

Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje

Time's Reduction to Obtain Organic Fertilizer by Vermicomposting as a Method of Stabilizing a Waste in the Composting Process

Sergio Alejandro Pedraza Pachón¹, Lubin Andrés Hernández Sanabria², Aprendices y tecnólogos de Semillero de Investigación TERRANOVA³

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0893-2024>, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro de Gestión Industrial, Bogotá D. C., Colombia
sergioapedraza@miSENA.edu.co

² ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4673-0709>, Universidad Internacional Iberoamericana-UNNI Puerto Rico, Bogotá D.C., Colombia,
lahernandez252@miSENA.edu.co

³ Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro de Gestión Industrial, semillero de investigación TERRANOVA, Bogotá D. C., Colombia.

Fecha de recepción: 05/06/2019 Fecha de aceptación del artículo: 09/09/2019



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.15439>

Como citar: Pedraza Pachón, S., & Hernández Sanabria, L. (2019). Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 16(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.15439>

Resumen

La acumulación y falta de aprovechamiento de los residuos orgánicos (RO) que produce el complejo Paloquemao del SENA, planteó la necesidad de tratarlos por medio de la obtención de abono orgánico. Para ello se planteó un proceso de tratamiento de tres fases: 1) cuantificación de los residuos mediante cuarteos periódicos durante el 2017 en las unidades de almacenamiento, determinando una tasa de generación de 2,20 t/mes. 2) Diseño e instalación de una planta piloto industrializada, aprovechando tres mezclas entre café, fruta, verdura cruda y aserrín, con la modificación de dos técnicas tradicionales, debido a las bajas temperaturas que presenta Bogotá (entre 8 y 20 °C), que interrumpe el proceso de compostaje modular a los 20 días de degradación de materia orgánica en su primera fase mesófila y que acondiciona así el material para someterlo a vermicompostaje para un total de 32 días de procesamiento, lo cual refleja una disminución significativa del tiempo de producción de abono con respecto a las aplicaciones convencionales y una capacidad de producción de hasta 628 kg. 3) Análisis de variables como C/N con una relación de 14:1 para la mezcla 2, lo que demuestra que es un abono enriquecido según la NTC 5167 (2011).

Palabras clave: residuo, orgánico, físico-químico, biodegradación, Eisenia foetida, SENA.

Abstract

The accumulation and lack of use of organic waste (O.W) produced on Paloquemao SENA Complex, raised the need to treat it by organic compost. Therefore, three methodological phases were developed, 1) O.W quantification on storage units by periodic quarters during 2017, producing a rate 2,20 T/Month. 2) Design and installation of an industrialized pilot plant, taking advantage of the organic waste obtained by three mixtures based on coffee, fruit, raw vegetables and sawdust, implementing modifications on two traditional techniques due to Bogotá's low temperatures (between 8 & 20°C), causing an interruption on the modular composting cycle after 20 days of the O.W degradation on mesophilic phase and conditioning obtained material to vermicomposting up to 32 days of process, which reflects a significant difference on fertilizer time production regarding to conventional applications, obtaining a production capacity of 628 kg. 3) variables as C/N were analyzed with a relation of 14:1 for mixture 2, which proves that it is an enriched fertilizer according to NTC 5167 (2011).

Keywords: waste, organic, physical-chemical, biodegradation, Eisenia Foetida, SENA.

Introducción

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), regional Distrito Capital, sede Paloquemao, en función de ofrecer conocimientos a los colombianos, dispone de cuatro centros denominados: Centro de Gestión Industrial, Centro de Diseño y Metrología, Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica y Centro Nacional de Hotelería, Turismo y Alimentos, los cuales están conformados por una infraestructura de ambientes de aprendizaje, así como de tecnologías de información y comunicación, donde se pueden encontrar establecimientos alimentarios y grandes cocinas que hacen parte de los ambientes de aprendizaje del hotel. La población estudiantil utiliza y consume a diario alimentos que generan gran variedad de residuos orgánicos. Como resultado de ello, se presentan dificultades durante su manejo interno como la acumulación y la mezcla con residuos inorgánicos, que ocasiona el desaprovechamiento de los residuos orgánicos o que disminuya el potencial de aprovechamiento de otros materiales. A la vez, ello genera distintas problemáticas en el complejo. Algunas de las más comunes son deterioro del centro de almacenamiento temporal, malos olores, proliferación de vectores y lixiviados.

