



Manual de buenas prácticas en la elaboración del compost en la Universidad

Pontificia Bolivariana

**Guía para la gestión eficiente de residuos orgánicos y el fomento de la
sostenibilidad y basura cero**

Pedro Alejandro Enciso Díaz

Proyecto realizado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Semestre de Industria

Asesor

Michael Ezequiel Gómez Rodríguez M.Sc en Ing. Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita (Enciso Díaz, 2025)

Referencia Enciso Díaz. P. A (2025). *Manual de buenas prácticas en la elaboración del compost en la Universidad Pontificia Bolivariana* [Trabajo de grado, semestre de industria].

Estilo APA 7 (2020) Universidad de Antioquia, Medellín.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi madre, a mi padre, a mi hermana. Su compañía, apoyo y amor fue indispensable en mi proceso de formación como profesional y persona.

Agradecimientos

Agradezco a mi madre por motivarme e impulsarme a salir de mi zona de confort y crecer como profesional, a mi padre por su apoyo incondicional y ser la luz y la alegría en los días más difíciles, agradezco a mi hermana por su compañía y su consejo en todo momento, todos me dieron la fortaleza necesaria para dar lo mejor de mí en esta etapa de mi vida. También le agradezco a la Universidad Pontificia Bolivariana por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar mis prácticas académicas, fortalecer mis conocimientos y seguir promoviendo la sostenibilidad ambiental y las buenas prácticas dentro de su organización. Agradezco a la Universidad de Antioquia por las herramientas y conocimientos que me permitieron completar mi formación profesional.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 9 |
| Abstract..... | 10 |
| 1. Introducción..... | 11 |
| 2. Objetivos..... | 12 |
| 2.1 Objetivo general..... | 12 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 3. Marco teórico..... | 13 |
| 3.1 Compostaje..... | 13 |
| 3.1.1. Fase Mesófila..... | 13 |
| 3.1.2. Fase Termófila o de Higienización..... | 13 |
| 3.1.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II..... | 14 |
| 3.1.4. Fase de maduración..... | 14 |
| 3.2 Aspectos Técnicos..... | 16 |
| 3.2.1 Relación Carbono-Nitrógeno Óptima..... | 16 |
| 3.2.2 Oxígeno..... | 17 |
| 3.2.3 Humedad..... | 17 |
| 3.2.4 pH..... | 19 |
| 3.2.5 Lixiviados..... | 20 |
| 4. Metodología..... | 21 |
| 4.1 Investigación Preliminar..... | 21 |
| 4.2 Trabajo de campo..... | 21 |
| 4.3 Análisis de la información..... | 22 |
| 4.4 Técnicas e instrumentos..... | 22 |
| 5. Análisis de resultados..... | 23 |
| 5.1 Descripción del área de estudio..... | 23 |
| 5.2 Material orgánico generado por la universidad..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 5.3 Diagnóstico del sistema de compostaje de la Universidad Pontificia Bolivariana | 28 |
| 5.3.1 Infraestructura actual | 28 |
| 5.3.2 Materia prima | 29 |
| 5.3.3 Procesos..... | 29 |
| 5.4 Condiciones ambientales: | 31 |
| 5.5 Aforo | 34 |
| Hojas secas | 34 |
| Residuos orgánicos aprovechados..... | 35 |
| Compost terminado | 39 |
| Cantidad de compost terminado | 42 |
| 5.6 Análisis de Factores Clave | 43 |
| Capacidad..... | 43 |
| Eficiencia..... | 43 |
| Calidad del compost | 44 |
| 5.7 Identificación de oportunidades de mejora..... | 44 |
| Factores ambientales adversos | 44 |
| Infraestructura afectada | 46 |
| 6. Conclusiones y recomendaciones..... | 48 |
| Despeje de zona aledaña a camas cubiertas..... | 50 |
| Mantenimiento de camas al aire libre..... | 51 |
| Mantenimiento del techo de composteras cubiertas | 52 |
| Enriquecimiento del compost actual. | 53 |
| 7. Referencias..... | 55 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla1. <i>Control de la aireación.</i> | 18 |
| Tabla2. <i>Control de la humedad.</i> | 19 |
| Tabla3. <i>Control de pH.</i> | 20 |
| Tabla4. <i>Establecimientos gestores de residuos orgánicos</i> | 23 |
| Tabla5. <i>Proceso semanal del compost en la UPB.</i> | 31 |
| Tabla6. <i>Peso total de cama nueva de compost.</i> | 38 |
| Tabla7. <i>Peso de compost terminado, camas cubiertas.</i> | 40 |
| Tabla8. <i>Peso compost terminado camas al aire libre</i> | 41 |
| Tabla9. <i>Valores totales de camas de compost, rendimientos</i> | 42 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura1. Temperatura en fases del compost. Fuente: (Román et al., 2013) | 15 |
| Figura2. Mapa con ubicación de bloques generadores y composteras de la UPB..... | 23 |
| Figura3. Camas de compost cubiertas y al aire libre..... | 29 |
| Figura4. Almacenamiento de material y maquina chipeadora | 30 |
| Figura5. Compost homogeneizado de camas nuevas, camas al aire libre y camas cubiertas | 33 |
| Figura6. Aforo de material compostable..... | 34 |
| Figura7. Pesaje y mezcla de material orgánico | 36 |
| Figura8. Homogeneización y control de humedad..... | 37 |
| Figura9. Aforo compost producido semanalmente. | 39 |
| Figura10. Camas cubiertas de compost afectadas por lluvia intensa. | 45 |
| Figura11. Separadores de camas al aire libre..... | 46 |
| Figura12. Techo de las composteras cubiertas..... | 47 |
| Figura13. Elaboración de canaletas para evitar encharcamiento de camas cubiertas..... | 50 |
| Figura14. Materiales de elaboración de las camas al aire libre y suelo..... | 51 |
| Figura15. Mantenimiento a techo de composteras cubiertas..... | 52 |

Siglas, acrónimos y abreviaturas

C/N: Relación carbono nitrógeno.

UPB: Universidad Pontificia Bolivariana

UdeA: Universidad de Antioquia.

L: Litros

m³: Metros Cúbicos

Resumen

✓ Este proyecto se enfoca en el diagnóstico y optimización del sistema de compostaje dentro de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, mediante la identificación de problemas y la elaboración de recomendaciones, estableciendo oportunidades para mejorar el proceso llevado actualmente y planteando como enriquecer el compost generado, contribuyendo así a la iniciativa de basura cero adoptada por la universidad. El objetivo principal de este trabajo fue realizar un aforo, una evaluación cuantitativa y cualitativa del proceso llevado a cabo en la universidad, con el fin de identificar oportunidades de mejora y optimización de su proceso según la literatura, y de esta manera generar un manual de buenas prácticas con el fin de estandarizar el proceso actual, contribuyendo así a la reducción de residuos, la mejora del compost generado actualmente y la sostenibilidad ambiental. La metodología incluye una revisión de las composteras y su manejo, analizar si están en condiciones óptimas, los insumos utilizados, y el proceso implementado, además desarrollar un plan para maximizar la eficiencia y calidad de la producción de compost actual. Donde ingresan mensualmente 980,8 kg y 2,64 m³ a las camas cubiertas, y a las camas al aire libre respectivamente. Por lo que la cantidad total de residuos orgánicos que mensualmente ingresan a las camas de compost es de 1961,6 kg en peso, y 5,28 m³ en volumen, de los cuales el 90% son hojas secas junto con restos de poda y el 10% pertenece a residuos de frutas. Debido al análisis se pudo determinar que en las camas al aire libre existe una mayor tasa de descomposición y compostaje, teniendo una reducción del 27% del material que ingresa, a diferencia de las camas cubiertas, cuya reducción es apenas del 17% del material total ingresado, en volumen.

Palabras clave: Compost, residuos orgánicos, lixiviados, descomposición, abono, sostenibilidad.

Abstract

This project focuses on the diagnosis and optimization of the composting system at the Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín campus. It aims to identify issues, develop recommendations, and establish opportunities to improve the current process while enhancing the quality of the compost produced. This contributes to the university's zero-waste initiative. The main objective of this study was to conduct a quantitative and qualitative assessment of the composting process at the university to identify opportunities for improvement and optimization based on existing literature. As a result, a best practices manual was developed to standardize the current process, reduce waste, improve the quality of the compost, and promote environmental sustainability. The methodology includes reviewing the compost piles and their management, assessing whether they are in optimal conditions, analyzing the inputs used, and evaluating the implemented process. Additionally, a plan was developed to maximize the efficiency and quality of the current compost production. Monthly, 980,8 kg and 2,64 m³ of organic material are added to the covered piles and open-air piles, respectively. The total amount of organic waste entering the compost piles monthly is 1.961,6 kg by weight and 5,28 m³ by volume, 90% of which consists of dry leaves and pruning waste, while 10% is fruit residues. The analysis revealed that open-air piles have a higher decomposition and composting rate, with a 27% reduction in material volume compared to covered piles, which achieve only a 17% reduction in the total volume of material processed

Keywords: Compost, organic waste, leachate, decomposition, fertilizer, sustainability.

