de temperatura y pH con una frecuencia de tres veces por semana. A su vez, se ha aplicado el tipo de investigación con ámbito experimental, con enfoque cuantitativo, de diseño experimental completamente aleatorio, con un control, dos tratamientos y tres repeticiones para cada uno. Los tratamientos fueron: microorganismos de origen comercial (T1) y microorganismos de origen casero (T2), ambos adicionados con residuos orgánicos, aserrín y estiércol de caballo. Las variables de respuesta son: temperatura, pH, contenido de humedad, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N, densidad y bacterias patógenas. Los resultados indican que el tiempo promedio para la obtención de compost es de 44 días; entre tanto, existen diferencias significativas entre los grupos de datos provocadas por los estímulos aplicados, siendo aquel que contiene microorganismos benéficos caseros el que menor tiempo duró, requiriendo 40,7 días para la producción de compost. En relación con la calidad, el T2 fue el que presentó mejores resultados.

Palabras clave: Compost, microorganismos benéficos, pH, temperatura.

DYNAMICS IN THE PRODUCTION OF COMPOST WITH ADDITION OF BENEFICIAL MICROORGANISMS IN A BIOREACTOR

Abstract: The present study has evaluated the influence and effect of beneficial microorganisms in the production time in the process of preparing compost from organic waste in a bioreactor, as well as its quality from the parameters established by Colombian Technical Standard 5167 for use as biofertilizer. The methodology used includes an aerobic process of organics mixing arranged within compartments of a bioreactor located in the facilities of the solid waste management plant of the municipality of Puerto Carreño, Vichada, Colombia, taking readings of temperature variables and pH with a frequency of three times per week. Besides, there has being a type of research with experimental scope, with a quantitative approach, experimental design completely randomized, with one control, two treatments and three repetitions for each one. The treatments were: microorganisms of commercial origin (T1) and microorganisms of home origin (T2), both added to organic waste, sawdust and horse manure. The response variables are: temperature, pH, content of moisture, organic matter, organic carbon, total nitrogen, C / N ratio, density and pathogenic bacteria. The results indicate that the average time for obtaining compost is 44 days; meanwhile, there are significant differences between the data groups caused by the stimuli applied, being the one that contains homemade beneficial microorganisms that took less time, requiring 40.7 days for the production of compost. In relation to quality, T2 was the one that presented better results.

Keywords: Compost, temperature, pH, beneficial microorganisms.

Introducción

La gestión en el manejo y aprovechamiento de los residuos requiere cada vez más atención por la manera como su disposición final está afectando los recursos naturales y las comunidades que lo generan. Según Rondón *et al.* (2016) en América Latina y el Caribe el 80% de la población vive en áreas urbanas, y la tendencia es a seguir creciendo, lo cual implica la demanda de mayor capacidad institucional y económica para la atención de la gestión y manejo de los residuos sólidos; particularmente, en Colombia la generación per cápita de residuos urbanos es de 0,62 kg/hab/día. En Puerto Carreño, los residuos orgánicos representan en promedio un 33,3% del total de los residuos generados en el municipio (Alcaldía Municipal de Puerto Carreño, 2016).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la falta de implementación del sistema de aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos domésticos y el desconocimiento local en la elaboración del compost y los beneficios como biofertilizante.

La investigación de esta problemática social, institucional y ambiental se realizó por el interés de plantear una alternativa para la solución al manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos, como un componente aprovechable para la producción de abono orgánico cuyo destino final puede ser el fortalecimiento de la agricultura urbana como una herramienta para mejorar la seguridad alimentaria en aquellas familias vulnerables de las zonas periurbanas de la ciudad.

La metodología utilizada son tres unidades experimentales, en las cuales se dispuso la mezcla homogénea de residuos orgánicos, tomando lectura de las variables de temperatura y pH con una frecuencia de tres veces por semana. Luego, en laboratorio se determinan las características físicas, químicas y microbiológicas, para hacer los respectivos análisis y discusiones.

Los objetivos de este trabajo de investigación son:

- Determinar el tiempo en la producción de compost en biorreactor para tres unidades experimentales: un control y dos tratamientos.
- Analizar la relación de las variables de temperatura y pH asociadas a la dinámica de transformación de residuos orgánicos en compost.
- Identificar indicadores físicos (MO y densidad real), químicos (relación C/N, N, C, y pH) y microbiológicos (poblaciones de hongos y bacterias) del compost obtenido.