En consecuencia, al no aprovecharse los residuos orgánicos, su disposición final va a rellenos sanitarios, lo que dificulta aún más su manejo y operación. Todo esto evidencia la necesidad de aportar soluciones que reduzcan dichos efectos negativos.

A través del aprovechamiento de los residuos el ser humano puede abastecerse de recursos renovables y mitigar así grandes impactos ambientales. Los residuos orgánicos se generan en diferentes actividades humanas, como excretas, residuos de frigoríficos y mataderos o residuos urbanos de diferentes actividades productivas.

Entre las alternativas más frecuentes de aprovechamiento se encuentra la producción de abonos orgánicos a través de diferentes alternativas como el compostaje y el vermicompostaje. Con ello se busca obtener un producto final estable para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

El compostaje, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), es la mezcla de materia orgánica en descomposición, en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno), que se emplea para mejorar la estructura fisicoquímica del suelo y proporcionar nutrientes. Este involucra procesos metabólicos complejos, realizados por microorganismos que, en presencia de oxígeno, toman el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su biomasa. Así mismo, en este proceso los microorganismos generan calor y sustrato sólido, para obtener así un producto estabilizado [1].

Durante el proceso de compostaje, los microorganismos desprenden calor medible a lo largo del tiempo. Por lo tanto, según la temperatura, se distinguen tres etapas principales de compostaje, además de una etapa de maduración. A continuación, se describen las etapas del proceso según el Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina de la FAO [2]:

Fase mesófila: la temperatura ambiente inicial aumenta a los 40-45 °C alrededor de una semana, debido a la actividad microbiana, ya que los microorganismos utilizan el C y N como fuente de energía para generar calor. A raíz de esto, la materia orgánica entra en descomposición de

compuestos solubles (como azúcares), los cuales producen ácidos orgánicos y disminuyen el pH. A esta fase también se le llama acidificación inicial.

Fase termófila: cuando el material alcanza temperaturas mayores a 45 °C, proliferan exclusivamente microorganismos que resisten temperaturas más altas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), las cuales se encargan de degradar fuentes más complejas de C (por ejemplo, la celulosa y la lignina). Además, los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco y aumentan el pH. A partir de los 60 °C, se desarrollan las bacterias encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase también se denomina fase de higienización, ya que el calor que se genera destruye bacterias indeseables como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, las cuales tienen un origen fecal.

Fase de enfriamiento o mesófila II: al agotarse las fuentes de C y N, la temperatura comienza a disminuir hasta llegar a los 40-45 °C. Sin embargo, continúa la degradación de celulosa, hemicelulosa y lignina, polímeros presentes en los residuos orgánicos y se observan algunos hongos. Sus porcentajes varían de acuerdo con el tipo de residuo e, igualmente, el pH se ve afectado al disminuir su valor.

Fase de maduración: en esta suceden reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, para producir ácidos húmicos y fúlvicos.

En el proceso de compostaje y vermicompostaje es necesario controlar variables como: oxígeno, humedad, temperatura, pH, relación C/N y tamaño de partícula, para asegurar la degradación del material, el consumo de este por las lombrices y la buena calidad del producto final.

Teniendo en cuenta la acumulación de residuos en el complejo, se planteó como alternativa implementar un sistema de tratamiento de residuos orgánicos que reduzca el tiempo de precompostaje y vermicompostaje, a efectos de aprovechar los residuos biodegradables generados en el SENA-complejo Paloquemao, convirtiéndolos en abono. Este proceso consta del diseño y desarrollo de una planta procesadora de la cual se obtiene abono orgánico, que se caracterizó en cada etapa de elaboración. El aprovechamiento de los residuos orgánicos (figura 1) inicia con la reducción del tamaño de partícula que proviene de los centros de formación, a un tamaño entre los 2 y los 5 cm, acorde a lo propuesto por Albarracín, Roa, Solano y Montañez [3]. A continuación, se procede con la mezcla experimental de materiales que permitan una correcta relación C/N, necesaria para el proceso de precompostaje con tiempos de operación calculados a partir de las variables. Por último, el material precompostado se ingresa a las bandejas de vermicompostaje industrial y de ellos se obtiene un material que, de acuerdo con lo citado por López [4], le aporta propiedades antibióticas y potenciadores radiculares.

