

Puesta en marcha y evaluación de compostera para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en la UECI

Implementation and assessment of a composting system for treating organic solid waste in the UECI

RUBÉN BOHADA-GUTIERREZ¹ - MATEO VANEGAS-GARZÓN² -
WILLIAM ALONSO-AGUILERA³ - OSCAR MARTÍNEZ-PADILLA⁴ -
KAREN SANDOVAL-RINCÓN⁵ - JUAN GARCÍA-CAMPOS⁶ - LAURA LESMES-POSADA⁷

1. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
3. Estudiante del Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
4. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
5. Estudiante del Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
6. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
7. Magister en Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-6841>.

ruben.bohada@mail.escuelaing.edu.co - mateo.vanegas@mail.escuelaing.edu.co - william.alonso@mail.escuelaing.edu.co
- oscar.martinez-p@mail.escuelaing.edu.co - karen.sandoval@mail.escuelaing.edu.co -
juan.garcia-cam@mail.escuelaing.edu.co - laura.lesmes@escuelaing.edu.co

Recibido: 08/09/2024 Aceptado: 17/10/2024

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

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del trabajo realizado por integrantes del Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cuya finalidad es despertar en la comunidad de la Escuela el interés y la sensibilidad por la investigación y la innovación en el campo ambiental, en desarrollo de un proceso de reflexión-acción. Desde el año 2023 se planteó una propuesta para la gestión de residuos, cuyo nombre es “Puesta en marcha y evaluación de compostera para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos”; en este trabajo investigativo y práctico se plantea un marco teórico detallado sobre el desarrollo de un sistema de compostaje, con base en la utilización de residuos orgánicos biodegradables.

Por otro lado, se busca cuantificar y caracterizar los residuos orgánicos del restaurante central Dialimentos, que representa el punto de distribución de alimentos más grande de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con el fin de hacer un seguimiento exhaustivo del proceso de producción de material compostado, utilizando instrumentos y planteamientos teóricos sobre su generación.

Por último, se dejan una síntesis y unas conclusiones de los objetivos logrados y el planteamiento de futuras propuestas relacionadas con la gestión de residuos sólidos, así como aspectos que se necesitan mejorar para que este proyecto se siga manteniendo con el paso del tiempo. La continuidad de la gestión de residuos de la mano de esta iniciativa es el verdadero éxito.

Palabras claves: compostaje, gestión de residuos orgánicos, gestión en maduración de material compostado, saneamiento ambiental.

Abstract

This article presents the results of the work carried out by members of the Environmental Sanitation Research Seminar whose purpose is to awaken in the School's community the interest and sensitivity for research and innovation in the environmental field, within a process of reflection-action. Since 2023, a proposal for waste management has been proposed, whose name is: Implementation and evaluation of a composting system for the treatment of organic solid waste. In this research and practical work, a detailed theoretical framework is proposed on the development of a composting system, based on the use of biodegradable organic waste.

On the other hand, it seeks to quantify and characterize the organic waste from the central restaurant Dialimentos, which represents the largest food distribution point of the Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, and with this, to make an exhaustive follow-up of the production process of composted material, using instruments and theoretical approaches on its generation.

Finally, a synthesis and conclusions of the objectives achieved and the approach of future proposals related to solid waste management are presented, as well as aspects that need to be improved so that this project continues to be maintained over time. The continuity of waste management through this initiative is the real success.

Keywords: composting, organic waste management, management in the maturation of composted material, environmental sanitation.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, ha sido relevante llevar a cabo estrategias que ayuden a reducir la generación de residuos sólidos en el mundo debido a las actividades humanas, ya sea de tipo industrial, agrario, doméstico, educativo y comercial, puesto que todas ellas generan una cierta cantidad de compuestos que en muchos casos terminan llegando a los rellenos sanitarios. Entre estos se destacan, en gran medida, los residuos orgánicos, los cuales representan un alto porcentaje de los desechos, pues en todos los hogares, restaurantes, hoteles, centros deportivos y campos de cultivo a lo largo y ancho del país, siempre terminan produciendo, diariamente, restos de comida que por lo general están compuestos de cáscaras de frutas, verduras y granos, huesos, pulpa de jugos y semillas de las frutas, además de residuos de jardinería derivados de la poda de césped, árboles, plantas y hojas caídas, que pueden ser rápida o lentamente biodegradables, de acuerdo con la composición química que se tenga en estos. Tales residuos contribuyen a la generación de gas metano y lixiviado en altas cantidades en su proceso de degradación, lo que da como resultado complejas y costosas infraestructuras de relleno sanitario para las grandes ciudades o municipios en Colombia, aparte de la disminución de la vida útil de esta clase de infraestructura.

En el caso de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, al tener extensas zonas verdes en su campus, es de esperarse que se generen frecuentemente residuos de jardín provenientes de la poda de árboles, césped y plantas, además de residuos de comida provenientes de los centros de distribución de alimentos (restaurantes y cafeterías), los cuales producen una gran cantidad de residuos orgánicos que se ponen por lo general en el centro de acopio de la institución, para su posterior disposición por parte de la respectiva empresa de aseo.