1. Introducción

La implementación de prácticas que promuevan el reciclaje y la reducción de residuos es esencial en este contexto global actual. El compostaje se ha consolidado como una de las prácticas más efectivas para la gestión sostenible de los residuos orgánicos. Esta técnica no solo permite reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos, sino que también contribuye a la creación del compost, un abono natural que mejora la calidad del suelo y reduce la dependencia de fertilizantes químicos (Luna, L. & Bolaños, M. 2007). Este proyecto surge como respuesta a la necesidad de mejorar la gestión de residuos orgánicos dentro de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, realizando la evaluación y optimización del sistema de compostaje actual de la universidad. Si bien en la universidad existe el programa basura cero, lo que significa que se aprovechan más del 80% de los residuos totales, existe aún una baja gestión de los residuos orgánicos producidos, por lo que el diagnóstico y la implementación de esta iniciativa es vital para seguir contribuyendo al sistema de basura cero y a la reducción de desechos de la organización y producción de abono de alta calidad. El objetivo principal de este trabajo es evaluar las técnicas actuales usadas en el proceso ya implementado e identificar que oportunidades de mejora existen por medio de la creación de un manual que permita proporcionar unas mejores prácticas así optimizar y mejorar la transformación de residuos orgánicos en un compost de más alta calidad, reduciendo el impacto ambiental y cerrando el ciclo de parte importante de los orgánicos en la organización. Además de establecer cuál es la mejor mezcla para una descomposición efectiva de según los residuos generados en la organización propendiendo una buena relación carbono nitrógeno e igualmente evitar la propagación de vectores y roedores. Para llevarlo a cabo se desarrolló una evaluación del contexto actual, se conocieron los puntos, y la cantidad de residuos orgánicos generados además de su naturaleza, asimismo se realizó también un plan que incluye capacitación, monitoreo y ajustes continuos en el proceso de compostaje.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el contexto actual de la gestión de residuos orgánicos en la Universidad Pontificia Bolivariana, realizando un diagnóstico del manejo actual realizado en la organización, identificando los puntos de mayor generación y oportunidades de mejora en el proceso.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Establecer un aforo de los insumos utilizados actualmente en el proceso de compostaje de la universidad y realizar entrevistas al personal encargado del manejo del sistema de compostaje de la universidad para conocer a fondo cual es el proceso detallado que es implementado en las composteras semanalmente por el programa de la universidad.
- ✓ Hacer una revisión de la producción de compost actual en la universidad para evaluar su proceso, calidad y reducción a 12 semanas, que es el tiempo en el que la universidad trabaja el sistema de pilas.
- ✓ Identificar las técnicas de mejoramiento y optimización más adecuadas de compostaje que se ajusten a las necesidades y condiciones de la universidad, garantizando la correcta descomposición de los residuos orgánicos y su mejoramiento.
- ✓ Definir indicadores de seguimiento y evaluación del proceso de compostaje, que permitan medir la eficacia de las prácticas implementadas y los beneficios ambientales obtenidos.
- ✓ Desarrollar un manual de buenas prácticas para el compostaje en la Universidad Pontificia Bolivariana, para transformar parte de sus residuos orgánicos en compost de alta calidad, contribuyendo a la reducción de desechos, al fortalecimiento y mejoramiento de las prácticas ya implementadas y fortalecer su sistema de gestión basura cero.

3. Marco teórico

3.1 Compostaje

Se llama compostaje a la técnica realizada en condiciones particulares de humedad, aireación, temperatura, bajo la acción de ciertos microorganismos, para la transformación y la estabilización de residuos orgánicos biodegradables en un producto final llamado compost, que según su contenido de nutrientes puede ser un abono de buena calidad (Luna, L. & Bolaños, M. 2007).

Este proceso permite la reducción significativa de residuos en instituciones y ciudades, realizando así un aporte significativo al medio ambiente, mitigando la contaminación en áreas destinadas a la disposición de residuos, tales como los rellenos sanitarios, que generan vectores y agentes tóxicos importantes para las matrices de aire, suelo y agua. El compostaje es una opción integral y sostenible que hace parte del modelo de economía circular, donde los residuos sirven de materia prima para producir compost rico en nutrientes que puede ser utilizado en la fertilización de suelos para la agricultura, creando así un ciclo cerrado que reduce considerablemente los impactos ambientales.

Según (Román et al., 2013) el compostaje se da en cuatro fases importantes durante su producción.

3.1.1. Fase Mesófila.

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días e incluso en horas, la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

3.1.2. Fase Termófila o de Higienización.

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias son reemplazados en su mayoría por bacterias termófilas, que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros

compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

3.1.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II.

Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista.

Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino.

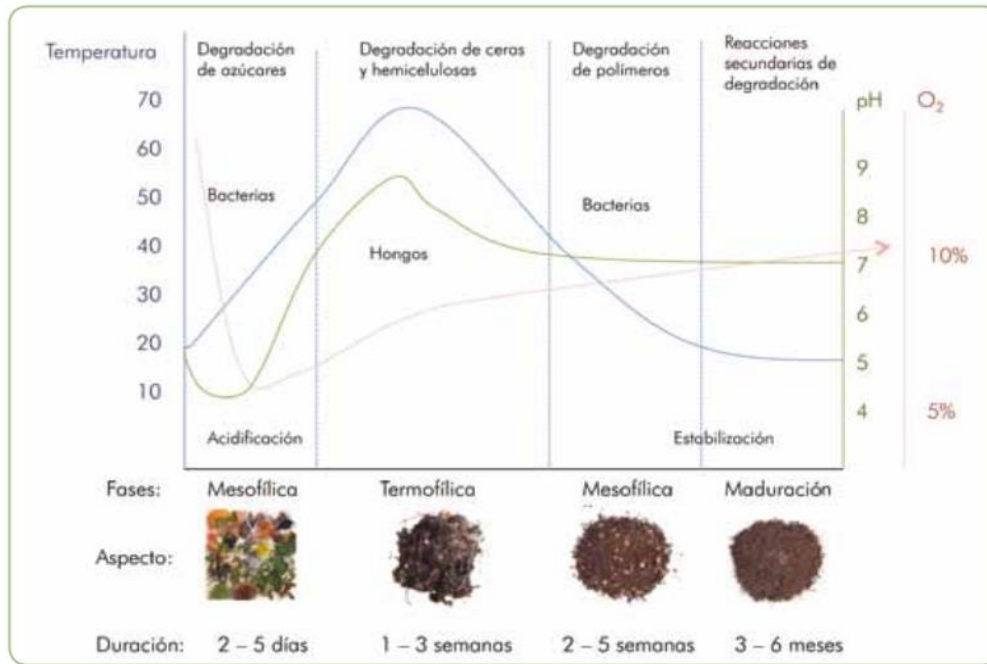
Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

3.1.4. Fase de maduración.

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Figura 1.

Temperatura en fases del compost. Fuente: (Román et al., 2013)



Fuente: (Román et al., 2013)

El compostaje al ser un proceso físico químico, debe cumplir ciertas condiciones medioambientales y estándares para que este se produzca, y se dé de manera adecuada sin verse afectado en ninguna de las fases de su proceso.

De acuerdo con los lineamientos propuestos por Luna y Bolaños (2007), se recomienda que el sitio de compostaje cumpla con varias condiciones estratégicas para optimizar el proceso. En primer lugar, se debe seleccionar una ubicación que esté suficientemente alejada de áreas residenciales y cercana a la fuente de los residuos, reduciendo así costos y problemas logísticos. Es importante que la zona tenga acceso a fuentes de agua limpia para mantener la humedad adecuada en el material compostable y a una vía de acceso que facilite el transporte de los residuos.

Para evitar riesgos ambientales, el área de compostaje debería estar apartada de cuerpos de agua como quebradas y ríos, protegiéndose de la lluvia intensa para evitar una humedad excesiva que pueda ralentizar el proceso y reducir la calidad del compost final. La presencia de vegetación circundante,

especialmente de árboles, es beneficiosa, pues estos actúan como barrera contra la radiación solar directa, manteniendo un ambiente favorable para la actividad microbiana y ayudando a mitigar la emisión de gases como el metano y el dióxido de carbono. Además, debe evitarse el riesgo de inundación para prevenir pérdidas de nutrientes y la dispersión del compost. Finalmente, el espacio destinado al compostaje debe ser amplio para garantizar una disposición adecuada y ordenada de los residuos durante todo el proceso. (L. Luna & M. Bolaños, 2007)

3.2 Aspectos Técnicos.

Existen factores técnicos y físicos importantes en la elaboración del compost que deben ser evaluados para corroborar que se está desarrollando óptimamente, los cuales son presentados a continuación.

3.2.1 Relación Carbono-Nitrógeno Óptima

Es el factor químico más importante en el proceso de compostaje, es la cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material (Román et al., 2013).