Materiales y métodos

El lugar donde se ha realizado la investigación es el hangar de la planta de tratamiento de residuos sólidos, ubicado en las coordenadas geográficas N 6° 13'20,5" W 67° 32'25,9" en la vereda El Meroy del municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. La fecha de la producción del compost es el período comprendido entre mediados del mes de marzo y mediados del mes de mayo de 2018.

Para cumplir los objetivos de este proyecto, se ha aplicado el tipo de investigación con ámbito experimental y con finalidad confirmatoria, a partir de resultados y observaciones obtenidos durante el seguimiento en campo y con los reportes de laboratorio (Münch y Ángeles, 2009). En tal sentido, corresponde a un experimento con enfoque cuantitativo, de diseño experimental com-

pletamente aleatorio, con un control, dos tratamientos y tres repeticiones, consistente en una mezcla homogénea de residuos orgánicos provenientes de frutas y verduras, con un peso de 330 kg distribuidos en tres unidades experimentales (compartimientos de un biorreactor) así:

Control: Mezcla homogénea de 75 kg de residuos orgánicos semi deshidratados a temperatura ambiente, con adición de 10 kg de aserrín para control de humedad, más 25 kg de estiércol de caballo; dispuesta en un compartimiento cuyo volumen es de 0,4 m³, el cual hace parte de un biorreactor plástico.

Tratamiento 1: Mezcla homogénea de 75 kg de residuos orgánicos semi deshidratados a temperatura ambiente, con adición de 10 kg de aserrín para control de humedad, más 25 kg de estiércol de caballo, y adición de una solución de 500 ml de microorganismos benéficos (*Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris*) de origen comercial disueltos en 4,5 litros de agua. La mezcla se deposita en un compartimiento cuyo volumen es de 0,4 m³ que hace parte de un biorreactor plástico.

Tratamiento 2: Mezcla homogénea de 75 kg de residuos orgánicos semi deshidratados a temperatura ambiente, con adición de 10 kg de aserrín para control de humedad, más 25 kg de estiércol de caballo, y adición de una solución de 500 ml de microorganismos benéficos (*Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas* sp) de origen casero disueltos en 4,5 litros de agua. La mezcla se deposita en un compartimiento cuyo volumen es de 0,4 m³ que hace parte de un biorreactor plástico.

Durante la mitad del presente ejercicio de investigación, fue necesario aplicar agua a las unidades experimentales debido a la deshidratación presentada en los residuos, lo cual incidió en el aumento de la temperatura.

Tabla 1. Tratamientos utilizados

No.	Símbolo	Tratamiento	Dosis
1	T1	Microorganismos benéficos de origen comercial (<i>Lactobacillus</i> , <i>saccharomyces cerevisiae</i> - levadura, y <i>Rhodopseudomona palustris</i> - bacterias fotosintéticas)	500 ml / 4,5 l de agua
2	T2	Microorganismos benéficos de origen casero (<i>Lactobacillus</i> , <i>saccharomyces cerevisiae</i> - levadura, y <i>Rhodopseudomona</i> sp - bacterias fotosintéticas), más estiércol de ganado vacuno	500 ml / 4,5 l de agua
3	C	Sin aplicación - control	

Fuente: Elaboración propia.

Los residuos orgánicos corresponden a frutas y verduras recolectados en los mercados del centro de la ciudad. Fueron excluidos mediante clasificación o descontaminación aquellos inorgánicos o restos de madera y plásticos que tomen tiempo suficiente para su descomposición, actividad que fue realizada en el hangar de reciclaje.

Posteriormente, se efectúa el análisis de varianza (ANAVA) para hacer comparaciones entre la información obtenida durante el seguimiento a los tratamientos con ajuste al diseño experimental planteado, verificando si hay diferencia significativa entre las medias muestrales que se desean comparar, determinando la distancia de la media en un nivel de confianza dado (Zavala, 2013). También se comprueba si las medias de las muestras guardan relación entre sí mediante la Diferencia Honesta Significativa (DHS) de Tukey, la cual conduce a determinar si la diferencia de las medias de las muestras es estadísticamente significativa, que en términos estadísticos equivale a determinar el grado de asociación entre dos variables.