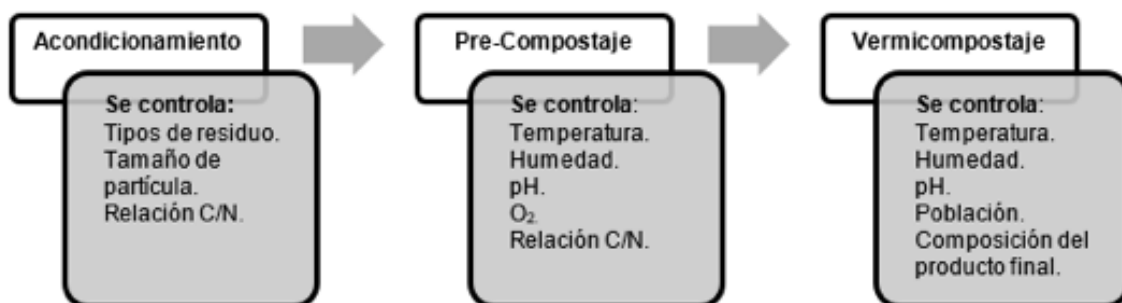


Figura 1. Proceso de aprovechamiento

1. Materiales y métodos

1.1. Primera fase: identificación de puntos de generación de residuos sólidos

Se inició con la identificación de los puntos de generación de residuos sólidos no peligrosos en el SENA-complejo de Paloquemao, inspeccionando las diferentes áreas y el desarrollo de cuarteos (figura 2) y aplicando el método descrito por Montoya [5].

Se realizaron dos cuarteos mensuales durante el 2017 (figura 2) en los dos centros de almacenamiento temporal de residuos sólidos ubicados en el complejo, que permitieron determinar la composición física de los materiales que se disponen, la tasa de generación promedio y las posibles fluctuaciones en su generación a lo largo de este periodo.



Figura 2. Cuarteo en el Centro de Gestión Industrial

1.2. Segunda fase: adecuación del área y construcción de la planta

En la segunda etapa del proyecto se llevó a cabo la adecuación del área y la construcción de la planta en la que se desarrollaron las diferentes actividades y procesos de producción. Esta se encuentra equipada con una trituradora de residuos marca Trapp de 1.5 HP, usada para reducir el tamaño de partícula de los residuos, dos módulos de compostaje con capacidad de 2400 L y cuatro módulos con bandejas verticales industrializadas de diseño propio para el proceso de vermicompostaje con capacidad para procesar 4000 L de material.

El proceso inicia con la recolección diaria en las horas de la mañana de los residuos de frutas y verduras crudas, previamente segregados en los puntos de generación. Una vez en la planta, los residuos orgánicos frescos se pesan y acondicionan; además, se calcula la composición de la mezcla aplicando la ecuación 1 para garantizar una relación C/N ideal, de acuerdo con lo citado por Méndez et al. [6].

$$R = \frac{Q_1 \cdot (C_1 \cdot (100 - M_1)) + Q_2 \cdot (C_2 \cdot (100 - M_2)) + Q_3 \cdot (C_3 \cdot (100 - M_3)) + \dots}{Q_1 \cdot (N_1 \cdot (100 - M_1)) + Q_2 \cdot (N_2 \cdot (100 - M_2)) + Q_3 \cdot (N_3 \cdot (100 - M_3)) + \dots} \quad (1)$$

Donde:

R: relación C/N de la mezcla de abono.

Q_n: masa del material (“tal cual” o “peso húmedo”)

C_n: carbono (%) del material n.

N_n: nitrógeno (%) del material n.

M_n: contenido de humedad (%) de material n.

La tabla 1 muestra los métodos de referencia aplicados en el laboratorio para determinar el contenido de C, N, humedad de los residuos orgánicos y los materiales de mezcla para los procedimientos.

Tabla 1. Métodos de referencia para la determinación de carbono orgánico total, nitrógeno total y humedad

Parámetro	Método	Referencia
COT (%)	Walkley y Black	NTC 5167 (2011)
NT (%)	Kjeldahl	NTC 370 (2011)
Humedad (%)	Gravimétrico	NTC 5167 (2011)

COT: carbono orgánico total; NT: nitrógeno total.