De acuerdo con investigaciones hechas anteriormente, tan solo en el año 2016 la Escuela produjo 347 toneladas de residuos sólidos, de las cuales, 315 toneladas son de clase orgánica putrescible; cabe anotar que el 95 % de estos residuos se origina en los trabajos de jardinería, mientras el restante 5 % se genera a partir de los trabajos que realizan las concesiones de alimentos en el campus universitario (Llesmes Posada, 2018).

Por tal motivo, una de las gestiones que se han venido implementando en los últimos años con este tipo de desechos en el país ha sido el compostaje, proceso biológico aerobio que permite transformar los residuos orgánicos en un material estable e higienizado conocido como compost, abono natural que mejora la fertilidad del suelo para las actividades de cultivo y jardinería, lo que en cierta medida contribuye a reducir la cantidad de residuos sólidos que llegan a los rellenos sanitarios. El Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental, enfocado en el área ambiental de la universidad, ha puesto en funcionamiento durante el segundo semestre del año 2023 una planta piloto de compostaje, con la cual se produce compost a partir de los residuos orgánicos obtenidos del restaurante central.

En este artículo se presentan el proceso, análisis y resultados que se han obtenido con la compostera en el semestre 2023-2, al tiempo que se muestran los avances que se han tenido con esta propuesta de gestión ambiental y el potencial que puede tener esta en la Escuela.

INTRODUCTION

In recent decades, it has become increasingly important to implement strategies that help reduce the generation of solid waste worldwide due to human activities, whether industrial, agricultural, domestic, educational, or commercial, as all of them generate a certain amount

of compounds that often end up in landfills. Among these, organic waste stands out, as it represents a large percentage of the waste. In households, restaurants, hotels, sports centers, and agricultural fields across the country, food scraps are generated daily, typically consisting of fruit and vegetable peels, seeds, bones, juice pulp, and fruit seeds. Additionally, gardening waste, such as grass clippings, tree pruning, plant debris, and fallen leaves, is produced. These materials can be rapidly or slowly biodegradable, depending on their chemical composition. Such waste contributes significantly to the generation of methane gas and leachate during its decomposition process, resulting in complex and costly landfill infrastructures for large cities or municipalities in Colombia, as well as reducing the useful life of such infrastructure.

At the Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, given the extensive green areas on its campus, it is expected that garden waste will be frequently generated from tree, grass, and plant pruning, as well as food waste from the food distribution centers (restaurants and cafeterias), which produce a large amount of organic waste. This waste is generally placed in the institution's central collection area for later disposal by the respective cleaning company.

According to previous research, in 2016 alone, the university produced 347 tons of solid waste, of which 315 tons were of the putrescible organic type. It is noteworthy that 95% of this waste originates from gardening activities, while the remaining 5% comes from food service activities on the campus (Lesmes Posada, 2018).

For this reason, one of the waste management strategies that has been implemented in the country in recent years is composting, an aerobic biological process that transforms organic waste into a stable and sanitized material known as compost. Compost is a natural fertilizer that improves soil fertility for farming and gardening activities, contributing in some way to reducing the amount of solid waste that ends up in landfills. The Environmental Sanitation Research Group, focused on the environmental area of the university, launched a pilot composting plant in the second semester of 2023. This plant produces compost from organic waste obtained from the central restaurant.

This article presents the process, analysis, and results obtained with the composting system in the

2023-2 semester, along with the progress made in this environmental management initiative and its potential impact at the university.

OBJETO Y ALCANCES DEL PROYECTO

Con este proyecto, el Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental tiene como propósito desarrollar una gestión ambiental centrada en el manejo de los residuos sólidos en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, a partir del funcionamiento permanente y adecuado de una compostera dentro de la institución, con el objeto de generar investigaciones en torno al tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Por otro lado, se busca que con el funcionamiento de la compostera se reduzca la carga de orgánicos biodegradables de la Escuela dirigidos al relleno sanitario de Doña Juana, además de producir un material orgánico que permita el desarrollo de actividades de cultivos y jardinería en la institución, disminuyendo los costos e impactos que conlleva.

METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL PROYECTO

El diseño metodológico del proyecto “Puesta en marcha y evaluación de compostera de residuos sólidos orgánicos en la UECI” se realizó en tres fases, que sumaron un total de 18 semanas de trabajo, a lo largo de las cuales se dejaron en claro los procedimientos, estrategias y operatividad del proyecto, para lograr alcanzar los objetivos propuestos dentro del trabajo. Con base en lo anterior, las fases estarían compuestas de la siguiente manera:

Fase 1. Investigativa

La fase 1 se llevó a cabo desde la semana 1 hasta la semana 5 del proyecto, es decir, desde el 14 de agosto hasta el 16 de septiembre de 2023, en la cual se establecieron el estado del arte y el marco teórico, se planteó el marco conceptual y se hizo el análisis bibliográfico respectivo.