Para caracterizar los indicadores físicos, químicos y microbiológicos es necesaria la fase de laboratorio

a donde llegan las muestras para su posterior lectura sobre tales indicadores, las cuales se toman de manera aleatoria con un peso de 0,5 kg/tratamiento cuando el compost esté en su fase final de maduración, tomando partes tanto internas como externas, usando guantes para no contaminar el material.

Resultados y discusión

Este capítulo se divide en a) Análisis de Varianza para los días transcurridos hasta la obtención de compost; b) Análisis de temperatura para datos crudos; c) Análisis de pH para datos crudos; y d) Análisis de los indicadores químicos (relación C/N, materia orgánica, carbono orgánico, y nitrógeno total), físicos (densidad real y humedad), y microbiológicos (*Salmonella* sp, enterobacterias, y mesófilos aerobios) del compost obtenido.

Análisis de varianza para los días transcurridos hasta la obtención de compost

Los valores correspondientes a los días transcurridos hasta la obtención del producto se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempo de obtención del compost para los tratamientos

Tratamientos		Repeticiones			Σ	Promedio (Días)
No.	SIMBOLO	I	II	III		
1	T1	42	42	45	129	43,0
2	T2	38	42	42	122	40,7
3	C	45	50	50	145	48,3
						44,0

Fuente: Tomado de las lecturas en campo (2018).

El tiempo promedio transcurrido hasta la obtención del compost es de 44 días. Aplicando el análisis de varianza, se establecen diferencias significativas entre las medias de los grupos de datos. El coeficiente de variación es de 5,23%, lo que les da alta confiabilidad a los

resultados obtenidos e indica que los datos varían poco respecto de la media aritmética dentro de los grupos de datos, es decir que los conjuntos de datos son homogéneos o no están dispersos (ver tabla 3).

Tabla 3. Análisis de Varianza y Coeficiente de Variación

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Coef. de variación
Entre grupos	92,67	2,00	46,33	8,34	0,02	5,14	
Dentro de los grupos	33,33	6,00	5,56				5,23
Total	126	8					

Fuente: Procesado por los autores en Microsoft Excel.

Por su parte, la prueba Tukey al 5% de significancia para los tratamientos durante la obtención del compost establece que hay diferencias significativas entre el control y los tratamientos, lo cual sugiere que los estímulos aplicados con microorganismos benéficos producen diferencias con incidencia específica para cada tratamiento (ver tabla 4).

Tabla 4. Prueba Tukey

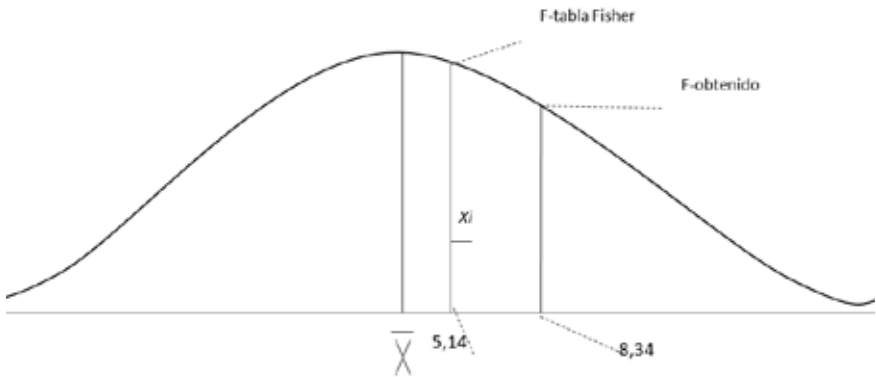
Test: Turkey Alfa=0,05 DMS=5,90490				
Error: 5,5556 gl: 6				
Tratam.	Medidas	n	E.E.	
Trat. 2	40,67	3	1,36	A
Trat. 1	43,00	3	1,36	A B
Control	46,67	3	1,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05). Fuente: Procesado por los autores en Infostat.

Al comparar la razón F obtenida con la razón F de la tabla de valores de Fischer, se observa que la primera es mayor con respecto a la segunda, con un nivel de confianza de 0,02, evidenciándose un distanciamiento χ^2 , representando significancia entre tratamientos y control (ver figura 1).