A partir de la información obtenida de los métodos de referencia y con la intención de mantener una proporción adecuada de nitrógeno en el precompostaje que no afectara su variación en el proceso de vermicompostaje, se planteó la mezcla de los residuos orgánicos con dos tipos diferentes de material (tabla 2), que poseen una importante carga de nutrientes que pueden reutilizarse y ser aplicados como abono orgánico, de acuerdo con lo expuesto en su estudio por Hernández et al. [7].

Tabla 2. Proporción de materiales empleados en la mezcla que se va a procesar

	Mezcla	Convención	Relación
M1	Residuos orgánicos + cuncho de café	R + C	1:1
M2	Residuos orgánicos + aserrín	R + A	1:2
M3	Residuos orgánicos + cunchos de café + aserrín	R + C + A	0,5:0,5:2

Las mezclas se propusieron con una relación C/N de 5:1 para la M1, de 25:1 para la M2 y de 10:1 para la M3 en el inicio del proceso. Paso seguido, las mezclas de material fueron precompostadas teniendo en cuenta un tiempo de operación de 20 días, a fin de evitar que se inicie una fase termófila en el compostaje, la cual, de acuerdo con Méndez et al. [6], puede llegar a presentarse incluso en la primera semana. En este punto del proceso se determinó una relación C/N de 13:1 para la M1, de 36:1 para la M2 y de 15:1 para la M3. Posteriormente, se trasladaron a las unidades de vermicompostaje, donde se empleó la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), una de las especies más usadas para el vermicompostaje, por su tolerancia a un amplio rango de humedad y temperatura [8].

1.2. Tercera fase: caracterización del abono

En la tercera etapa del proyecto se llevó a cabo la caracterización del vermicompost producido, teniendo en cuenta los parámetros recomendados por la Norma Técnica Colombiana (NTC 5167 de 2011), en la que se establecen los requisitos y ensayos que deben cumplir los productos orgánicos que se usen como abono o enmiendas. Ello se toma como base para mejorar la calidad del producto al controlar y ajustar las variables del proceso de producción [9].

2. Resultados

A partir de los cuarteos realizados en las unidades de almacenamiento temporal del SENA-complejo Paloquemao, se determinó la composición promedio de los residuos sólidos generados, que puede observarse en la tabla 3.

Tabla 3. Composición promedio de los residuos sólidos del complejo Paloquemao

Residuo	Masa promedio (kg/día)	%
Plástico	35,84	27
Fracción residual	21,84	17
Tetra Pack	0,365	0
Poliestireno	2,25	2
Papel	10,84	8
Textil	3,40	3
Orgánico	39,45	30
Cartón	9,12	7
Madera	0,81	1
Vidrio	5,09	4
Metal	1,66	1
Total	130,70	100

Los residuos que principalmente se generan son orgánicos y plásticos y representan aproximadamente el 75 % del total; sin embargo, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos cataloga los materiales plásticos como un material aprovechable, que dentro de las actividades adelantadas por el centro requieren su separación en la fuente para posteriormente ser entregados a asociaciones que realizan su valoración junto con materiales como papel, vidrio, cartón, entre otros.

A partir de la información recolectada en la primera etapa, se diseñó y puso en marcha la planta para el procesamiento de los residuos orgánicos generados, tal como se puede observar en la figura 3.



Figura 3. Planta para el procesamiento de residuos orgánicos

Durante el proceso de precompostaje de los residuos orgánicos se realizó el seguimiento a los parámetros más importantes en el proceso, como lo son: pH, humedad, temperatura, C y N, los cuales están ampliamente documentados de acuerdo con lo citado en su estudio por Oviedo,

Marmolejo y Torres [10]. Ello permite comparar los resultados con valores teóricos que aseguran que el residuo permanece en una primera fase mesófila, en la que los residuos se mantienen en un rango de temperatura de 20 a 35 °C, tal y como lo exponen Campos, Peralta y Morales [11]. Esto con el fin de proporcionar un material que no esté totalmente degradado a las bandejas de vermicompostaje. La variación para las tres mezclas se observa en las figuras 4, 5 y 6.