La relación C/N (Carbono: Nitrógeno) óptima **inicial** de los residuos orgánicos es de 35/1 a 40/1, para que al final cuando el compost está maduro (listo para ser usado como abono) este entre 20/1 a 25/1, para asegurar una mineralización de la materia orgánica y eficiente aprovechamiento del nitrógeno. (Luna, L. & Bolaños, M. 2007) Es importante considerar que en condiciones de clima frío y frío moderado se sugiere considerar relaciones C/N cercanas a 35/1, mientras que para clima medio y cálido es recomendable seleccionar residuos orgánicos con relaciones de 40/1, debido a que el proceso de mineralización de materia orgánica es más rápido en climas cálidos. (Luna, L. & Bolaños, M. 2007)

Es importante destacar que, al mezclar residuos orgánicos, cada uno posee diferente relación C/N y que de esta depende la velocidad para su transformación y calidad del abono.

Busajim, G (2023) realizó una compilación internacional acerca de las relaciones C/N de diferentes materiales compostables para así, tener una referencia más sólida a la hora de elaborar un compost que estuviera en un rango C/N inicial adecuado. Estos datos recopilados pueden encontrarse en el material complementario del manual.

Así mismo, para determinar una relación adecuada de C/N se puede utilizar una fórmula diseñada por Busajim, G (2023):

$$R = \frac{CN1 \times Q1 + CN2 \times Q2 + CN3 \times Q3 + \dots + CNn \times Qn}{(Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn)}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable.

Q = cantidad de material adicionada.

CN = Relación Carbono-Nitrógeno del material.

Esta fórmula permite asegurar que la relación de Carbono/Nitrógeno total de la mezcla a emplear se encuentre en los rangos adecuados para el proceso de compost y este se desarrolle óptimamente.

Además de esta relación existen otros factores físicos importantes para la producción del compost tales como el oxígeno, la humedad.(Román et al., 2013).

3.2.2 Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (Román et al., 2013).

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua (Román et al., 2013).

3.2.3 Humedad

La humedad es uno de los factores clave en el proceso de compostaje porque permite que los microorganismos encargados de la descomposición se mantengan activos y eficientes. Estos organismos, como bacterias y hongos,

necesitan agua para vivir, consumir los materiales orgánicos y generar el calor necesario para el desarrollo de las fases del compostaje.

De acuerdo con Bejarano, E. & Delgadillo, S. (2007) la humedad debe mantenerse entre el 40 y 60%. Para realizar control de la humedad de la compostera se puede realizar la técnica del puño cerrado. La técnica de puño cerrado consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped)(Román et al., 2013).

Para observar tangiblemente que sucede con el compost en diferentes condiciones de oxígeno y humedad, además del procedimiento a realizar en diferentes problemas que pudiesen ocurrir relacionado con estos aspectos, se recurre a las tablas realizadas por Román et al. (2013).

Tabla1.

Control de la aireación.

| Porcentaje de aireación | Causas Asociadas | | Soluciones |
|-------------------------|------------------|---|---|
| < 5% | Baja aireación | Insuficiente evaporación de agua generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. | Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación. |
| 5% -15% Rango ideal | | | |
| > 15% | Exceso aireación | Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. | Picado de material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros). |

Fuente: (Román et al., 2013)

Tabla2.

Control de la humedad.

| Porcentaje de humedad | Causas Asociadas | | Soluciones |
|-----------------------|----------------------|--|---|
| <45% | Humedad insuficiente | Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos | Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros). |
| 45% -60% Rango ideal | | | |
| > 60% | Oxígeno Insuficiente | Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis. | Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas. |

Fuente: (Román et al., 2013)

Para garantizar un desarrollo óptimo y adecuado del compost se deben evaluar los factores físicos evaluados anteriormente, igualmente se recomienda también para controlar estos aspectos realizar un volteo de las composteras, que es re mezclar su contenido para que puedan homogeneizar sus propiedades.

Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas, de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (Román et al., 2013).

3.2.4 pH

Según la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (2020) el pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. El pH afecta la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas, cuyo crecimiento y desarrollo se pueden ver reducidos bajo condiciones de acidez y basicidad extrema, de ahí la importancia del control del proceso para lograr en el compost maduro valores cercanos a la neutralidad, es decir, con pH cercano a 7. Un factor a tener en cuenta es que algunas materias primas pueden aumentar el pH (residuos del procesado de papel, cenizas), y otras disminuirlo (residuos de comida). Por otro

lado, la producción de ácidos orgánicos y las condiciones anaeróbicas (ausencia de aire) pueden producir pH < 4,5 limitando la actividad microbiana.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2. (Román et al., 2013)

Así mismo Román et al. (2013) proporciona una tabla que permite controlar los rangos de pH, según las condiciones del sistema.

Tabla3.

Control de pH.

| pH | Causas Asociadas | | Soluciones |
|-----------------------|----------------------------|---|--|
| < 4,5 | Exceso de ácidos orgánicos | Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio. | Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N. |
| 4,5 - 8,5 Rango ideal | | | |
| > 8,5 | Exceso de nitrógeno | Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio. | Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de podo, hojas secas, aserrín) |

Fuente: (Román et al., 2013)

3.2.5 Lixiviados

Corresponde al agua que drena, por la sobresaturación (exceso de humedad) del material, durante el proceso de compostaje, este exceso de agua, sale del compost y puede ser colectado, contiene también nutrientes solubles y algunos microorganismos. Sin embargo, cuando el compost tiene exceso de agua, y aún está inmaduro, se generan zonas anaeróbicas, donde se producen compuestos como azúcares que pueden dar lugar a ácidos y otros compuestos que pueden resultar tóxicos para las plantas (fitotóxicos). Cuando el lixiviado procede de compost fresco, generalmente el líquido tiene aspecto oscuro, pH ácido y tiene mal olor (Román et al., 2013).

4. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se decidió emplear un enfoque mixto, ya que este enfoque proporciona un balance entre la recolección de datos cuantitativos para medir el rendimiento del sistema y la información cualitativa para comprender los factores humanos y organizacionales que afectan su funcionamiento.

El enfoque cualitativo permitirá analizar las prácticas actuales de la universidad mediante la observación directa y entrevistas al personal encargado del proceso, con el fin de identificar oportunidades de mejora y optimización. Por su parte, el enfoque cuantitativo facilitará el registro detallado de los insumos que la universidad gestiona, proporcionando una base sólida para evaluar el estado actual del sistema. A partir del diagnóstico obtenido, se definirán las posibles mejoras y, finalmente, se elaborará un manual de buenas prácticas que optimice el proceso.

4.1 Investigación Preliminar

Se realizó una revisión exhaustiva de literatura en la que se evidenciaron los buenos procesos, prácticas e insumos que debe tener una compostera para obtener compost de buena calidad y así reducir los residuos orgánicos eficientemente por el método de pilas. Los principales resultados de esta revisión fueron resueltos en la sección del marco teórico.

4.2 Trabajo de campo

- Se estableció un aforo de los insumos utilizados actualmente en el proceso de compostaje de la universidad y se realizaron entrevistas al personal encargado del manejo del sistema de compostaje de la universidad para conocer a fondo cual es el proceso detallado que es implementado en las composteras semanalmente por el programa de la universidad.
- Se estableció un aforo de la cantidad de residuos orgánicos producidos por las cafeterías y restaurantes de la universidad y se estableció un promedio mensual por medio de los registros otorgados por los gestores de residuos orgánicos en la universidad y de esta manera se obtuvo un indicador fidedigno de las cantidades totales de la generación en la universidad, además se procedió a evaluar si es posible una implementación de estos, por su composición y cantidad, y de qué manera se haría.

- Se realizó una revisión de la producción de compost actual en la universidad para evaluar su proceso, calidad y reducción de los insumos a 12 semanas que es como la universidad trabaja el sistema de pilas.

4.3 Análisis de la información.

Con la información recolectada y las oportunidades de mejora identificadas se establecieron y se plantearon buenas prácticas y optimizaciones que se pueden aplicar al sistema actual.

4.4 Técnicas e instrumentos

Redacción: Se hizo uso de herramientas ofimáticas (Word o Google Docs.) para redactar y darle forma al diagnóstico y al manual.

Diseño: Se incluyeron imágenes, tablas y gráficos para ilustrar el proceso de compostaje, y se hizo uso de herramientas y software de diseño para agregar elementos visuales como mapas e ilustraciones.

Análisis de mejores prácticas: Se estableció un análisis comparativo entre las prácticas actuales y las recomendaciones de las normativas o literatura. Se establecieron recomendaciones con base a las oportunidades de mejora encontradas en el proceso.

Socialización del manual: Se socializo el manual, las buenas prácticas y las oportunidades de mejora encontradas con el personal encargado de este proceso.