De otra parte, durante la etapa de obtención del compost en sus diferentes fases, como mesófila, termófila, enfriamiento y maduración, el indicador de temperatura tuvo un comportamiento simétrico a una curva de distribución normal, con una ligera fluctuación intermedia debido al descenso atribuible a la pérdida acelerada de humedad por la temporada de verano, reportando similitud a lo indicado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (2013), para un proceso de com-

Figura 1. Comparación entre grupos de la razón obtenida vs la razón de la tabla de Fischer



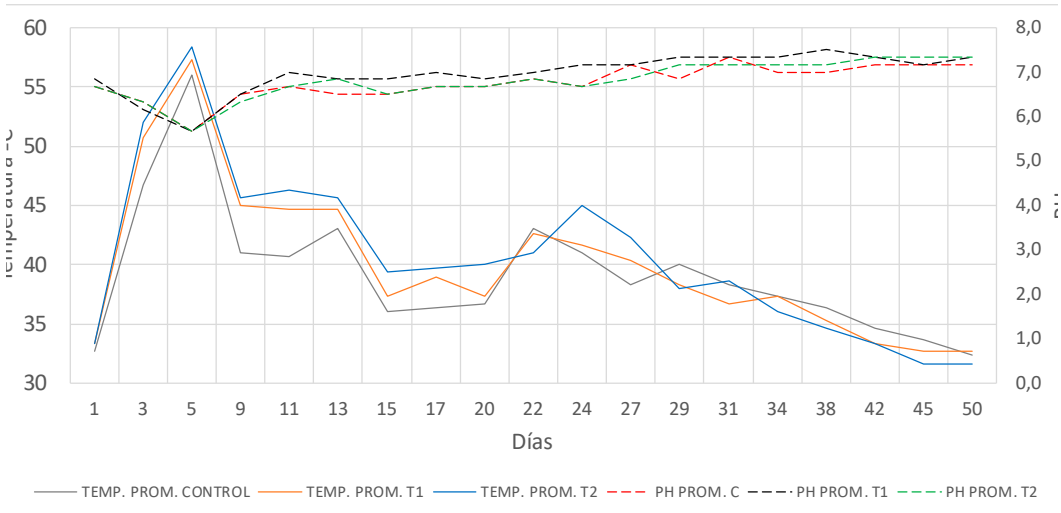
postaje en condiciones óptimas. El tiempo promedio de producción del compost fue de 44 días, guardando correlación con Bazán *et al.* (2018), al lograr un compost final y estable en un tiempo promedio de 56 días, a través de compostaje elaborado a partir de residuos de nopal (cactus) y estiércol de ganado. Estos tiempos son menores para la producción del producto mediante sistema abierto o pila natural, que toma en promedio seis meses de acuerdo a lo reportado por Sánchez de Pinto *et al.* (2013). Este resultado sugiere que el biorreactor mantiene la temperatura de manera homogénea en toda la mezcla, con la aireación adecuada requerida

en los procesos aeróbicos, propiciando que la actividad microbiana se multiplique rápidamente en la fase mesófila, incrementándose la temperatura en pocos días, generando ácidos orgánicos y causando la disminución del pH durante la fase mesófila.

Temperatura

La lectura de esta variable fue tomada desde el día 1 hasta el día 50 para cada uno de los tratamientos y el control, así como en las tres repeticiones. La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura durante el proceso de compostaje.

Figura 2. Evolución de las variables de Temperatura y pH



La curva del ejercicio presenta un comportamiento similar con respecto a la curva presentada durante un proceso de compostaje en condiciones controladas como lo mencionan Moreno y Mormeneo (2008), en el cual se cumplen las etapas mesotérmica 1, termogénica y mesotérmica 2. La dinámica asociada al aumento de temperatura es la presencia de compuestos solubles como azúcares y almidones, los cuales son digeribles fácilmente por los microorganismos presentes en residuos biodegradables provenientes de residuos verdes; también son digeribles fuentes complejas como la lignina y la celulosa, las cuales son consumidas en la fase termófila que también hace parte de los residuos de papel despigmentado; la temperatura se mantiene hasta que se agota dicha disponibilidad (Zhang y Sun, 2018). La figura 2 indica que la fuente de alimento digerible se agota en gran medida sobre el día 25, cuando la temperatura presenta un inicio de descenso uniforme; esta caída de calor también es atribuible a la deshidratación de los residuos, debido a la falta de riego inicial durante la temporada de verano. El comportamiento irregular de la temperatura permite inferir que, de acuerdo a la evolución de la misma, ha de calificarse cierta ineficiencia durante el ejercicio, pues no hay una relación directa entre los cambios de temperatura y la disponibilidad de alimento. Es importante resaltar que la mezcla utilizada en esta investigación está compuesta en su mayoría por restos de frutas y verduras, es decir, tiene un alto contenido de fuentes sencillas de N de fácil digestión (Soliva *et al.*, 2008), lo que permite realizar el proceso de forma más expedita por parte de los microorganismos.