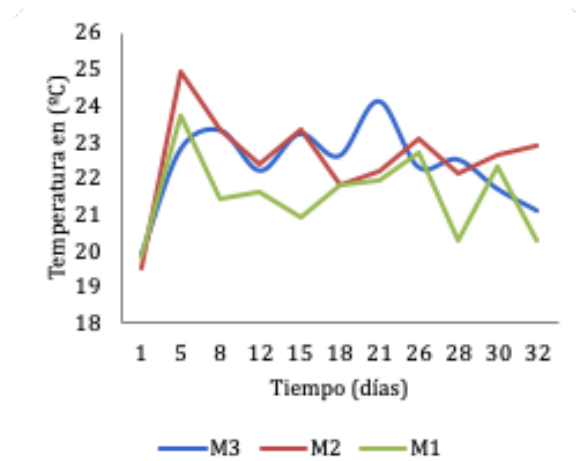


Figura 4. Tendencia de la temperatura en las mezclas

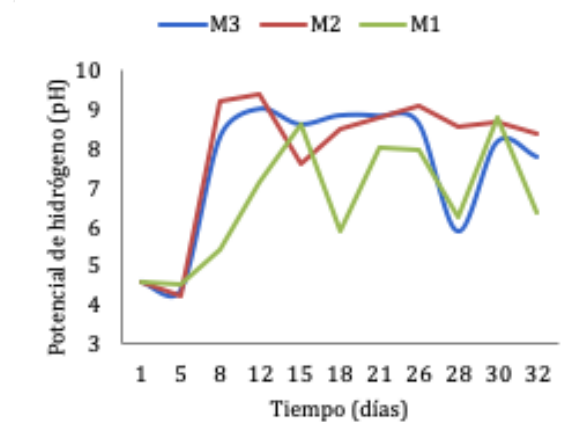


Figura 5. Tendencia del pH en las mezclas

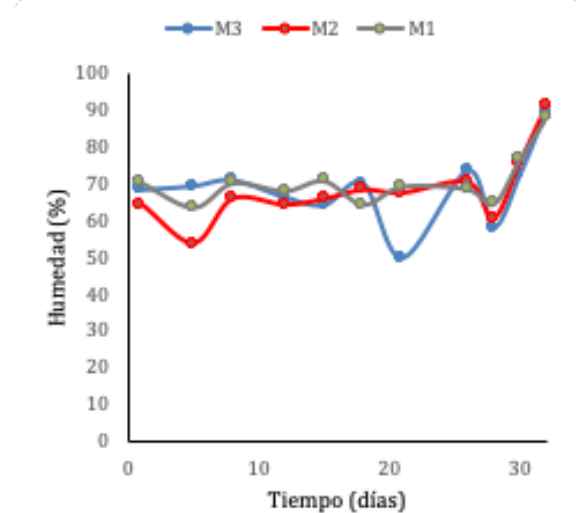


Figura 6. Resultados de la caracterización de humedad

La variación en el pH afecta el crecimiento de microorganismos en el proceso de compostaje. El pH alcalino es un parámetro importante para evaluar la madurez del compostaje y su estabilidad. Un pH ácido afecta la tasa de respiración de los microorganismos y reduce la tasa de degradación [12].

La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de precompostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N [13] y la intención principal del proyecto se basa en evitar que los residuos alimenticios pasen de fase mesófila a la termófila para acelerar el proceso de digestión de las lombrices en la etapa de vermicompostaje.

En cuanto la humedad (figura 6), Iriri de Soto [14] cita que el agua es uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje. Si su contenido es muy bajo, se detiene la actividad microbiológica del proceso; y si es muy alto, se dan condiciones anóxicas porque el agua desplaza al aire de los espacios libres existentes.

En cuanto a la relación C/N, el material fluctuó según lo esperado para el contenido biodegradable proveniente de los alimentos del complejo, con porcentajes de C del 16,25% y de N del 0,65% al inicio, según el rango más alto analizado, a una relación de C: 14,44% y N: 1,01% para la M2 en la fase de maduración del material. Ello proporciona una variabilidad significativa en las tres mezclas, como lo muestra la figura 7, que mantiene un rango favorable en cuanto a los nutrientes disponibles para el abono a lo largo del proceso dentro de la planta piloto, teniendo en cuenta lo establecido en las técnicas convencionales [2], [13], [15].