Fase 2. Práctica

La fase 2 del proyecto de compostaje, que corresponde a la fase práctica, se llevó a cabo desde el 28 de agosto

hasta el 14 de diciembre de 2023, con un total de 13 semanas. Durante esta fase, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Establecimiento del lugar del proyecto:** Adecuación del sitio donde se va a realizar el proyecto y se va a dictar la capacitación técnica.
- **Gestión de residuos sólidos orgánicos:** Se gestionaron los residuos sólidos orgánicos entregados por el restaurante de la Escuela, siguiendo los procedimientos establecidos.
- **Gestión de maduración de compost:** Se sustrajo el compost madurado de los módulos de compostaje y se almacenó en canastas para su maduración final.
- **Seguimiento, mediciones y control del proceso:** Se hicieron mediciones de temperatura, humedad, pH y peso de los residuos y del compost en cada etapa del proceso.

Los resultados de estas mediciones se analizarán en las siguientes secciones del artículo.

Fase 3. Análisis y cierre

La fase 3 del proyecto, que corresponde a la fase de análisis y cierre, se llevó a cabo desde el 11 de diciembre hasta el 18 de diciembre de 2023, durante un total de dos semanas. A lo largo de esta fase, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Discusión de resultados finales.
- Elaboración de productos.
- Análisis de viabilidad.
- Divulgación del proyecto.

Los resultados del análisis de los datos obtenidos durante la fase 3 se presentarán en las siguientes secciones del artículo.

PROCESO DEL COMPOSTAJE

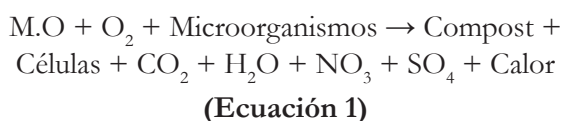
Hay que tener claro que el compost que se va a usar debe ser resultado, en su totalidad, del aprovechamiento de residuos orgánicos; sin embargo, no siempre se entrega lo requerido desde el principio, por lo que es necesario, antes de hacer el proceso, verificar los siguientes pasos para obtener un buen abono.

Se contemplan siete procesos de compostaje, clasificados así:

- **Recepción de RSO:** Se reciben las bolsas de los residuos sólidos urbanos. En este caso, solamente se aceptarán las bolsas verdes, que son las clasificadas como orgánicas.
- **Separación de material recuperable:** Se revisa qué tipo de orgánico se va a utilizar, y se eliminan residuos indomables, como estos:
 - Residuos químicos-sintéticos, tales como pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas, etc.
 - Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
 - Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o aserrín).
 - Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
 - Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
 - Animales muertos.
 - Restos de alimentos cocinados, carne.
- **Reducción de tamaño:** Se procede a picar y condicionar los residuos a los tamaños óptimos, entre 5 y 30 cm.
- **Ajuste de propiedades:** Se agrega material estructurante para reducir la humedad y se procura, además, que la mezcla esté heterogeneizada de material rico en carbono y rico en nitrógeno.
- **Descomposición biológica:** De acuerdo con Tchobanoglous, el compostaje es un proceso biológico que, mediante la acción de los microorganismos sobre la fracción biodegradable de los residuos sólidos, descompone los compuestos que contiene la materia orgánica, tales como proteínas, carbohidratos, lignina, aminoácidos, lípidos y celulosa, hasta producir un material estable, semejante al humus, conocido como compost (1994).

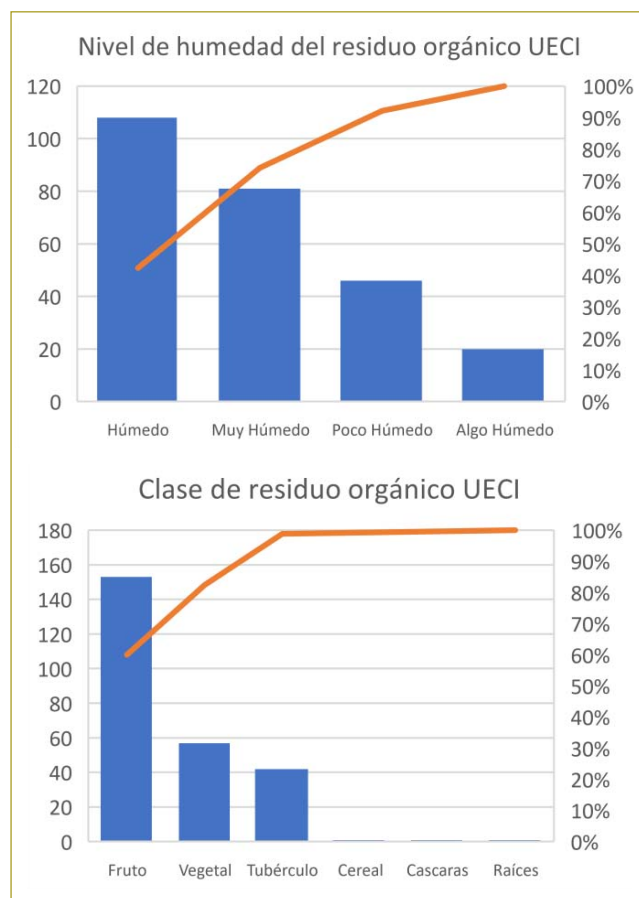
La reacción que se presenta en el proceso de compostaje es la siguiente:

Fórmula química del compostaje



- A renglón seguido, se evidencia que los residuos entregados contienen altos niveles de humedad, posiblemente alterando los procesos de descomposición.