El tratamiento 2 ha presentado lecturas con máximas inflexiones, alcanzando temperaturas de 58 °C y un descenso más rápido que las otras mezclas, situación que puede atribuirse al estímulo con microorganismos como *Lactobacillus*, levaduras y bacterias fotosintéticas, los cuales ayudan a otros microorganismos, como *Pseudomonaceae*, *Erythrobacteraceae*, y *Streptomyetaceae*,

desarrollados en la fase mesófila, y las actinobacterias, como *Thermoactinomyetaceae* y *Thermomonosporaceae*, propagadas en la fase termófila, a la digestión del material orgánico con moléculas complejas como celulosa, lignina, hemicelulosa y proteínas (Sánchez *et al.*, 2017). Los microorganismos adicionados como estímulos, también denominados microorganismos benéficos por tener bacterias y hongos de origen natural, actúan como aceleradores en la transformación de la materia orgánica, generándose competencia con otros microorganismos por la disponibilidad de alimento agotándose en menor tiempo, y obteniéndose como producto final el compost. En ese sentido, el Banco Interamericano de Desarrollo (2013) menciona que los microorganismos eficientes (EM) ocupan un lugar relevante dentro del proceso, además de evitar y neutralizar malos olores al transformar las sustancias que producen metano, ácido sulfhídrico y amoníaco en ácidos orgánicos y sin olores desagradables; de igual forma, inducen la descomposición mediante la fermentación sin llegar a la putrefacción.

Por su parte, el control ha presentado lecturas que alcanzan temperaturas máximas de 56 °C al quinto día, consiguiendo, también, la etapa termófila necesaria para digerir sustancias de mayor complejidad, eliminar bacterias patógenas, evitar la aparición de vectores y olores desagradables, y la inactivación de semillas de vegetales consideradas como maleza (Arrigoni *et al.*, 2018). Luego descende con trayectoria similar al resto de mezclas, indicando la disminución del sustrato alimenticio. Entre los días 9 y 22 se presentan fluctuaciones irregulares al estabilizarse, descender y ascender la temperatura, situación ocurrida en todas las mezclas o unidades experimentales, lo cual probablemente es producto de la deshidratación de los residuos y el bajo contenido de residuos ricos en carbono, como aquellos con contenidos de lignina o en estado seco. Para recuperar la temperatura fue necesario adicionar agua, aumentando

nuevamente el indicador. Por tanto, puede considerarse a la temperatura como el indicador más representativo del compostaje pues, según Bueno *et al.* (2008), se “ha comprobado que pequeñas variaciones tienen mayor incidencia en la actividad microbiana que pequeños cambios de humedad, pH, o C/N”.

pH

El comportamiento de esta variable durante el proceso de compostaje se muestra en la figura 2, en donde se observa en todas las mezclas una disminución hasta llegar a los 5,7 puntos durante los primeros 5 días, producto de los ácidos orgánicos que se producen por la digestión de microorganismos sobre azúcares (Román *et al.*, 2013); luego se presenta un ascenso pronunciado hasta el día 11, como consecuencia de la “liberación de amoníaco producto de la descomposición de las proteínas y la eliminación de ácidos orgánicos” (Campitelli *et al.*, 2014), con un ascenso muy leve hasta el final del proceso, estabilizándose ligeramente por encima del pH neutro, causa asociada, según Bueno *et al.* (2008), a la formación de compuestos húmicos.

Por su parte el pH del compost al final de la fase de maduración, obtenido en laboratorio, es el expresado en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados pH en laboratorio

Variable	Control	Trat.1	Trat.2
pH	9,25	8,67	9,07

Fuente: SENA Tecnoparque Medellín, 2018.