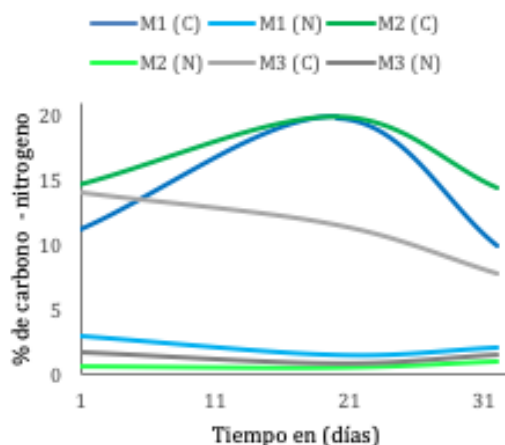


Figura 7. Resultados caracterización porcentual de la relación carbono/nitrógeno para las tres muestras

Una vez transcurridos 20 días en el proceso de precompostaje, el material se usó como alimento de las lombrices en el proceso de vermicompostaje bajo condiciones de ingreso a las bandejas de entre el 50 y el 70% de humedad, de 22 a 24 °C y un pH de 8 a 8,8, tal y como lo muestran las figuras de la 4 a la 6 y la figura 7 para C/N. Así, se obtuvo un producto final estabilizado en menor tiempo (32 días), en comparación con las técnicas tradicionales, que pueden estar alrededor de los 90 días, e incluso no alcanzar la maduración en este tiempo [16]. El producto obtenido se sometió a una caracterización que obtuvo los valores mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la caracterización del vermicompostaje

Parámetro	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Unidad
Humedad	74,90	62,10	80,02	%
Retención de humedad	147,60	187,00	168,00	%
Nitrógeno	2,10	1,01	1,49	%
Pérdida por volatilización	98,13	96,05	97,91	%
Cenizas	1,87	3,95	2,09	%
Intercambio catiónico	33,60	8,43	29,24	meq/100 g
Densidad	0,37	0,23	0,32	g/cm ³
Fósforo	0,14	0,10	0,08	%
Carbono	9,90	14,44	7,81	%

3. Discusión de los resultados

En los cuarteos mensuales desarrollados cada dos semanas a lo largo del 2017, se evidenció durante la primera fase que el potencial aprovechable del 30 %, correspondiente al material orgánico, provenía sobre todo de las cocinas del Hotel SENA, donde la generación diaria permitía alimentar la planta piloto de manera continua. De esta forma, se establecieron cinco variables de control continuo para la operación de la planta (temperatura, humedad, pH, C y N), las cuales reflejaron que para las condiciones climáticas de la zona no era posible realizar un compostaje completo pues, según la figura 8, en la fase termófila la temperatura se acerca a los 70 °C [17] y en la figura 4 no existe un aumento de temperatura similar para los tres tipos de muestra; se mantiene alrededor de los 24 °C como pico más alto dentro del proceso.

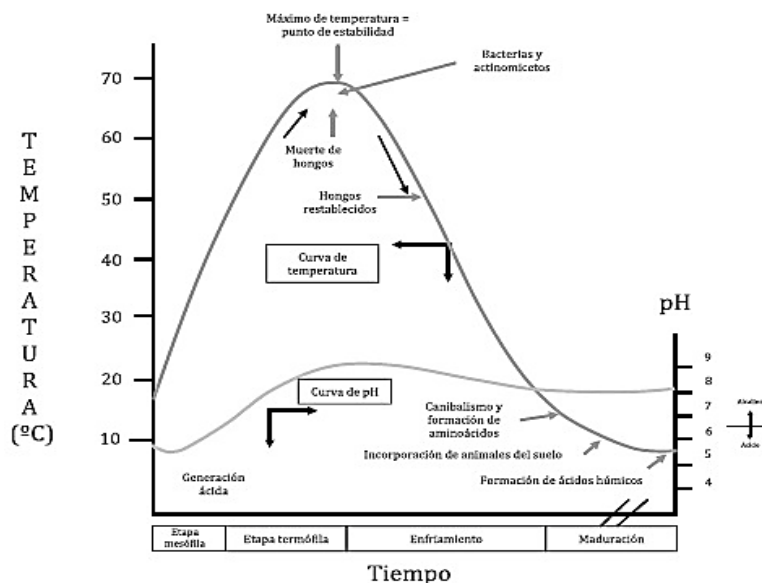


Figura 8. Etapas del compostaje [17]

En ese orden de ideas, se interrumpió el proceso de compostaje tradicional, tal y como se muestra en la figura 9, en cuanto a la duración de sus fases, precompostando los residuos dentro de la planta piloto en tan solo 20 días, donde hay una acidificación del material dentro de la primera semana (figura 5) y el pH llega a un promedio de 4,4 en las muestras base.