A continuación, se relaciona dicha cuantificación:



En total, se recibieron 255 clases de residuos orgánicos, lo que evidencia la rica variabilidad de residuos orgánicos aprovechados para generar compost. A continuación, se pueden visualizar con más detalle todos los residuos dispuestos; una vez cuantificado el peso, se tiene el siguiente análisis estadístico de todos los pesajes de residuos orgánicos suministrados (gráfico 1).

REVISTA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA, N.º 137 / 2025 / 33-43

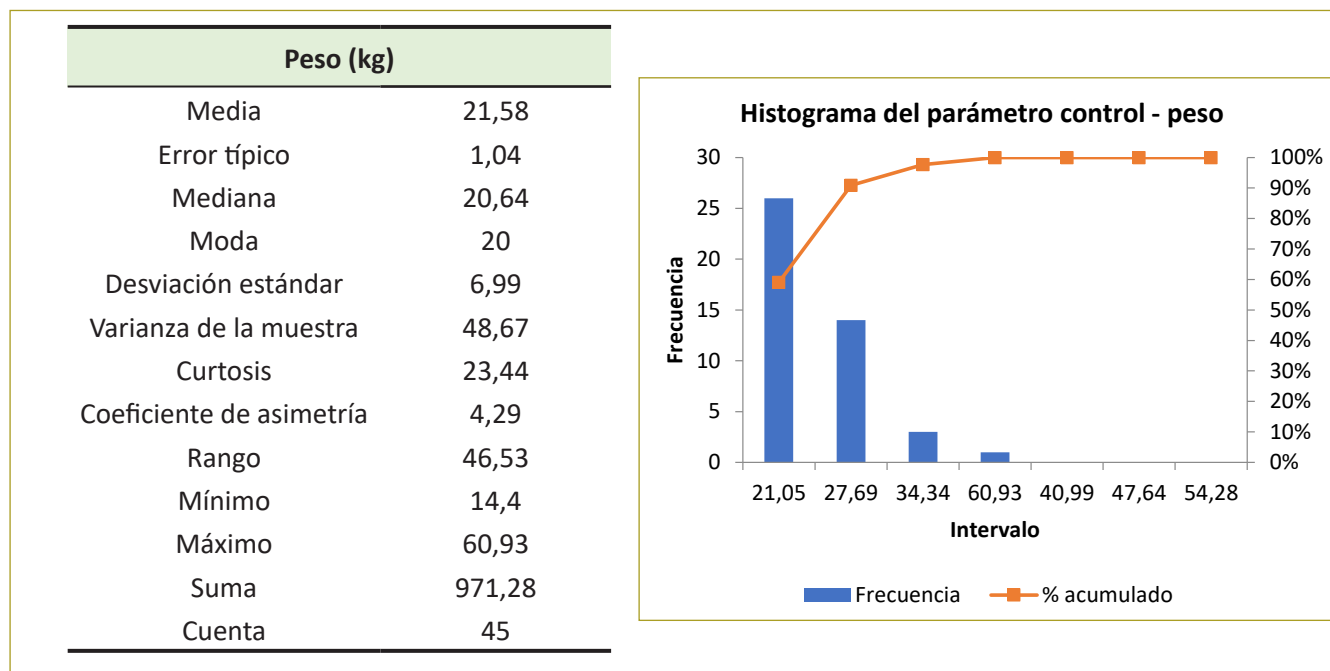


Figura 3. Análisis estadístico del peso de la bolsa de residuos.

De los 60 días trabajados, se recogieron y se transformaron residuos 45 de estos días, esto es, casi el 75 % de las labores prácticas del compostaje; se evidencia además que en promedio se entrega una bolsa que pesa alrededor de 22 kg, valor muy poco variable y muy constante durante el proyecto.

En total, se aprovechó casi una tonelada de residuos en las trece semanas que duró la fase 2, indicando los siguientes estimativos: en primer lugar, si cada bolsa pesa en promedio 22 kg y se generan en promedio tres bolsas, a diario se desperdician en la basura 66 kg de residuos orgánicos, que sumando semanalmente, sin contar sábados, se producirían alrededor de 330 kg cada semana, por lo que semestralmente se llegaría a la suma de 5280 kg de residuos, y sin considerar el periodo intersemestral, se estarían botando al relleno sanitario Doña Juana 10,6 toneladas al año; una vez gestionado este sistema en la Escuela, el proyecto pudo reducir 971,28 kg en trece semanas de trabajo, que es aproximadamente una tonelada.