Como la composición inicial de los residuos orgánicos a compostar en su mayoría son restos de frutas y verduras frescos y estiércol de caballo, el contenido de nitrógeno es alto, situación que, de acuerdo con Sánchez *et al.* (2017), favorece la volatilización del nitrógeno mediante el amoníaco y el aumento de temperatura. Cuando hay una relación C/N baja, los microorganismos transforman el nitrógeno en mayor grado, favoreciendo su evaporación y aumentando el pH a niveles alcalinos. De esta manera, y en presencia de altos contenidos de nitrógeno, los resultados del pH para los tratamientos cumplen con los parámetros requeridos para un compostaje óptimo (4-9), según lo establecido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (2004). Este resultado tiene similitud con lo reportado por Millán *et al.* (2017) para muestras de compost sometidas a determinación de pH en solución de agua estéril.

El pH alcalino del compost reportado durante el ejercicio de investigación tiene efectos benéficos sobre los suelos cercanos a la cabecera municipal de Puerto Carreño, debido a que estos, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014), son suelos “profundos y moderadamente profundos, texturas moderadamente gruesas, drenaje bueno y moderadamente excesivo, saturación de aluminio alta y muy alta, reacción moderada, fuerte y muy fuertemente ácida, y fertilidad natural muy baja”. De esta manera, se neutraliza en parte la acidez de los suelos, además del aporte en materia orgánica que permite mejorar la actividad microbiana.

Otros parámetros físicos, químicos y microbiológicos

En la tabla 6 se relacionan algunos de los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio del Tecnoparque Nodo Medellín del SENA Regional Antioquia:

Tabla 6. Resultados de laboratorio

Parámetros	Control	Trat.1	Trat.2	Norma	
				NTC 5167	FAO
Contenido de humedad (%)	4,36	3,85	5,68	< 35	
Materia orgánica (%)	12,67	15,6	16,7		> 20
Carbono orgánico (%)	7,35	9,05	9,69	> 15	
Nitrógeno total (%)	0,49	0,57	0,6	< 1	
Relación C/N	15	15,88	16,15		10 – 15
Densidad real (gr/cm³)	0,71	0,78	0,81		0,7 gr/cm³
<i>Salmonella</i> sp (UFC)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
Enterobacterias totales UFC	3,0x10 ⁴	1,1x10 ⁵	3,4x10 ⁴	<1000 UFC/gr	
Mesófilos aerobios UFC	1,7x10 ⁴	2,6x10 ⁴	2,8x10 ⁴	NA	NA

Fuente: SENA Tecnoparque Medellín, 2018.

El contenido de humedad, además de cumplir con el requerimiento de la NTC 5167, tiene semejanza con los datos reportados por Pérez *et al.* (2011) para el compost producido con cachaza de caña de azúcar. No obstante, para el presente trabajo el contenido de humedad presenta un porcentaje bajo, lo cual se explica, probablemente, por la frecuente exposición solar durante la fase de maduración para muestras de dos (02) kg cada una, y un tamaño de partícula inferior a dos (02) mm. Este contenido de humedad facilita el transporte y el almacenamiento del material. El contenido de humedad en el compost superior al 45% produce un desplazamiento de los poros dentro de la materia orgánica, convirtiendo la mezcla en un medio anaeróbico y creando condiciones propicias para un metabolismo fermentativo (Sztern y Pravia, 2008). Por tanto, un medio anaeróbico para el compostaje en biorreactor propicia la aparición de un medio putrescible con olores desagradables.

El contenido de materia orgánica (MO) coincide con la mezcla 1 reportada por Acosta y Peralta (2015), la cual es muy similar a las mezclas de residuos del presente trabajo; los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos 2 y 1, respectivamente, lo cual está asociado a la presencia de los microorganismos benéficos que sirven como estímulos para acelerar el proceso. La MO es el resultado de la mineralización de los residuos orgánicos en donde, según Sztern y Pravia (2008), aproximadamente el 75% de estos son mineralizados por completo, y el resto (25%) se transforma en humus, lo cual sugiere que la MO disminuye en la medida en que avanza el proceso de compostaje. Los valores finales de MO de los tratamientos estuvieron a escasos 3,3 y 4,4 puntos de alcanzar el requerimiento establecido para este indicador, situación atribuida posiblemente a la presencia de minerales como arena y limos adheridos a los restos de frutas y verduras, tanto en el lugar de expendio

como en el sitio de trituración, actividad realizada en el suelo natural con herramienta manual. Este compost es útil para el mejoramiento de suelos de Puerto Carreño; según los resultados de análisis químicos para muestras edafológicas en cercanías de la capital del Vichada, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014) indica que el porcentaje de MO en la parte superficial del suelo es del 1,3%, notándose la necesidad de aportar este material para el mejoramiento.