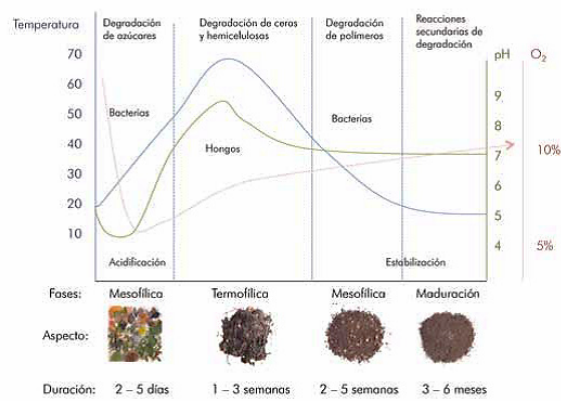


Figura 9. Proceso de maduración tradicional del compost [2]

En los siguientes 15 días, el material elevó el pH a 8,5 en promedio para las tres muestras. De esta forma se adaptó hasta obtener un producto en proceso que asegure las condiciones adecuadas para la sobrevivencia de la *Eisenia foetida* en el momento en que son inoculadas en las bandejas de vermicompostaje [18]. En la tercera semana, cuando no ocurre una fase termófila debido a la falta de elevación de la temperatura y manteniendo una humedad constante durante todo el proceso, tal y como se muestra en la figura 6, se da inicio a la etapa de vermicompostaje, con el objeto de que el material (residuos triturados de frutas y verduras crudas) pueda entrar en una fase de estabilización en un tiempo menor de 3 meses, como lo establece la FAO [2], a fin de favorecer la fácil digestión de los residuos por parte de las lombrices californianas. Por consiguiente, la adaptación de las dos técnicas permite obtener un producto terminado en un tiempo de 32 días, como se evidencia en las figuras 4, 5, 6 y 7, que, en comparación con los 120 días mostrados en la figura 11, refleja una disminución significativa en el tiempo de estabilización del abono orgánico de 88 días, con estándares de calidad aptos para el contexto colombiano según la NTC 5167 (2011), tal y como lo reflejan los resultados de la tabla 4.

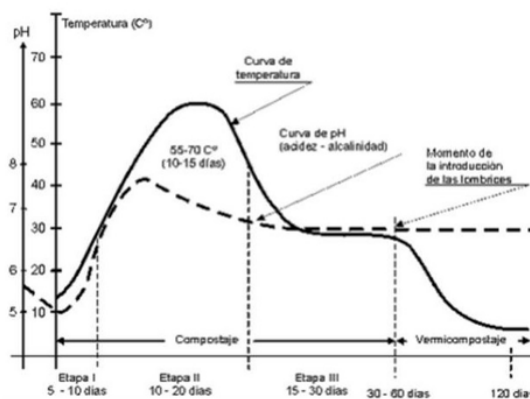


Figura 10. Etapas convencionales del compost vermicompostado [18]

Conclusiones

- ◆ Durante el desarrollo de la primera fase se realizó la debida caracterización de los residuos mediante la técnica de cuarteo en los centros de almacenamiento temporal de residuos sólidos. Se determinó una tasa de producción promedio de 2,20 t/mes de residuos orgánicos. Este fue el principal constituyente de los residuos generados en el complejo.

- ◆ En la segunda fase se proyectó y construyó la infraestructura necesaria para la transformación de 628 kg residuos orgánicos producidos en el centro. Se conformó un proceso dividido en tres etapas principales (acondicionamiento, precompostaje y vermicompostaje), que disminuyeron el tiempo a 32 días para la estabilización del material, en comparación con las técnicas tradicionales de compostaje y vermicompostaje. Fue necesario controlar la temperatura (variación de 8 a 20 °C en la zona) externa a la planta, acondicionando las bandejas, pues esta variable interfirió varias veces dentro del proceso.
- ◆ Para la tercera etapa se caracterizó el vermicompost obtenido a partir de las tres mezclas realizadas (R+C, R+A y R+C+A), determinando que la muestra con mejores resultados en su composición se presentó en la mezcla 2 con 14,44% de carbono, 1,01% de nitrógeno y fósforo de 0,1% según la NTC 5167 (2011).

Agradecimientos

Al SENA, por disponer de sus recursos a través del programa SENNOVA, y a todos los aprendices y tecnólogos que hicieron parte de este proceso investigativo.

Referencias

- [1] R. Campos Rodríguez, L. Peralta Brenes y M. F. Jiménez. "Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras", Tenol. Marcha., vol. 30, n.º extra 5, pp. 25-32, 2016 [en línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761473>
- [2] P. Román, M. M. Martínez y A. Pantoja. Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Santiago de Chile: FAO, 2013 [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- [3] D. M. Albarracín Sánchez, A. L. Roa Parra, F. Solano Ortega y G. Montañez Acevedo. "Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda", Revi. Bistua, vol. 1 pp. 156-162, 2018.
- [4] W. A. Cabrera López, Empleo de lixiviados para compostar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios de la ciudad de sucúa, mediante las técnicas de takakura y de vermicompostaje. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10148>
- [5] A. Montoya, "Caracterización de residuos sólidos", Cuaderno Activa, vol. 4, pp. 67-72, 2012 [en línea]. Disponible en: <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/34>
- [6] A. Méndez Matías, C. Robles, J. Ruiz Vega y E. Castañeda Hidalgo, "Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N", Rev. Mex. Ciencias Agrícolas, vol. 9, n.º 2, pp. 271-280, 2018. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1070>
- [7] A. S. Hernández Cázares, N. Real Luna, M. I. Delgado Blancas, L. Bautista Hernández y J. Velasco Velasco, "Residuos agroindustriales con potencial de compostaje", Agroproductividad, vol. 9, n.º 8, pp. 10-17, 2016 [en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100004.
- [8] A. Chaulagain et al., "Effect of feeding materials on yield, quality of vermicompost, multiplication and reproduction of Eisenia foetida", Kathmandu Univ. J. Sci. Eng. Tech., vol. 13, n.º 2, pp. 15-25, 2017. <https://doi.org/10.3126/kuset.v13i2.21280>.
- [9] S. C. Albañil Osorio, O. Rodríguez Castellanos, J. P. Jaimes Romero y J. P. Rodríguez Miranda, "Comparación de la calidad del humus de material vegetal (de humedales artificiales) con el de residuos orgánicos domésticos", Logos Ciencia y Tecnología, vol. 8, n.º 2, pp. 191-200, 2017

- [en línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=517754056017>
- [10] E. R. Oviedo Ocaña, L. F. Marmolejo Rebellón y P. Torres Lozada, "Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo: lecciones desde Colombia", *Ing. Investig. Tecnol.*, vol. XVIII, n.º 1, pp. 31-42, 2017. <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003>.
- [11] R. Campos Rodríguez, L. Brenes Peralta y M. F. Jiménez Morales, "Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras", *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 29, n.º 8, p. 25, 2016. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>.
- [12] A. Ameen, J. Ahmad y S. Raza, "Effect of pH and moisture content on composting of Municipal solid waste". *Int. J. Sci. Res.*, vol. 6, n.º 5, pp. 35-37, 2016.
- [13] R. A. Vanegas Blandón. Estudio comparativo de dos sistemas de compostaje de residuos urbanos. Cádiz: Universidad de Cádiz, 2016 [en línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50961>
- [14] L. E. Iri de Soto, "Evaluación de temperatura, pH, humedad, residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal en el proceso de compostaje", tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8753>
- [15] G. Mamani y F. Mamani, "Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos", *J. Selva Andina Res. Soc.*, vol. 3, n.º 1, 2019 [en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942012000100005&script=sci_arttext
- [16] E. Chilón Camacho, "Efecto de activadores biológicos locales sobre la microbiota y la calidad del compost en el Centro Experimental de Cota", *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica-UMSA*, vol. 4, n.º 2, pp. 1227-1243, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/254>
- [17] J. González Díaz y M. A. Medina, "Diseño y evaluación del compostaje como alternativa para el tratamiento de residuos de aditivos para la construcción", *Rev. P+L*, vol. 9, n.º 1, pp. 44-62, 2014 [en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552014000100004&script=sci_abstract&lng=es
- [18] O. Guamingay J. Ordóñez, "Producción de Humus y Biol a partir de vermicompostaje", Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2016 [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319940470_Production_of_Humus_and_Biol_from_Vermicomposting