Ya con los residuos cuantificados, se les hizo un seguimiento continuo de temperatura, humedad y pH a lo largo de su biodegradabilidad y maduración del compost, obteniendo los siguientes resultados:

Parámetro de control, temperatura: Este parámetro, clave para determinar el estado microbiológico en el proceso de compostaje, se midió en los sesenta días de trabajo; además de esto, se cuantificó el estado del clima; se estableció la franja horaria como mañana, mediodía y tarde, con el fin de verificar si estos valores y patrones externos tienen alguna incidencia en las mediciones que se hacen dentro del sistema de compostaje, se tomaron mediciones dentro del sistema de compostaje, donde la línea azul son los valores medidos en la parte inferior de la pila y la línea de color naranja en la parte superior de la pila.

Para efectos de mostrar los resultados del proceso que se llevó a cabo durante todo el proyecto, se tomará como ejemplo el módulo 3, del cual se cuenta con información de temperatura, pH y humedad del proceso de biodegradación y de maduración de compost. A continuación, se evidencian los registros tomados.

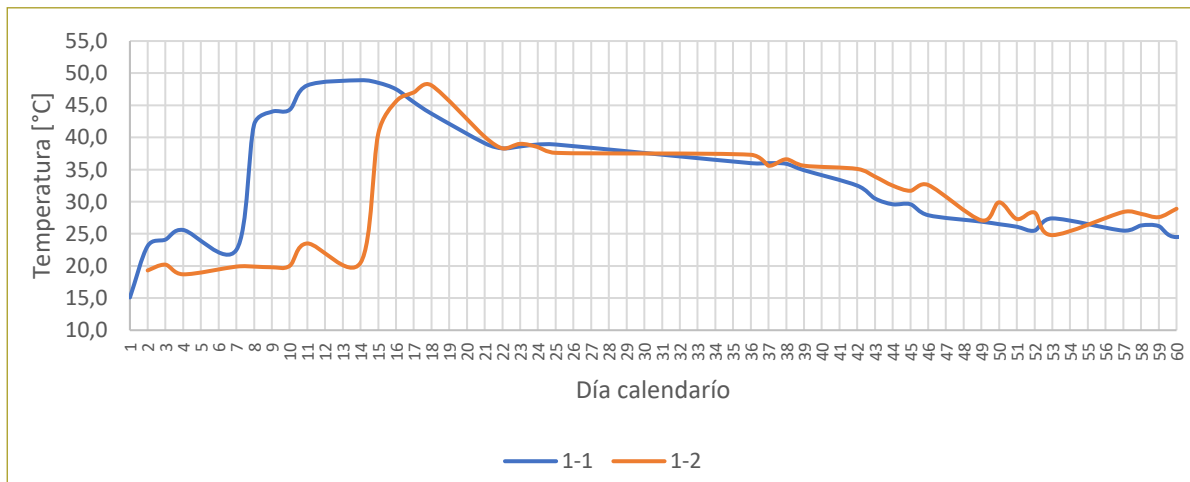


Figura 4. Temperatura del módulo 1, ciclo 1.

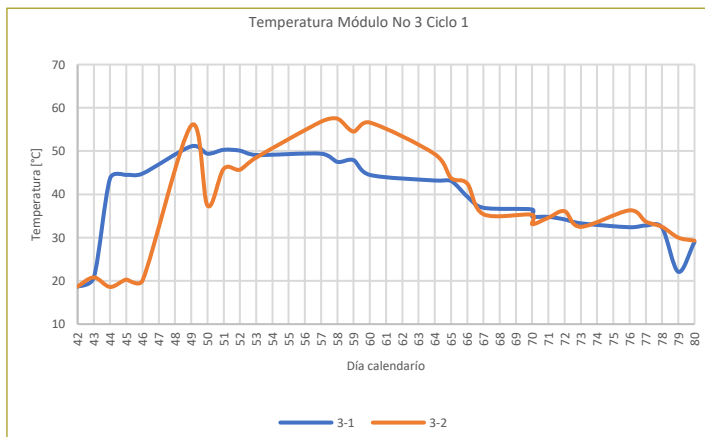


Figura 5. Temperatura en el módulo 3, ciclo 1.

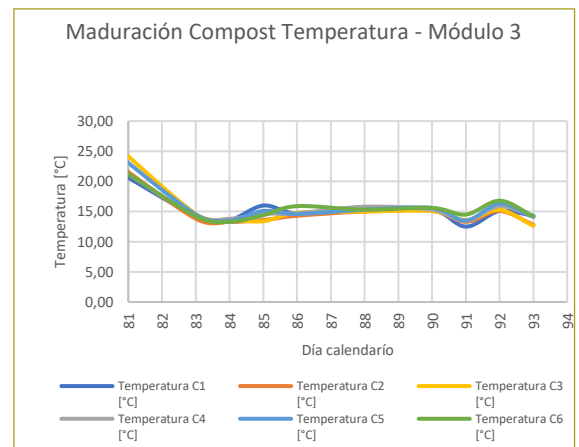


Figura 6. Temperatura del material en maduración del módulo 3.