5. Análisis de resultados

5.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio comprende las cafeterías y restaurantes del campus de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), junto con la zona de compostaje (ver Figura 2). Cada cafetería y restaurante cuenta con un gestor individual encargado de recolectar y disponer los residuos orgánicos generados. Aunque actualmente estos residuos no se trasladan a las camas de compost disponibles en el campus, el proyecto busca evaluar su naturaleza para determinar si pueden ser aprovechados internamente mediante procesos de compostaje. Esta evaluación es fundamental para proponer mejoras en la gestión de los residuos, optimizando su aprovechamiento, alineando y enriqueciendo los objetivos de sostenibilidad y educación ambiental de la UPB, y promoviendo un modelo más eficiente y autosuficiente en el manejo de residuos.

Los bloques poseen diferentes establecimientos que prestan el servicio de restaurantes y cafeterías ubicados de la siguiente manera:

Tabla4.

Establecimientos gestores de residuos orgánicos

| Bloque | Establecimientos |
|-----------|---|
| Bloque 4 | Cafetería y restaurante estudiantil |
| Bloque 10 | Pimiento's |
| Bloque 11 | Café Fórum / Bigo's |
| Bloque 19 | Colanta / Laboratorio de café / Montana Serviexpress / De Lolita / Taco Factory |
| Bloque 12 | Cafetería-Restaurante Diverso |

Fuente: Elaboración propia.

Figura2.

Mapa con ubicación de bloques generadores y composteras de la UPB.



Fuente: Elaboración Propia

5.2 Material orgánico generado por la universidad.

Para calcular el promedio mensual de residuos orgánicos generados por las cafeterías y restaurantes de la universidad, se realizó una inspección sanitaria, donde además de otras consideraciones se solicitaron los últimos de los certificados del gestor que dispone de sus residuos orgánicos, debido a que cada una de ellas debe contar con un gestor especializado para estos tipos de residuos. Posteriormente, por medio de los certificados que se obtuvieron, se determinó un promedio diario para cada generador, dado que para cada uno existen distintos periodos de recolección en distintos tiempos, por lo que se decidió establecer este promedio dividiendo la cantidad de residuos generados entre

los días correspondientes al periodo. Luego, se calculó un promedio diario ponderado para cada generador, ajustando cada promedio previamente calculado, según el número de días que abarcaba cada periodo, de manera que los periodos más largos tuvieran mayor peso en el cálculo. Finalmente, este promedio diario ponderado se multiplicó por 30 días para obtener la estimación mensual total. Se decidió establecer este método, ya que toma en cuenta tanto las variaciones en la duración de los periodos de recolección, como las cantidades de residuos generados en cada uno de ellos, logrando así una representación precisa y equilibrada de la producción mensual para cada generador. Las ecuaciones utilizadas en este calculo son explicadas a continuación:

Para un generador i , con un periodo de recolección específico:

$$\text{Promedio Diario} = \frac{\text{Cantidad total de residuos generados en el periodo}}{\text{Duración del periodo (En días)}}$$

Cantidad total de residuos generados en el periodo está dado por los certificados del gestor.

Duración del periodo es el número de días que abarca dicho periodo.

Dado que cada generador i tiene varios periodos de recolección con diferentes duraciones y cantidades generadas, se calcula un promedio diario ponderado que toma en cuenta la duración de cada periodo.

$$\text{Promedio diario ponderado} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (\text{Promedio diario del periodo } j \times \text{Duración del periodo } j)}{\sum_{j=1}^{n_i} \text{Duración del periodo } j}$$

n_i : Número de periodos de recolección registrados para el generador i .

Promedio diario del periodo j : Promedio diario calculado para el periodo j .

Duración del periodo j : Días del periodo j .

Para cada generador i , el promedio diario ponderado se multiplica por 30 días para estimar la cantidad mensual:

$$\text{Estimación mensual total} = \text{Promedio diario ponderado} \times 30$$

Así para cada uno de los generadores se obtuvieron los siguientes resultados:

Bloque 4:

Cafetería y restaurante infantil.

Los concesionarios administrados por serviexpress del bloque 4 no poseen certificado de gestor de residuos orgánicos, debido a que estos residuos son acopiados por estos concesionarios en Montana Serviexpress del bloque 19 todos los días, por lo que Montana posee la cantidad total gestionada y los certificados dados por el gestor.

Bloque 10:

Pimiento's

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio diario ponderado de tres registros, del 1 al 31 de agosto, del 4 al 28 de septiembre, y del 13 al 25 de julio.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **3,3 kg** y un promedio mensual de **100,2 kg**.

Bloque 11:

Café Fórum

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un ponderado diario con 4 registros existentes, del 25 de abril al 18 de mayo, del 22 de julio al 21 de agosto, del 24 de junio al 18 de julio y del 23 de mayo al 8 de junio.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **5,8 kg** y un promedio mensual de **174,2 kg**.

Bigos

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio diario ponderado de 5 registros obtenidos durante registros semanales durante 15 días. Del 30 de octubre al 14 de noviembre.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **17,3 kg** y un promedio mensual de **519,1kg**.

Bloque 19:

Colanta

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio ponderado diario de dos registros, uno del 3 al 27 de abril, y otro del 3 al 28 de junio.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **2,9 kg** y un promedio mensual de **89,2 kg**.

Montana Serviexpress

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio ponderado de 3 registros; del 11 al 25 de julio, 1 al 30 de septiembre, 4 de septiembre al 12 de octubre. Es importante resaltar que este restaurante también acopia los residuos provenientes de las cafeterías y los restaurantes estudiantes del bloque 4 y 5.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **8,1 kg** y un promedio mensual de **244,3 kg**.

De Lolita

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio diario ponderado de una recolección semanal durante 5 semanas. Del 3 al 31 de octubre.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **2,1 kg** y un promedio mensual de **64,7 kg**.

Taco Factory

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio diario ponderado de 2 registros semanales durante 1 mes. Del 12 de octubre, al 9 de noviembre.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **8,95 kg** y un promedio mensual de **268,5 kg**.

Bloque 12:

Cafetería-Restaurante Diverso.

Para establecer el promedio mensual de este generador, se realizó un promedio diario ponderado de tres registros, del 30 de abril al 8 de junio, del 21 de julio al 12 de agosto y del 26 de sept al 21 de octubre.

Obteniendo así un promedio diario ponderado de **15,7 kg** y un promedio mensual de **473,3 kg**.

Finalmente, ya habiendo obtenido todos los promedios mensuales, estos se sumaron y se estableció un promedio mensual total de generación de residuos orgánicos para la universidad de **1933,76 kg**.

5.3 Diagnóstico del sistema de compostaje de la Universidad Pontificia Bolivariana

El objetivo principal del diagnóstico fue evaluar las condiciones actuales del proceso de compostaje en la Universidad Pontificia Bolivariana determinando así su eficiencia y posibles mejoras.

5.3.1 Infraestructura actual

En el proceso de compostaje actualmente la universidad cuenta con 23 camas que dispone para la generación de compost y descomposición de materia orgánica, 12 de ellas están techadas en lámina de aluminio y 11 de ellas se encuentran al aire libre en un área con cobertura vegetal, pueden ser observadas en la Figura 3. Las camas se encuentran localizadas detrás del acopio central de la universidad. Las camas cubiertas están separadas por paredes de cemento que permiten una división adecuada de cada una de ellas, cuyas dimensiones son: 223 cm de largo, 150 cm de ancho y 78 cm de alto. Obteniendo una capacidad aproximada de 2,6 m³ por cama, para un total de 31,2 m³ de capacidad en las camas cubiertas. Así mismo las composteras al aire libre están construidas con materiales reciclados tales como paneles de metal o plástico y tableros de plástico que ya no se usan, con unas dimensiones de: 230 cm de ancho, 140 cm de largo, y 75 cm de alto, aunque debido a su construcción no uniforme las dimensiones pueden variar. De esta manera se concluye que estas composteras poseen una capacidad de 2,4 m³ por cama, y una capacidad total de 26,5 m³ de capacidad en las camas al aire libre. De esta manera se establece un total de **57,7 m³** en capacidad de volumen para la elaboración de compost en la universidad.

Figura3.

Camas de compost cubiertas y al aire libre



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Materia prima

En la valoración de la materia prima se determinaron los tipos de residuos que ingresan al sistema de compostaje tales como orgánicos, residuos verdes, entre otros.

Los residuos que principalmente son aprovechados por la universidad son los residuos generados por Jardinería, tales como hojas secas y ramas pequeñas, recolectados por el personal de servicios generales semanalmente, además del aserrín generado en la carpintería y residuos orgánicos provenientes del laboratorio de vinos y licores, que son principalmente cáscaras, bagazo de cebada y residuos de frutas, sumado a los residuos semanales de un puesto de mangos “Cevi Mango” el cual aporta cáscaras y residuos de frutas.

5.3.3 Procesos

En la evaluación de los procesos utilizados se identificaron los métodos usados para manejar el compost, frecuencia de volteo, tiempos de descomposición.