La relación C/N muestra valores similares a los obtenidos por Muñoz *et al.* (2015) y Rodríguez *et al.* (2010), y se encuentra en el rango sugerido por Batalla y Merino (2015). Este parámetro es un criterio utilizado tradicionalmente para determinar la madurez del compost; sin embargo, Iglesias *et al.* (2008) indican que esta relación depende en gran medida de la clase de contenido inicial de los residuos. Contenidos de C orgánico pueden estar en forma de compuestos resistentes a la biodegradación, como la lignina, o contenidos ricos en N por abundancia de residuos verdes. Por su parte, Soliva y López (2010) mencionan que en ocasiones se considera equivocadamente un compost maduro cuando la relación C/N es cercana a 10, valor correspondiente a la materia orgánica estabilizada de un suelo, la cual no corresponde a la contenida en un proceso de compostaje; por tanto, es necesario conocer los valores iniciales de C/N para analizar su celeridad del proceso y las disminuciones tanto de nitrógeno como de carbono. La relación C/N para este ejercicio de investigación indica que la utilización del biorreactor tiene incidencia directa en la aceleración del proceso de compostaje, toda vez que distribuye uniformemente la temperatura en toda la mezcla de residuos orgánicos.

Por su parte, el contenido de nitrógeno (N) total de las muestras cumple con el requerimiento de la NTC 5167 y, además, tiene similitud con datos reportados por Bohórquez *et al.* (2014) para compostaje a partir de subproductos de la caña de azúcar, investigación muy

relacionada con este trabajo, puesto que para los tratamientos 1 y 2 se utilizó como acelerantes microorganismos benéficos diluidos en melaza. El resultado indica que la cantidad de nitrógeno presente en el compost contribuye en buena medida a mejorar los suelos debido a que es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es relevante conocer los requerimientos de N del suelo, por cuanto una dosificación incorrecta de N trae consecuencias negativas al ambiente, como nitrógeno amoniacal y nítrico, volatilizándose y contribuyendo al efecto invernadero y formación de lluvias ácidas (Masaguer y Benito, 2008).

Los resultados para la densidad de las muestras no cumplen con lo establecido por la NTC 5167, cuyas causas son atribuibles a que en el proceso de tamizaje se utilizó una malla de anejo plástico con huecos de 1 mm, lo cual produjo muestras de partículas pequeñas, alcanzando una textura y apariencia similar al limo. Este resultado no limita el uso del compost obtenido, por dos razones: si se utiliza con partículas finas en suelos arenosos, ayuda a retener el agua, mejorando la humedad; y si se requiere menor densidad de compost, se utiliza una malla con huecos de mayor tamaño durante el cribado. En síntesis, es una variable que debe ajustarse de acuerdo a las necesidades del suelo.

Para el parámetro de presencia de bacterias Gram negativas, como *Salmonella typhi* y *Escherichia coli*, que actúan como patógenos para la salud humana, los resultados no indican presencia de *Salmonella*; caso contrario ocurre con la *Escherichia*, para la cual hay reporte de presencia por encima del límite permitido por la NTC 5167, lo que limita el uso únicamente para silvicultura, cultivos de frutales de porte arbóreo y jardinería, donde no hay contacto del compost con los frutos. Por ello no se recomienda su utilización en huertas caseras, dado el riesgo de contaminación de las cosechas. Esta situación sugiere que hubo una incorrecta desinfección de las herramientas manuales utilizadas durante el descargue

del compost del biorreactor, sin atribuirse la presencia del patógeno a temperaturas por debajo de los 55 °C por un período menor a tres días durante el compostaje, por cuanto los registros de las lecturas para esta variable reportan el cumplimiento de esa condición.

Agradecimientos

Al SENA Regional Vichada por financiar este proyecto, por el interés mostrado y por facilitar la logística en los momentos requeridos. A la Empresa de Servicios Públicos de Puerto Carreño, por facilitar infraestructuras como el hangar y el biorreactor para la elaboración del compost. Al Tecnoparque Nodo Medellín del SENA Regional Antioquia, por realizar las pruebas de laboratorio, previa presentación del proyecto. A Edgar Trujillo Bernal, por el apoyo dado en la revisión de la traducción del resumen.