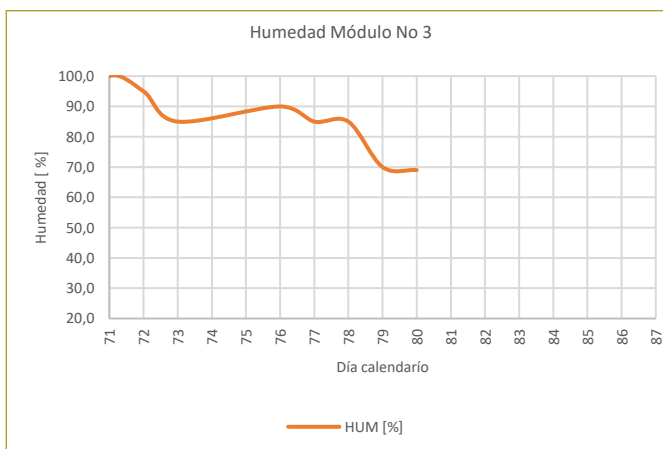


Figura 7. Humedad en módulo 3.

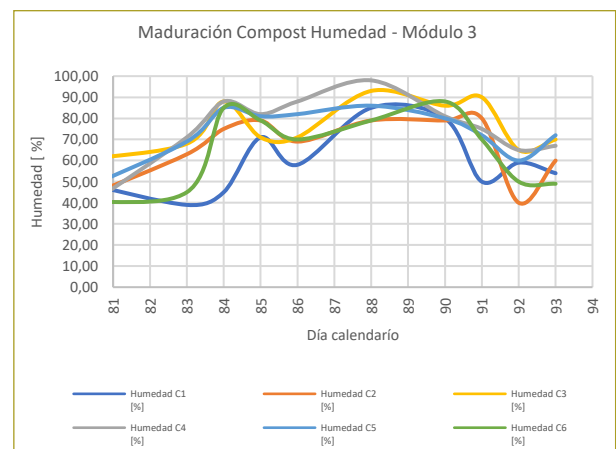


Figura 8. Temperatura del material en maduración del módulo 3.

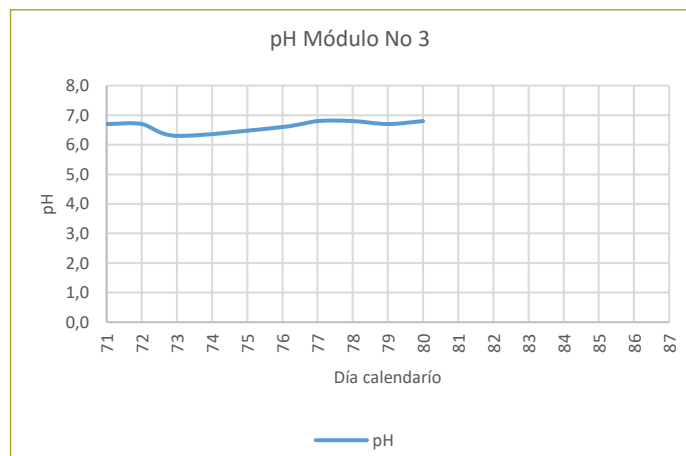


Figura 9. pH en módulo 3.

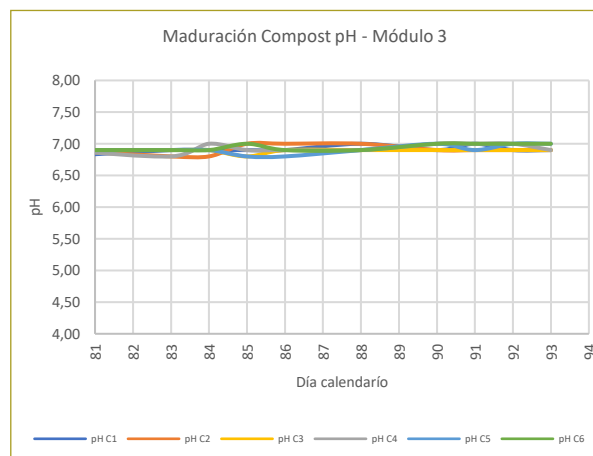


Figura 10. pH del material en maduración del módulo 3.

Como consideraciones para la interpretación de una figura (figura 6), se toma en cuenta que los datos de la línea azul hacen referencia a la temperatura de la parte inferior del módulo y los datos de la línea naranja indican la temperatura de la parte superior de esta, teniendo como variable independiente la fecha real calendario, es decir, el total de días transcurridos desde el inicio del proyecto, que en total fueron 94 días, mientras que en otras figuras se indican los valores obtenidos por canasta de compost (figuras 7, 9 y 11).

Igualmente, es posible analizar una descomposición de tipo mesófila entre 42 y 43 días, una descomposición de tipo termófila, la cual llega a picos entre 50 °C y 58 °C en un plazo de 15 a 120 días, aproximadamente, y por último, una descomposición de tipo mesófila, referente a la etapa de enfriamiento, en la que la temperatura disminuye gradualmente hasta llegar a la temperatura ambiente, cuyo plazo de descomposición se dio entre 15 y 20 días.

En cuanto a la humedad (figura 5), en los datos medidos se puede observar que esta empieza a disminuir por las altas temperaturas en el proceso de descomposición termófila y por la actividad biológica presente en la celda 3; sin embargo, debido al ambiente cerrado, a la gran cantidad de material en la celda y a la falta de una mayor aireación, la humedad no llega a valores por debajo del 50 %.