En la universidad constantemente se realiza proceso de barrido de material vegetal, rocería y poda en su eco-campus, lo que genera una gran cantidad de material vegetal que se dispone en el acopio, donde se disponen los residuos de todo el campus. Los residuos vegetales tales como grama y ramas muy grandes son recuperados por un gestor llamado BIOCICLO que realiza el tratamiento de residuos orgánicos, esto además de los residuos de jardinería. Después de esta recolección suele quedar una cantidad variable de residuos vegetales, los cuales son pre seleccionados y triturados semanalmente con una máquina chipeadora y dispuestos en una zona especial del acopio que está cubierta y permite su depósito, el material principal que se utiliza en la elaboración del compost son hojas secas y ramas pequeñas recogidas durante la semana. Se tritura este material para disminuir el tamaño de partícula, facilitar la actividad microbiana y su almacenamiento.

Figura4.

Almacenamiento de material y maquina chipeadora



Fuente: Elaboración propia.

En la universidad se realiza semanalmente un volteo de las camas de compost, donde la doceava cama posee el material compostado terminado que es dispuesto por el personal de jardinería abono en árboles y jardines del eco campus, dejando una cama vacía, que ocupará la cama once que viene de la semana anterior, la cama diez, ocupa la once y así sucesivamente hasta dejar la primera cama vacía para que pueda ser ocupada por una nueva mezcla de los

residuos orgánicos preparados previamente. Si el personal de jardinería no hace uso de las camas finales de compost, estas se disponen a un lado de la cama 11 de las camas al aire libre para que el material se siga compostando y cuando se necesite, este sea utilizado. La siguiente tabla muestra el proceso Diario semanal del compostaje.

Tabla5.

Proceso semanal del compost en la UPB.

| Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes |
|---|---|---|---|---|
| Selección y triturado de material vegetal | Selección y triturado de material vegetal | Volteo y control de composteras cubiertas | Volteo y control de composteras al aire libre | Mezcla y llenado de pila 1 de composteras cubiertas y al aire libre |

Fuente: Elaboración propia

El personal dispone de un contenedor de 110 L, el cual llena por completo del material vegetal ya triturado y lo dispone en la primera cama, mezclado con los residuos orgánicos que se producen semanalmente del laboratorio de vinos y licores, y el puesto de CeviMango, este proceso se realiza 6 veces para tener una cama completa. Esto se realiza todos los viernes para la primera cama de las composteras cubiertas, y la primera cama al aire libre.

Para conocer qué cantidades utiliza la universidad en el proceso de compostaje se realizó un aforo descrito a continuación.

5.4 Condiciones ambientales:

Humedad y exposición a la luz solar

Para controlar la humedad, la excesiva evaporación durante los meses de verano, o la excesiva humedad en épocas de lluvia, 12 composteras están cubiertas y protegidas por una lámina de metal, las otras 11 están al aire libre en una zona donde hay bastantes árboles, que protegen de la luz solar directa, pero no de la lluvia como puede ser

observado en la *Figura 1* y *Figura 2*. El control de la humedad en las composteras de la universidad se realiza por medio del método del puño, la cual fue mencionada en la sección 3.2.3. que es una técnica conocida y eficaz para determinar la cantidad de agua existente en las pilas, la persona encargada está capacitada y conoce el método, que aplica en cada cama del compost semanalmente al realizar el volteo para así determinar y optimizar a la cantidad adecuada de la misma, agregando agua si la pila se encuentra muy seca, o más residuos de jardinería chipeados en la pila si se encuentra muy húmedo hasta encontrar el punto óptimo.

Calidad del aire.

Como se observa en la *Figura 2* las composteras se encuentran en una zona considerablemente alejada de cualquiera de los bloques del campus, del personal e igualmente están dispuestas en una zona abierta que permite un flujo de aire constante, por lo que se evitan al mínimo los olores ofensivos que puedan afectar las actividades cotidianas de las personas en la universidad. Igualmente, la aireación individual de las pilas se da en el volteo y cambio de camas semanalmente propiciando el flujo de oxígeno adecuado para el proceso de los microorganismos. Al trabajar con una poca cantidad de residuos orgánicos, todas las pilas desprenden un olor a tierra muy agradable.

Recursos humanos

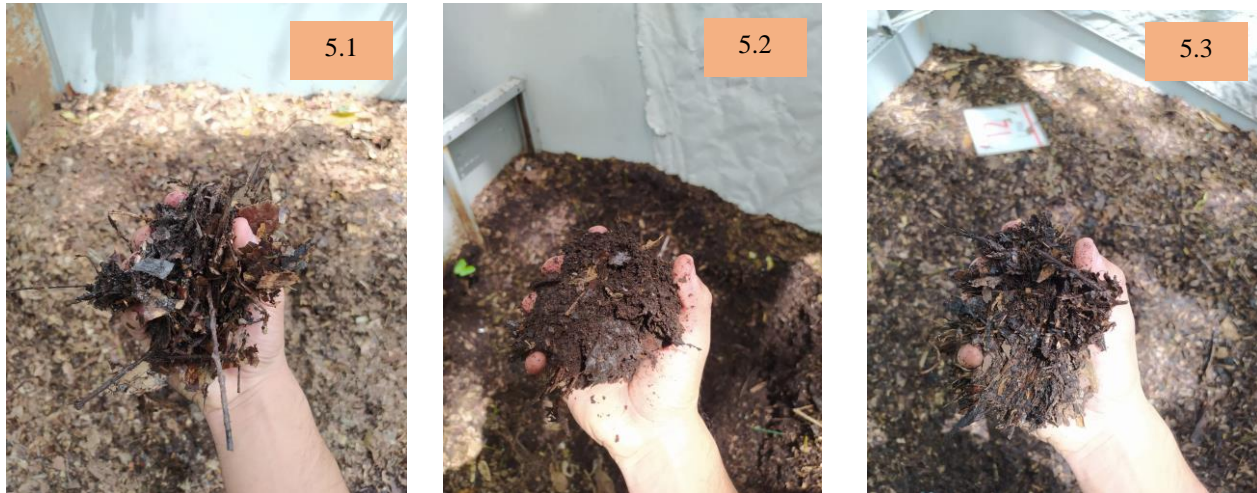
En cuanto a las labores de mantenimiento y gestión del compost, la actividad de volteo semanal es realizada por un único operario asignado, que también es el encargado del acopio central de la universidad. Esta persona es la responsable de asegurar el desarrollo adecuado de compostaje mediante la mezcla de residuos orgánicos, el volteo periódico semanal, y el control de las condiciones ambientales de las pilas contribuyendo a la eficiencia del proceso de descomposición. Su trabajo está desglosado semanalmente en la *Tabla 1*.

Estado físico de compost

La evaluación de los resultados obtenidos se realizó por observación directa donde se determinó la calidad del compost producido, tiempo de procesamiento y posibles problemas en el proceso (malos olores, plagas, etc.).

Figura5.

Compost homogeneizado de camas nuevas, camas al aire libre y camas cubiertas



Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3 muestran el proceso de descomposición de las camas de compost, esto, durante las 12 semanas que dura el proceso realizado en la universidad. La Figura 5.1 muestra un material poco compacto, se observan ramas y hojas de un tamaño considerable pero homogeneizado donde el proceso de descomposición aún no ha iniciado, es el material de compost nuevo que entra cada semana a las pilas. La figura 5.2 permite observar un material más descompuesto y de textura terrosa color café oscuro, con olor agradable y compacto, con partículas de tamaño muy pequeño, dando de cuenta que el proceso de compost se ha dado adecuadamente, este es el compost terminado de las pilas al aire libre. La Figura 5.3 así mismo muestra un material compacto procedente de las camas cubiertas, de color café oscuro, pero se pueden observar aun partículas y hojas parcialmente descompuestas, que si bien, llevan el mismo tiempo de descomposición que las camas al aire libre, el material no se encuentra tan compostado como estas camas, así mismo el material posee un olor agradable y se ha evidenciado el proceso de descomposición.

En la mayoría de camas existe la presencia de cochinillas de tierra, lo que indica una buena descomposición del proceso, ya que estos organismos participan facilitando el trabajo de otros descomponedores como bacterias y hongos, además no se evidencia presencia de vectores como moscas o algún otro animal como lombrices o cucarachas, o moscas.

5.5 Aforo

Hojas secas

Esta es la materia prima para la elaboración del compost en la universidad, conformando cerca del 80% o 90% del material total dispuesto a compostar. Dado que el material puede variar con respecto a la humedad, composición y naturaleza específica en cada carga, cada caneca llena puede variar en su peso, por lo que se decidió estimar el promedio de las 6 cargas de compost y establecer ese valor como el valor normal de cada carga y de esta manera conocer más acertadamente qué cantidad de residuos vegetales se establecen en la pila de compost semanalmente.

Se realizó el pesaje de las 6 cargas de hojas secas en el contenedor de 110L por medio de la báscula existente en el acopio de la universidad. Y a cada una se le restó el peso del contenedor que es de 34,1kg

Figura6.

Aforo de material compostable



Fuente: Elaboración propia.

Los datos recolectados se encuentran consignados en la tabla 6, los valores de las 6 cargas se promediaron, para tomar una carga estándar, obteniendo un valor de 35,1. Siendo este el valor de una carga de compost estandarizada,

se multiplicó 6 veces para totalizar y obtener la cantidad total de una cama de compost, obteniendo finalmente un valor de **210,6 kg** por cama de compost. A continuación, describo las ecuaciones utilizadas en este cálculo:

Donde:

$$Carga\ Estandar = \frac{\sum_{i=1}^n Qi}{n}$$

Qi: Peso de cada una de las cargas recolectadas.

n: Número total de cargas (en este caso, $n=6n$)

En este caso, el promedio fue:

Carga estándar= 35.1

Total, de la cama de compost: Para calcular el peso total de la cama de compost, se multiplica el valor de la carga estándar por el número de cargas:

Peso total de la cama=Carga estándar × Numero de cargas

Sustituyendo los valores:

Peso total de la cama=35.1 kg×6=210.6 kg

Residuos orgánicos aprovechados

El personal encargado del acopio recoge todos los viernes los residuos orgánicos del laboratorio de vinos y licores, obteniendo semanalmente un aproximado de **25 kg** de bagazo de cebada y cáscaras de naranja usados en este proceso, adicionalmente, también se recolectan los residuos de un puesto de CeviMango que trabaja dentro de la universidad, este también almacena los residuos de frutas generados, aportando cerca de **9 kg** a la semana, estos residuos son mezclados y dispuestos en las camas de compost cada viernes.

Figura7.

Pesaje y mezcla de material orgánico



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, para evaluar la cantidad de agua utilizada en la homogeneización de las pilas de compost se utilizaron recipientes de 5 galones para medir cuánta agua es necesaria hasta que el material se encuentre húmedo óptimamente. Para la homogeneización de las dos pilas de compost, se utilizaron 5 recipientes llenos (en total 25 galones de agua o 92,5 L). Es importante señalar que esta cantidad varía dependiendo de la cantidad de humedad presente en el material chipeado, y la época del año, ya que la humedad puede ser mayor o menor si se encuentra en época de lluvias o de sequía. Ese valor también se agrega al peso total de las pilas de compost.

Figura8.

Homogeneización y control de humedad



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se presentan la caracterización de la cama de compost luego de realizar el aforo semanal.

Tabla6.

Peso total de cama nueva de compost.

| Peso de hojas secas | | | |
|--|---------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Carga N° | Carreta vacía (kg) | Carreta + Material (kg) | Diferencia (kg) |
| 1 | 34,1 | 60,5 | 26,4 |
| 2 | 34,1 | 69,9 | 35,8 |
| 3 | 34,1 | 68,8 | 34,7 |
| 4 | 34,1 | 69,9 | 35,8 |
| 5 | 34,1 | 70,5 | 36,4 |
| 6 | 34,1 | 75,6 | 41,5 |
| Promedio estándar | | | 35,1 |
| Totales | | | |
| | | | (kg) |
| Peso total estándar de cama de hojas secas | | | 210,6 |
| Peso residuos laboratorio Vinos y licores | | | 25 |
| Peso agua utilizada en el proceso | | | 92,5 |
| Peso total puesto de mangos | | | 9,6 |
| Peso total cama de compost | | | 337,7 |

Fuente: Elaboración propia

Con esta recopilación de datos se concluye que la universidad está aprovechando **245,2 kg** de residuos orgánicos por cama de compost a la semana, para un total de **490,4 kg** de residuos orgánicos a la semana y **1961,6 kg** al mes.

Los tiempos de descomposición manejados por la universidad son de 12 semanas, ya que se basan en el sistema de compostaje activo, donde el material es triturado previamente, se hace un volteo regular (semanal), y se mantienen características óptimas como la humedad y la temperatura. Después de conformar la primera cama de compost, esta se voltea semanalmente un total de 12 veces, y al finalizar la semana 12 se obtiene el compost terminado que la universidad usa como abono. De lo contrario, si no se utiliza, este se dispone junto a las camas al aire libre para que siga teniendo proceso de descomposición activa y sea utilizado cuando los jardineros estén abonando los árboles de la universidad.

Compost terminado

Figura9.

Aforo compost producido semanalmente.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó igualmente un aforo de la cantidad de compost terminado generado con el fin de qué la cantidad de compost semanalmente en la universidad. En el proceso utilizado, similar al aforo de las camas de compost, se registró el peso del compost terminado en el mismo contenedor de 110L, y se promedió la cantidad obtenida para estandarizar el peso de una cama final de compost. Para las camas al aire libre también se realizó un aforo del compost finalizado para evaluar la reducción en su proceso, la determinación del peso total fue levemente distinta debido a que no salieron contenedores exactos en el aforo, proceso que se explicara más adelante.

Tabla7.

Peso de compost terminado, camas cubiertas

| Carga | Carreta vacía (kg) | Carreta + Material (kg) | Diferencia (kg) |
|--|---------------------------|--------------------------------|------------------------|
| N° | | | |
| 1 | 34,1 | 93,3 | 59,2 |
| 2 | 34,1 | 89,6 | 55,5 |
| 3 | 34,1 | 95,8 | 61,7 |
| 4 | 34,1 | 92,5 | 58,4 |
| 5 | 34,1 | 82,1 | 48 |
| 6 | - | - | - |
| Promedio estandarizado | | | 56,56 |
| Peso total de compost terminado semanal | | | 282,8 |

Fuente: Elaboración propia

Se observa que para las camas cubiertas si bien ingresan 6 contenedores llenos, únicamente se obtienen 5 contenedores de material terminado, pero con un peso más elevado por contenedor. Esta diferencia de peso se puede asociar a un exceso de humedad que aumenta la densidad y la compactación del material, posiblemente originada por

las abundantes lluvias que hubo en el mes de octubre. Es importante tener en cuenta que en Colombia para Medellín los periodos más lluviosos son de abril a mayo y de septiembre a octubre según (IDEAM s.f.)

Tabla8.

Peso compost terminado camas al aire libre

| Carga | Carreta vacía (kg) | Carreta + Material (kg) | Diferencia (kg) |
|--|-------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Nº | | | |
| 1 | 34,1 | 101,5 | 67,4 |
| 2 | 34,1 | 105,3 | 71,2 |
| 3 | 34,1 | 103,4 | 69,3 |
| 4 | 34,1 | 100,1 | 66 |
| 5 | 34,1 | 60,1 | 26 |
| 6 | - | - | - |
| Promedio estándar | | | 68,475 |
| Peso total de compost estandarizado semanal | | | 299,9 |

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera en el aforo realizado en las composteras al aire libre, si bien ingresan 6 contenedores llenos a la cama, se obtuvieron 4 contenedores llenos y poco menos de la mitad de otro, estos fueron mucho más pesados que los previamente aforados, el exceso de peso que se asocia a la humedad debido a que estas camas están a merced de las condiciones climatológicas altamente variantes, además que el material se evidencia más compacto, y el aforo se hizo en el mes de octubre, mes que hace parte de la temporada de lluvias en Colombia. Para determinar el peso total de este aforo, se estableció un promedio estándar para los primeros 4 contenedores, y se le sumo el contenido del quinto.

Cantidad de compost terminado

De esta manera, con la información recopilada, se puede denotar que semanalmente entran dos pilas nuevas, cada una de **660 L**, o 0,66 m³ de material vegetal, cada una con peso de **337 kg**.

Y semanalmente se producen **484 L** o 0,48 metros cuadrados de compost terminado en las camas al aire libre, con un peso de **299,9 kg**. Igualmente se producen **550 L** o 0,55 m³ de compost terminado en camas cubiertas, con un peso de **282,8 kg**.

Con estos valores de peso, densidad y volumen se puede realizar un símil y a su vez observar un rendimiento de las pilas.

Tabla9.

Valores totales de camas de compost, rendimientos

| | Peso residuos frescos [kg] | Peso compost terminado [kg] | Rendimiento | Volumen residuos frescos [L] | Volumen Compost terminado [L] | Rendimiento | Densidad residuos frescos [kg/L] | Densidad compost terminado [kg/L] |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Aire libre | 337,00 | 299,90 | 11% | 660,00 | 484,00 | 27% | 0,51 | 0,58 |
| Cubiertas | 337,00 | 282,80 | 16% | 660,00 | 550,00 | 17% | 0,51 | 0,55 |

Fuente: Elaboración propia

A grandes rasgos, se puede observar que, en las camas al aire libre, hay un mayor peso que en las composteras cerradas, aunque hayan tenido un menor volumen. Igualmente se observa que la reducción de material en volumen es considerablemente mayor, donde se reduce un 27% de la cantidad inicial en las camas al aire libre, cerca de un 10% mayor respecto a las camas cubiertas.

Esto ocurre debido a dos factores importantes. El primero, que el material se encuentra mucho más compacto debido a que estas composteras están más expuestas a la humedad y a las condiciones del medio ambiente, y para su composición, mayoritariamente de hojas, estas condiciones favorecen el proceso de compostaje y descomposición de los orgánicos, haciendo su material más denso, y por tanto más pesado sin generar malos olores o vectores en las camas. El segundo factor se debe a que estas camas están bajo la sombra de árboles y expuestas a las constantes lluvias,

por lo que se mantienen más húmedos, otorgándole más peso a las camas. Sin embargo, en cuanto al volumen puede afirmarse que en las camas al aire libre existe una mayor tasa de descomposición y proceso de compostaje, teniendo una reducción del 27% del material que ingresa, a diferencia de las camas cubiertas, cuya reducción es apenas del 17% del material total ingresado.

5.6 Análisis de Factores Clave

Capacidad

La capacidad de las camas de compost es adecuada para manejar los residuos orgánicos generados que se aprovechan, siempre que se mantenga un flujo constante de incorporación y volteo semanal. Igualmente, si llegase a existir una sobrecarga en el acopio de residuos vegetales, el gestor que tiene la universidad hace una disposición adecuada de los mismos periódicamente, por lo que no existe nunca un exceso de residuos de esta naturaleza en la universidad.

En cuanto a la cantidad, basado en el aforo realizado y la información de la Tabla 1, con el proceso que realiza actualmente la universidad, se están compostando mensualmente 5280 L, o 5,84 m³ de material orgánico con un peso aproximado de 2696 kg. Esto es sumando la cantidad total procesada tanto en las camas al aire libre, como las cubiertas, donde cerca del 90% del material procesado son hojas secas y material de poda con un 10% de residuos de vegetales y frutas.

Eficiencia

El proceso de compostaje, con una duración de 12 semanas y volteos semanales, permite una descomposición adecuada del material. No obstante, se evidencia una descomposición más efectiva en las camas al aire libre, donde las condiciones, determinadas por el medio y la climatología del lugar, permiten una mayor humedad en ellas, y debido al material de composición que son en su mayoría hojas secas, este proceso es más acelerado y se presenta una mayor tasa de compostaje en estas camas.

Existe un 27% de reducción del volumen de las camas al aire libre, donde el material ha desarrollado una mayor tasa de compostaje, su textura se ha vuelto más terrosa y se ha compactado más el material. Por otra parte, se

evidencia una reducción del 17% en las camas cubiertas respecto al volumen, el material denota compostaje y compactación, pero puede evidenciarse en su textura aún muchas partículas de hojas parcialmente descompuestas.

Las camas presentan una reducción de peso del 11% para las camas al aire libre y un 16% para las camas cubiertas. Esta diferencia de peso no es necesariamente evidencia de que hay una eficiencia mayor en las camas cubiertas, precisamente por lo mencionado anteriormente, las condiciones climatológicas y de descomposición otorgan un mayor peso a las camas al aire libre, de igual manera, ambos procesos son evidencia de que el material está teniendo un proceso adecuado de descomposición.

Calidad del compost

La calidad del compost depende en gran medida de las condiciones bajo las cuales se desarrolla el proceso. Las camas al aire libre, al estar en una zona con sombra por arboles circundantes, tienden a mantener mayor humedad, y por ello igualmente a generar compost de mejor calidad, con una textura más terrosa y compactándose más. Sin embargo, es fundamental realizar controles para asegurar que el producto final esté libre de impurezas o materiales no deseados, como plásticos u otros elementos no compostables. Igualmente, las camas cubiertas producen un material compactado donde se evidencian restos de hojas parcialmente descompuestas, este compost podría mejorarse con mayor humedad en los controles, aportándole más material con contenido de humedad como residuos de frutas y vegetales, o dejándolo más semanas en proceso de descomposición,

5.7 Identificación de oportunidades de mejora

Factores ambientales adversos

Se evidenció que, en tiempos de lluvia intensa, las camas techadas tienden a encharcarse al fondo ya que poseen piso cementado para facilitar el volteo de las mismas, y la pendiente del terreno circundante dirige el agua hacia ellas, lo que dificulta el control de la humedad y afecta la calidad del compost.

Figura10.

Camas cubiertas de compost afectadas por lluvia intensa.



Fuente: Elaboración propia.

El exceso de humedad puede ralentizar la descomposición al limitar la oxigenación del material, favoreciendo procesos anaerobios que generan malos olores y reducen la calidad del compost. Además, la gestión de las camas debido al agua acumulada se vuelve más difícil, aumentando el trabajo del personal.

Infraestructura afectada

Figura11.

Separadores de camas al aire libre.



Notas: Elaboración propia

Los separadores de las camas al aire libre son de metal, ya que la universidad decidió reutilizar estos paneles en esta función, pero ya presentan signos de corrosión y deterioro. La oxidación del material puede contaminar el compost y el suelo circundante con partículas metálicas y afectar su calidad, además de alterar el pH del material en descomposición y del suelo circundante.

Figura12.

Techo de las composteras cubiertas.



Fuente: Elaboración propia

La acumulación de hojas sobre el techo de latón ha empezado a generar descomposición progresiva, ya que, al retener humedad, las hojas favorecen la oxidación y el deterioro del metal. Si esta situación persiste, la estructura del techo podría debilitarse con el tiempo, comprometiendo su integridad y funcionalidad. Esto aumentaría el riesgo de filtraciones y colapso de la estructura.

Composición del compost y aprovechamiento de residuos orgánicos:

Si bien la universidad posee un aprovechamiento de residuos orgánicos, estos son únicamente del laboratorio de vinos y licores y de un puesto de Cevimango, representando cerca de un 10% de la composición total de la mezcla de compost. Teniendo una capacidad tan grande (1961,6 kg al mes), se podrían utilizar más residuos de los orgánicos producidos por la universidad.

Utilizando la formula descrita en la sección 3.2.1 de Relación carbono nitrógeno se obtuvo cual era la relación C/N aproximada de la mezcla que maneja la universidad en cada cama según su composición.

$$R = \frac{CN1 \times Q1 + CN2 \times Q2 + CN3 \times Q3 + \dots + CNn \times Qn}{(Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn)}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable.

Q = cantidad de material adicionada.

CN = Relación Carbono-Nitrógeno del material.

Teniendo como Q1 a la cantidad de hojas secas utilizadas en la mezcla (210,6 kg) con una relación CN 47,1:1, a Q2 como la cantidad residuos de frutas y verduras utilizada (34,6) y una relación CN de 40:1.

Reemplazando los valores en la formula obtenemos que la relación C/N de la mezcla por una cama de compost es de **46,09**, indicando una mezcla bastante alta en Carbono. Este resultado es entendible sabiendo que cerca del 90% de la mezcla son hojas secas, esto dificulta la descomposición adecuada de las camas a los microorganismos por el elevado contenido de carbono presente en las hojas.

6. Conclusiones y recomendaciones

La Universidad Pontificia Bolivariana posee un proceso estructurado y sistemático donde se aprovecha una cantidad considerable de residuos orgánicos mensualmente, los cuales son principalmente hojas secas y algunos residuos de poda, con alto contenido en carbono, de igual manera, los restaurantes y cafeterías de la universidad generan una cantidad de residuos orgánicos con alto contenido en nitrógeno, debido a que su mayor porcentaje son residuos de frutas y verduras, así como residuos de comida. Los valores cualitativos más relevantes obtenidos en el diagnóstico y la evaluación del proceso se describen y sintetizan a continuación.

Además, se anexará un manual de buenas prácticas de compostaje para ser implementado dentro de la UPB.

- ✓ Con la evaluación de la infraestructura se observó que la capacidad en volumen para la elaboración de compost en la universidad semanalmente es de **2,6** para las camas de compost cubiertas y **2,4 m³** para las camas al aire libre, respectivamente. Para un total de **20 m³** de capacidad mensual para el compostaje. Este resultado

proviene de considerar las dimensiones totales de las camas por lo que es un caso hipotético donde la cama estuviese ocupada en un 100%, para comodidad del personal y del funcionamiento del sistema, como se realiza actualmente es un proceso óptimo.

✓ La generación de residuos orgánicos mensuales en los restaurantes y cafeterías de la universidad es de **1933,76 kg**, donde su composición es principalmente residuos de frutas, verduras y restos de comida. Este resultado se determinó por medio de promedios ponderados diarios de todos los manifiestos proporcionados por los gestores de residuos orgánicos la universidad en los últimos meses de funcionamiento.

✓ Actualmente en el proceso llevado a cabo por la universidad, ingresan mensualmente **980,8 kg y 2,64 m³** a las camas cubiertas, y a las camas al aire libre respectivamente. Por lo que la cantidad total de residuos orgánicos que mensualmente ingresan a las camas de compost es de **1961,6 kg en peso, y 5,28 m³ en volumen**, de los cuales el 90% son hojas secas junto con restos de poda y el 10% pertenece a residuos de frutas.

✓ Por medio del aforo realizado se pudo determinar que mensualmente se producen aproximadamente **1,93 m³** de compost terminado en las camas al aire libre, con un peso de **1199,6 kg**. Y se producen **2,2 m³** en las camas cubiertas, con un peso de **1131,2 kg**. Los valores elevados son producto del exceso de humedad debido a los factores ambientales y la infraestructura en la que se encuentran las camas.

✓ La relación Carbono/Nitrógeno de las camas de compost es aproximadamente **46,09**, denotando una mezcla alta en carbono y un ambiente no propicio para que los microorganismos puedan ejercer una descomposición activa de la pila de compost. Esto es debido a la alta cantidad de hojas secas presentes en la mezcla de las camas de compost.

✓ En las camas al aire libre existe una mayor tasa de descomposición y compostaje, teniendo una reducción del 27% del material que ingresa, a diferencia de las camas cubiertas, cuya reducción es apenas del 17% del material total ingresado. Este análisis está basado únicamente en el volumen de las camas, ya que se determinó que el compost terminado tenía menos volumen, pero más peso y esto es debido a las condiciones ambientales e infraestructura de las camas existentes en el campus, que permiten que estas retengan una mayor humedad, por lo tanto, mayor peso, y por su alto contenido en carbono, la humedad favorece al compostaje.

✓ Como se discutió en la sección 5.6 en el apartado de eficiencia, se evidencia un mayor compostaje en las camas al aire libre debido a la composición de las pilas actualmente, por lo que se recomienda que si se sigue trabajando con la misma composición, esta sea principalmente al aire libre, o por el contrario aportarle más

cantidad de residuos orgánicos altos n nitrógeno y humedad tales como restos de frutas y verduras, disponibles en los restaurantes de la universidad.

Con base al diagnóstico realizado, la evaluación del proceso, las oportunidades de mejoras encontradas y las entrevistas realizadas al personal encargado del sistema de compostaje, se establecen las siguientes recomendaciones para mejorar y optimizar el sistema:

Despeje de zona aledaña a camas cubiertas

Figura13.

Elaboración de canaletas para evitar encharcamiento de camas cubiertas



Fuente: Elaboración propia.

Uno de los problemas más relevantes de las camas cubiertas era su encharcamiento cuando se presentaban lluvias intensas, debido a la pendiente del terreno en la que se encuentran, y que el suelo circundante está al nivel del suelo de las camas. Para solucionar este problema se plantea realizar una canaleta justo al nivel del suelo de las camas que permita el transporte del agua acumulada en eventos de lluvias intensas, esta canaleta debe estar a un nivel más bajo que el suelo cementado de las camas para evitar que el agua se dirija hacia ellas, y también debe tener una pendiente que evite el encharcamiento y permita el flujo del agua.

Mantenimiento de camas al aire libre

Figura14.

Materiales de elaboración de las camas al aire libre y suelo



Fuente: Elaboración propia.

Una oportunidad de mejora relevante identificada en el sistema de compostaje, fueron los materiales con los que están realizados las composteras al aire libre, que si bien, son paneles reutilizados, promoviendo el reusó de elementos que la universidad ya no utiliza, estos ya presentan signos avanzados de deterioro y oxidación, lo que puede generar una liberación de compuestos al suelo y a la misma calidad del compost, por lo que es necesario un cambio oportuno con materiales que no sean reactivos al agua y a las condiciones ambientales, como el plástico, o separadores de ladrillos y cemento como en las camas cubiertas.

De igual manera, para facilitar el volteo de las camas sería oportuno la cementación de un suelo para estas camas debido a que el uso de la pala en un suelo no cementado y húmedo, dificulta bastante esta labor a los operarios de las camas, sobre todo en épocas de lluvia.

Mantenimiento del techo de composteras cubiertas

Figura15.

Mantenimiento a techo de composteras cubiertas



Fuente: Elaboración propia.

Un problema importante que puede presentarse a futuro es la pudrición del techo de las camas cubiertas por la acumulación de hojas en su superficie, debido a la humedad que pueden acumular en épocas de lluvia. El techo actualmente está empezando a presentar un deterioro que es evidente, que si no tiene un tratamiento adecuado puede generar filtraciones e incluso colapso de la estructura. Para dar solución a este problema se puede establecer un control periódico de limpieza de estas hojas donde por ejemplo cada mes y medio/ dos meses se haga un retiro de estas hojas evitando su acumulación, para que incluso estas hojas puedan ser introducidas al sistema de compostaje. Es importante establecer los tiempos, y los equipos necesarios para esto, ya que el techo está bastante elevado y la universidad no posee personal ni un calendario dispuesto para esta labor hoy en día.

Enriquecimiento del compost actual.

Por medio de la fórmula utilizada anteriormente en el análisis de resultados, se pudo determinar que la composición de compost, posee una relación aproximada de C/N de **46,09** por pila de compost, indicando una mezcla bastante alta en Carbono. Esta relación alta en carbono es debido a una alta proporción de hojas en la mezcla, ya que cerca del 90% de la mezcla de las camas de compost son hojas secas y ramas pequeñas, y tan solo un 10% residuos de frutas. Según Luna, L. & Bolaños, M. 2007 la relación C/N óptima del compost inicial debe estar entre de 35/1 a 40/1, así que utilizando la fórmula de (Busajim, G. 2023), más los datos recolectados en el aforo del proceso de compostaje de la universidad se logró determinar, que valores podrían variarse en el proceso de compost de la universidad para obtener valores entre este rango ideal.

Utilizando de nuevo la fórmula proporcionada por Busajim. (2023) se obtuvo cual era la relación C/N aproximada más apropiada según la literatura para enriquecer el compost y exista un proceso de compostaje más adecuado en la universidad.

$$R = \frac{CN1 \times Q1 + CN2 \times Q2 + CN3 \times Q3 + \dots + CNn \times Qn}{(Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn)}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable.

Q = cantidad de material adicionada.

CN = Relación Carbono-Nitrógeno del material

Anteriormente se determinó que teniendo como Q1 a la cantidad de hojas secas utilizadas en la mezcla con (210,6 kg) y una relación C/N 47,1:1, y a Q2 como la cantidad de desechos de frutas con (34,6 kg) y una relación CN de 40:1, la fórmula proporcionaba una relación C/N de 46,09.

Para obtener una relación carbono nitrógeno más cercana al valor ideal se puede aumentar el volumen de frutas y verduras, que poseen un alto contenido de nitrógeno, o de igual manera, reducir la cantidad de hojas secas, teniendo esto en cuenta y los procesos efectuados en la universidad, con los datos de los generadores se determinaron las siguientes propuestas que podrían llevarse a cabo en el proceso de compostaje.

El cálculo se realizó para tener una cantidad similar de residuos orgánicos en las camas de compost a la que se trabaja actualmente, y los residuos orgánicos pueden ser obtenidos de los mayores generadores, como lo son los restaurantes de Diverso, taco Factory, Serviexpress. Los valores hallados se determinaron variando los valores de la formula, en la cantidad de los insumos a utilizar, y agregándole otros que pueden recolectarse semanalmente entre estos tres restaurantes presentes en la universidad, solo debería solicitarle a cada uno, la separación de los mismos, que, para este caso en específico, y la particularidad de los restaurantes, serian residuos de vegetales. Los posibles valores a utilizar se presentan a continuación.

- ✓ Reduciendo en dos contenedores la cantidad de hojas secas, su peso seria aproximadamente de (140 kg) con relación C/N de 47,1:1, se seguirían utilizando los mismos residuos de frutas que se usan actualmente en la universidad (34,6 kg) con relación C/N de 40:1, se recolectarían semanalmente (80 kg) de vegetales y verduras, con una relación C/N de 19:1. Y reemplazando estos valores en la formula, la mezcla tendría una relación C/N total de **37,3:1** y teniendo como peso (254,6 kg)
- ✓ Reduciendo en tres contenedores la cantidad de hojas secas, su peso seria aproximadamente de (105 kg) con relación C/N de 47,1:1, se seguirían utilizando los mismos residuos de frutas que se usan actualmente en la universidad (34,6 kg) con relación C/N de 40:1, se recolectarían semanalmente un poco más de residuos vegetales y verduras (90kg), con una relación C/N de 19:1. Y reemplazando estos valores en la formula, la mezcla tendría una relación C/N total de **35,06:1** y teniendo como peso (229,6 kg)

7. Referencias

- Bejarano, E. P., & Delgadillo, S. M. (2007). *Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “La Modelo” por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM)* (Proyecto de grado, Universidad La Salle). Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1666&context=ing_ambiental_sanitaria
- Bilgili, M. S., Demir, A., & Ozkaya, B. (2007). *Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes*. *Journal of Hazardous Materials*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406010533?via%3Dihub>
- Busajim, G. G. (2023). *Desarrollo de una aplicación para el cálculo de la relación carbono-nitrógeno de una masa compostable*. Recuperado de: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18984/busajim-mellado-gonzalo-tesis.pdf
- Earthgreen. (s.f.). *Preguntas frecuentes*. Earthgreen. Recuperado de: <https://www.earthgreen.com.co/preguntas-frecuentes/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s.f.). *Sitios turísticos*. Recuperado de <http://archivo.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- Luna, L. A., & Bolaños, M. M. (2007). *Producción de abonos orgánicos de alta calidad*. Recuperado de: https://www.corantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/1_compostaje.pdf
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>