Referencias bibliográficas

- Acosta Carrión, Wilson y Peralta Franco Milton Iván (2015). *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá*. (Tesis de grado). Universidad de Cundinamarca, Colombia.
- Arrigoni, Juan Pablo; Paladino, Gabriela; Garibaldi, Lucas Alejandro; Laos, Francisca (2018). *Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins*. Recuperado en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18301521?via%3Dihub>
- Banco Interamericano de Desarrollo (2009). *Manual práctico de uso de EM*. Montevideo.
- Batalla E.; Ansorena, J.; Merino, D. (2015). *Evolución de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*. Gipuzkoa.
- Bazán Lugo, Eduardo; Salinas Pérez, Florencia del Carmen; Pérez Fernández, Sandra Fabiola; Salinas Sandoval, Ray Christian (2014). *Efecto de las formulaciones de composta a partir de residuos de poda de nopal (Opuntia ficus indica) / estiércol vacuno en plantaciones de nopal verdura*. Recuperado de <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/efecto-de-las-formulaciones-de-composta-a-partir-de-residuos-de-poda-de-nopal-opuntia-ficus-indica-estiercol-vacuno-en-plantaciones-de-nopal-verdura>
- Bohórquez, Alexander; Puentes, Yina J.; y Menjivar, Juan Carlos (2014). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar*. Recuperado en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract-&pid=S0122-87062014000100007
- Bueno Márquez, Pedro; Diaz Blanco, Manuel Jesús; y Cabrera Capitán, Francisco (2008). "Factores que afectan el proceso de compostaje". En: Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p. 94-111). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Campitelli, Paola Andrea; Ceppi, Silvia Beatriz; Velasco, Manuel Ignacio; Rubenacker, Andrea Inés (2010). *Manual práctico de compostaje*. Córdoba, Argentina.
- Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (2013). *La Composta: Importancia, elaboración y uso agrícola*. México.
- Iglesias Jiménez, Emeterio; Barral Silva, María Teresa; y Marhuenda Egea, Carlos (2008). "Indicadores de la estabilidad y madurez del compost". En Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p.243-245). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) (2004). *Productos para la industria agrícola*. Pro-

- ductos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá D.C.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Vichada*. Bogotá D.C.
- Masaguer Rodríguez, Alberto y Benito Capa, Marta (2008). "Evaluación de la calidad del compost". En Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p. 285-304). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Millán, Fernando; Prato, José Gregorio; La Cruz, Yesica; Sánchez, Adriana (2017). *Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost*. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/-/article/-view/67338>
- Munch, Lourdes y Ángeles, Ernesto (2009). *Métodos y técnicas de investigación*. México: Editorial Trillas.
- Muñoz, Juan Manuel; Muñoz, Javier Andrés; y Montes, Consuelo (2015). *Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca*. Recuperado en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612015000100009
- Pérez Méndez, Miguel A.; Sánchez Hernández, Rufo; Palma López, David J.; Salgado García, Sergio (2011). *Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México*. Recuperado en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33917727007>
- Rodríguez Torres, María Dolores; Venegas González, José; Angoa P., M. V.; y Montañez Soto, José Luis (2010). *Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos en diferentes compost y el efecto sobre el trigo*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342010000200002
- Román, Pilar; Martínez, María M.; y Pantoja, Alberto (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile. FAO.
- Rondón Toro, Estefani; Szantó Narea, Marcel; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo; y Gálvez, Alejandro (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile. CEPAL.
- Sánchez de Pinto, M. I.; Albanesi, A.; Palazzi, V.; Trejo, J.; y Polo, A. (2013). *Compostaje y lombricompostaje de residuos frutihortícolas*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/6304515/albanesi-ada-facultad-de-agronom-C3%A-Dayagroindustrias>
- Sánchez, Óscar; Ospina, Diego; y Montoya, Sandra (2017). *Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17305846?via%3Dihub>
- Soliva Torrentó, Monserrat; López Martínez, Marga; y Huerta Pujol, Oscar (2008). "Antecedentes y Fundamentos del proceso compostaje". En: Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p. 75-93). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Soliva, Monserrat y López, Marga (2004). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Barcelona.
- Sztern, Daniel y Pravia, Miguel A. (2008). *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Montevideo.
- Zavala A., Roberto (2013). *Estadística básica*. México: Editorial Trillas.
- Zhang, Lu y Sun, Xiangyang (2018). *Influence of sugar beet pulp and paper waste as bulking agents on physical, chemical, and microbial properties during green waste composting*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/-science/-article/-pii/S09-60852418309374>