Por otro lado, está el parámetro del pH (figura 10); inicialmente, se tienen valores que tienden a ser ácidos (entre 4 y 6), a causa de la composición existente, la cual consta principalmente de frutas ácidas (naranja, limón, lulo, mora, entre otras), pero con el pasar del tiempo

y con la actividad biológica presente en la celda, el pH se estabiliza hasta el punto de llegar a la neutralidad.

En lo relacionado con la segunda etapa, correspondiente a la maduración, se muestra que la canasta 1 (C1) y la canasta 2 (C2) comienzan con temperaturas similares y experimentan un descenso hasta los días 83-84, tendiendo a un comportamiento constante en dicho periodo de tiempo en lo referente a la temperatura del material en el proceso de maduración del módulo 3 (figura 7). Posteriormente, en los días 84-86 C1 aumenta cerca de un grado, mientras que C2 disminuye medio grado. Ambas canastas muestran un leve aumento en la temperatura después del día 86, alcanzando alrededor de quince grados. En el día 91 se observa una disminución en la temperatura para ambas canastas, seguida de un incremento en el día 92, donde hay una reducción para el día 93 y C2 termina con una temperatura menor que C1. Este comportamiento de temperatura va asociado a los factores climáticos, puesto que la maduración del compost se hace al aire libre.

Así mismo, en lo que tiene que ver con los parámetros de pH y humedad, respectivamente, se puede evidenciar que el material, después de retirado de la celda, presentó un buen nivel de pH durante el tiempo de maduración para el momento en que se inició el registro de datos, alcanzando un valor alrededor de 6,9, en el cual se busca llegar a la neutralidad del compost. En cuanto a la humedad, se obtuvo una estimación final del 68 %, considerado un valor alto, lo cual se debe a las condiciones medioambientales a las cuales se somete el material (figuras 10 y 11).

Una vez cumplida la etapa de maduración, se realizó el tamizaje del compost para separar las partículas pequeñas de las más grandes, ya que estas últimas se devuelven a la celda para continuar con su proceso de descomposición; en cuanto al material que pasó el tamiz, presenta condiciones físicas y químicas óptimas para utilizarlo como fertilizante orgánico en la huerta de la Escuela (ilustración1).



Ilustración 1. Material compostado.

PROBLEMAS PRESENTADOS DURANTE LA EJECUCIÓN

Durante la ejecución del proyecto de compostaje en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (UECI), se presentaron los siguientes problemas:

- **Infraestructura insuficiente:** El lugar de gestión de residuos orgánicos es insuficiente y requiere mejoras. En particular, se recomienda construir un área más grande, implementar un sistema de recolección de lixiviados y reparar daños en la carpa, ya que en los días de lluvia el agua alcanza a mojar el compost cuando está en el proceso de maduración.
- **Composición de residuos:** Debido a la alta humedad con que se recibían los residuos orgánicos del restaurante central, se tuvo que hacer un proceso de secado al aire libre de doce horas, con el objeto de que la parte líquida de este fuera percolada y eliminada de los residuos, pues el exceso de humedad representa un problema en el tiempo de biodegradación dentro de las celdas. Al realizar este proceso se presentaron problemas de moscas, ya que eran atraídas por dichos compuestos.

- **Contaminación por hongos:** Se identificaron problemas de contaminación por hongos en el módulo 3 de la compostera, a causa de la presencia de esporas de hongos en los residuos orgánicos o en las lonas de aserrín utilizadas para cubrir la compostera. Se recomienda aplicar cal al compost para reducir la proliferación de hongos.
- **Plásticos biodegradables no biodegradables:** Se encontró que los plásticos biodegradables agregados al compost no se degradaron. Esto se debe a que dichos plásticos no están estandarizados y pueden tener diferentes propiedades de biodegradabilidad. Para mejorar la biodegradabilidad de estos elementos, se recomienda hacer investigaciones para comprender mejor sus mecanismos de degradación.
- **Vectores:** Debido a la composición de los residuos proliferaron vectores como moscas de fruta, entre otros insectos y hongos, lo que reducía la velocidad en la que se llevaban a cabo las actividades diarias.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto de compostaje en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (UECI) fue un éxito en términos de reducción de residuos orgánicos y viabilidad técnica. Sin embargo, se identificaron algunos desafíos que se deben abordar para mejorar el proceso y maximizar sus beneficios.

Logros

- Se logró reducir la cantidad de residuos orgánicos enviados al relleno sanitario Doña Juana en aproximadamente una tonelada (971,28 kg).
- Se demostró la viabilidad técnica de implementar un sistema de compostaje en la UECI.
- Se generó un espacio de aprendizaje y sensibilización sobre la importancia de la gestión de residuos.

Desafíos

- Mejorar la infraestructura del lugar de gestión de residuos orgánicos.
- Prevenir la contaminación por hongos.
- Verificar las condiciones para la biodegradabilidad de los supuestos plásticos biodegradables.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar la infraestructura del lugar, incluyendo la construcción de un área más grande, la implementación de un sistema de recolección de lixiviados y la reparación de daños en la carpa.
- Se aconseja continuar investigando para comprender mejor la proliferación de hongos y la biodegradabilidad de los plásticos biodegradables.
- Se recomienda mantener vigente el proyecto por intermedio del Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental para obtener mejores resultados.

Oportunidades de mejora

Además de los desafíos mencionados, existen oportunidades de mejora que se podrían aprovechar para optimizar el proceso de compostaje en la UECI. Estas oportunidades incluyen:

- **Mejorar la educación y la sensibilización sobre la gestión de residuos orgánicos:** Se podrían organizar campañas de concientización para que los estudiantes y la comunidad universitaria conozcan la importancia de reducir, reutilizar y reciclar.
- **Involucrar a más actores en el proyecto:** Se podría trabajar con otras entidades, como el restaurante de la UECI, el Departamento de Humanidades y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), para mejorar la gestión de residuos orgánicos en la universidad.
- **Investigar nuevos métodos de compostaje:** Se podría explorar el uso de nuevas tecnologías, para mejorar la eficiencia del proceso.

Con el abordaje de estos desafíos y oportunidades, el proyecto de compostaje en la UECI se podría convertir en un modelo de gestión sustentable de residuos orgánicos para otras universidades y organizaciones.

REFERENCIAS

Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso del compostaje*. Universidad de La Salle. doi:<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>.
Domenech, X. (1991). Química atmosférica: origen y efecto de la contaminación. En X. Domenech, *Química atmosférica: origen y efecto de la contaminación* (pp. 121-127). Miraguano, S. A.

Giridharan, R., & Emmanuel, R. (2018, julio). The impact of urban compactness, comfort strategies and energy consumption on tropical urban heat island intensity: a review. *Sustainable Cities and Society*, 40, 677-687. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717313446>.

Lesmes Posada, L. C. (2018). *Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito* [maestría en Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/927>

López Sepúlveda, C. A. (2020). *Tipos de reciclaje y separación en la fuente como métodos para disminuir el porcentaje de materiales aprovechables que llegan al relleno sanitario doña Juana en la ciudad de Bogotá*. UNAD-Ecacen. <https://repositorio.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37256/calopezse.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Molano Camargo, F. (2019). *El relleno sanitario Doña Juana, historia de un territorio y un paisaje tóxico en el sur de Bogotá*. Asociación Colombiana de Historiadores. <https://asocolhistoria.org/wp-content/uploads/2021/02/42.-MCH2019-S9-HAR.pdf#page=13>.

Moya Castillo, D. (2020). *Propuesta de reducción del efecto isla de calor urbano superficial (ICUS) en la ciudad de Curicó*. Santiago: Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181173>.

Mula, J. A. (s.f.). *Relación carbono-nitrógeno en el compost*. <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>.

Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Aracón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., . . . Zaragoza, C. (2000). Producción y gestión del compost. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*, 1-33. <https://digital.csic.es/handle/10261/16792>.

Penagos Vargas, J., Adarraga Buzón, J., Aguas Vergara, D., & Molina, E. (2011, 25 de julio). Reducción de los residuos sólidos orgánicos en Colombia por medio del compostaje líquido. *Ingeniare*, 37-44. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6579711.pdf>.
Puntocompost (s.f.). *Guía de compostaje*. <https://puntocompost.wordpress.com/productos/>.

Ramírez Aguilar, A., & Lucas Souza, L. C. (2019, septiembre). Urban form and population density: Influences on urban heat island intensities in Bogotá, Colombia. *Urban Climate*, 29(100497), 1-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100497>.

Ramírez Londoño, J. F., & Gallego Carmona, D. E. (2016). *Análisis e Implementación de un proceso de compostaje para la valorización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual industrial*. Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/1497/1/Jorge%20Fernando%20Ramirez%20L.pdf>.

Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>.

Salazar Arce, T. (2014, 12 de noviembre). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 74-84. doi: <https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.524>.

Samaniego Valle, E. (2019). *Diseño de un sistema de compostaje a partir de los residuos sólidos orgánicos del mercado central municipal del cantón Montalvo, provincia de Los Ríos*. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39717/1/Tesis-Emilio_Samaniego.pdf.

Sánchez, J. (2020, 8 de junio). *Qué son los residuos sólidos y cómo se clasifican*. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-residuos-solidos-y-como-se-clasifican-1537.html>.

Sánchez-Guevara, C., Núñez Peiró, M., & Neila González, F. (2017). Isla de calor urbana y población vulnerable. El caso de Madrid. *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions*, 545-556. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59051/Carmen%20sanchez%20guevara.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Soberón Forsberg, V. S., & Obregón Párraga, E. (2015, 7 de abril). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima metropolitana, utilizando imágenes del satélite Landsat 5TM. *Anales Científicos*, 77(1), 35-44. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>.

Somarriba Reyes, R., & Guzmán Guillén, F. (2004). *Guía de la Universidad Nacional Agraria*. <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.

Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill.