



**Título: Producción de compostaje a partir de residuos sólidos generados la plaza de
mercado del municipio de Apartadó, Antioquia**

Geiler Andrés Palacio López

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Bioquímico

Asesor

Juan Esteban Vásquez Bustamante, Doctor (PhD) en Biotecnología

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Bioquímica
Carepa, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Palacio, 2024)
Referencia	[1] G.A. Palacios López (2024). Producción de compostaje a partir de residuos sólidos generados la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Carepa, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Cespedes.

Decano/director: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Liliana María Gonzales Rodríguez.

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.

Agradecimientos

En el presente espacio me permito agradecer primeramente a Dios por guárdeme y darme la oportunidad de finalizar de manera exitosa este proyecto de grado, a mis padres y familia por acompañarme, guiarme, motivarme y ser parte fundamental del proceso, a mi amiga Yisel Ortega Mercado quien siempre fue un apoyo incondicional e hizo parte de este tan importante proceso para mi logro profesional, no podría dejar de mencionar en este espacio a: Jhon Henry Rosso Montoya coordinador de la Sede de Estudios Ecológicos y Agroambientales por su motivación constante, a el mejor asesor Juan Esteban Vásquez quien fue parte importante en este proceso, una mención especial a todas esas personas que agregaron su granito en este proyecto como fue la construcción de los montajes experimentales y su monitoreo como lo fueron Yasser Torres, Luis Felipe Giraldo, David Montés, Carlos Humberto, María Camila Villada, Sebastián Otagri, Víctor Jiménez, María Fernanda Gonzales, Kelly Pacheco, Administrativos de Empresa municipal de mercadeo de apartado “PLAZA DE MERCADO”, por último y no menos importante al semillero de investigación ARBO, la universidad de Antioquia y al el proyecto 2021-43115 del CODI por la logística, espacios y la financiación de los montajes experimentales que permitieron el desarrollo de este trabajo.

Contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Planteamiento del problema	13
Antecedentes	14
Justificación	16
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
Pregunta de investigación	18
Hipótesis	19
Hipótesis nula	19
Hipótesis alterna.	19
Variables.	19
Marco teórico	20
Compostaje	22
Oxígeno	23
Humedad	23
Tamaño de la partícula	23
Relación de carbono y nitrógeno	23
Temperatura	24
pH	24
Volumen o tamaño de la pila de compostaje.	24
Metodología	25

Ubicación	25
Sistema de recolección	26
Preparación de pilas	26
Diseño experimental	27
Medición de los Parámetros	27
Calidad del compost	28
Rendimiento y conversión de compost	28
Prueba de germinación	28
Resultados	29
Sistemas de recolección	29
Parámetros de compost	31
Temperatura	32
pH	34
Humedad	35
Altura de las pilas	37
Calidad del compost	39
Rendimiento y conversión	40
Germinación	41
Discusión	44
Conclusiones	47
Referencias	49

Lista de tablas

Tabla 1 Descripción de los tratamientos propuestos.	27
Tabla 2 Análisis de varianza de la velocidad de reducción de altura	38
Tabla 3 Pruebas de rango múltiple para velocidad de reducción de altura por tamaño de materia	39
Tabla 4 Resultados de conversión y rendimiento de las pilas de compost	40
Tabla 5 Análisis de varianza del porcentaje de rendimiento.	41
Tabla 6 Análisis de varianza del porcentaje de conversión.	41
Tabla 7 Análisis de varianza de porcentaje de germinación	43

Lista de figuras

Figura 1 Nuevo código de colores (Resolución 2184 de 2019) para la disposición y almacenamiento temporal de los residuos sólidos generados.	21
Figura 2 Ubicación de la universidad de Antioquia, sede Tulenapa.	25
Figura 3 Plano de plaza de Apartadó	30
Figura 4 Cantidad de residuos orgánicos y no orgánicos de los supermercados y fruvers de la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia	31
Figura 5 Comportamiento de la temperatura de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos de material chipecado durante 126 días	32
Figura 6 Comportamiento de la temperatura de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos de material sin chipear durante 126 días.	32
Figura 7 Comportamiento del pH de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material chipecado durante 126 días.	34
Figura 8 Comportamiento del pH de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material sin chipear durante 126 días.	34
Figura 9 Comportamiento del porcentaje de humedad de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material chipecado durante 126 días.	35
Figura 10 Comportamiento del porcentaje de humedad de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material sin chipear durante 126 días.	36
Figura 11 Diagrama de bloques del porcentaje de germinación por tratamientos	42

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PGIRS	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional
EPA	Environmental Protection Agency
CH	Material chipeado
SCH	Material sin chipear
C: N	Carbono nitrógeno
CO₂	Dióxido de carbono
NTC	Norma técnica colombiana
PhD	Philosophiae Doctor
UdeA	Universidad de Antioquia
<i>Df</i>	Degrees of freedom

Resumen

La adecuada gestión de residuos sólidos orgánicos es esencial para abordar los desafíos ambientales y de salud pública en diversas comunidades. En este contexto, se realizó un estudio en la plaza de mercado de Apartadó, Antioquia, con el propósito de implementar estrategias de compostaje para abordar esta problemática. El objetivo principal fue evaluar el proceso de compostaje como alternativa para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos comerciales generados en la plaza de mercado. Para ello, se diseñó una metodología que incluyó un sistema de recolección, la realización de 18 pilas de compostaje, la evaluación de parámetros como temperatura, humedad, pH y reducción de altura de las pilas y la calidad del compost desde las variables porcentaje de germinación, rendimiento y conversión. Los resultados mostraron que el tamaño del material y la composición de las pilas no presentan diferencias significativas sobre la temperatura, pH, humedad, porcentaje de rendimiento, conversión y germinación, sin embargo, se observó que la velocidad de reducción de altura se ve afectada por la cantidad de material vegetal, además que el producto final obtenido tiene un mejor comportamiento sobre la germinación en comparación al abono comercial. En conclusión, los resultados permiten visualizar desde diferentes necesidades cual tratamiento podría beneficiar desde el objetivo que se proponga, por último, el uso de residuos orgánicos en la producción de compost es una buena estrategia ambiental para reducir la demanda de residuos orgánicos producidos por la plaza de mercado del municipio de Apartado, Antioquia.

Palabras clave: Compostaje, Temperatura, Humedad, pH, residuos orgánicos, residuos sólidos, material vegetal, plaza de mercado.

Abstract

Proper management of organic solid waste is essential to address environmental and public health challenges in various communities. In this context, a study was conducted in the marketplace of Apartadó, Antioquia, with the purpose of implementing composting strategies to address this problem. The main objective was to evaluate the composting process as an alternative for the management and use of commercial organic solid waste generated in the market place. To this end, a methodology was designed that included a collection system, the realization of 18 compost piles, the evaluation of parameters such as temperature, humidity, pH and reduction of pile height, and the quality of the compost from the variables germination percentage, yield and conversion. The results showed that the size of the material and the composition of the piles do not present significant differences on temperature, pH, humidity, yield percentage, conversion and germination; however, it was observed that the speed of height reduction is affected by the amount of plant material, and also that the final product obtained has a better performance on germination compared to commercial compost. In conclusion, the results allow visualizing from different needs which treatment could benefit from the proposed objective, finally, the use of organic waste in the production of compost is a good environmental strategy to reduce the demand for organic waste produced by the market place of the municipality of Apartado, Antioquia.

Keywords: Composting, Temperature, Humidity, pH, organic waste, solid waste, plant material, market place.

Introducción

La eliminación eficiente de los residuos sólidos municipales es un grave desafío en todo el mundo debido en gran parte a la sobrepoblación, junto con la urbanización y la industrialización (Lalremruati & Devi, 2021). Los residuos sólidos municipales generalmente consisten en desechos domésticos y comerciales, materiales degradables, no degradables y parcialmente degradables (Jha et al., 2003). En Colombia se generan anualmente alrededor de 25 millones de toneladas de residuos, de los cuales el 60 por ciento son desechos orgánicos que, por su putrescibilidad, promueven directamente el crecimiento de vectores contaminantes (Departamento Nacional de planeación, 2022). Los departamentos que más residuos producen son Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico. Antioquia ocupa el segundo lugar a nivel nacional en producción de residuos, con eliminaciones diarias cercanas a las 5.000 toneladas (Kuddus, 2019). Son 9 subregiones las que conforman Antioquia, y de ellas, el Valle de Aburrá, Oriente y Urabá concentran el 85% de los residuos que produce el departamento. Urabá produce alrededor de 400 toneladas de residuos por día. Urabá es conocida por sus actividades agrícolas que también han contribuido al crecimiento económico de la región, permitiendo ser reconocida por sus demandas y producciones agropecuarias (Castro, 2021). La expansión de los negocios en los sectores minorista y de servicios, que ha tenido su mayor crecimiento en la zona central de la subregión, incluido el municipio de Apartadó, ha cambiado la dinámica económica de la región en los últimos años (Daza & Serrano, 2022). Estas industrias incluyen negocios como restaurantes y bares, que son importantes productores de desechos orgánicos de tipo alimentario y han contribuido a problemas ambientales debido a la manera insuficiente en que estos desechos se han eliminado localmente (Moreno & Ramírez, 2021). La empresa Futuraseo S.A es partícipe de las labores de gestión de residuos de las organizaciones municipales de Apartadó. S. E. S. P. administra un relleno sanitario de 10 años llamado El Tejar en la vereda El Tres, factor que ha preocupado en la zona por la expansión de los sectores productivos y el inadecuado manejo de sus residuos (Forero, 2020). Esto ha llevado a explorar alternativas que apoyen la metodología de la economía circular, la cual tiene como propósito crear un sistema en el que los materiales se mantengan en uso durante el mayor tiempo posible, reduciendo la extracción de nuevos recursos y disminuyendo los impactos ambientales.

El compostaje convierte muchos desechos orgánicos en abono, que puede utilizarse en el suelo ayudando a la agricultura sostenible e incluso puede reemplazar los costosos fertilizantes químicos (Omar et al., 2020). Sin embargo, más allá del uso agrícola clásico, los compost orgánicos también pueden considerarse materiales reactivos con un alto potencial de adsorción de PTE, derivado de la gran presencia de sustancias húmicas, favoreciendo su uso en el tratamiento de aguas residuales industriales y en la remediación de suelos contaminados con metales (Farrell et al., 2010; Lima et al., 2018). La simplicidad y la fácil implementación de tecnologías de compostaje pueden proporcionar una alternativa de gestión altamente viable para la fracción orgánica de los residuos sólidos, especialmente si se consideran las características la demanda de estos en la región. Además, el compostaje puede considerarse como un tratamiento biológico que requiere menos recursos económicos en comparación con otras opciones que demandarían mayores costos de implementación y mantenimiento (Thanh y Matsui, 2012; Samaniego et al., 2017). De acuerdo con lo anterior en este trabajo se propone evaluar el proceso de compostaje como alternativa para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia

Planteamiento del problema

En el Urabá antioqueño las formas de uso del suelo y el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos se determinan según las zonas de la región (Norte, Centro y Sur), y la dinámica socioeconómica de los municipios que las conforman. Al respecto, la zona Centro se encuentra ubicada en proximidades al Golfo de Urabá, está conformada por los municipios de Turbo, Apartadó, Carepa y Chigorodó, y es la zona que proyecta un mayor desarrollo debido a su dinámica empresarial, de infraestructura y crecimiento poblacional (Comité Universidad Empresa Estado Sociedad, 2019). Con relación a la producción de basuras en la región de Urabá, sólo de desechos plásticos se producen entre 12 mil a 18 mil toneladas al año (Castaño, 2020). El problema del Urabá Antioqueño por la inadecuada disposición de residuos, por falta de cultura ciudadana o por la ineficiencia de las administraciones municipales, debe abordarse de manera contundente, pues las potencialidades de la región en el sector agrícola, de comercio y turístico proyectan un alto crecimiento demográfico, nuevas apuestas productivas y grandes proyectos de infraestructura, como puertos, vías 4G y expansión urbana (Gobernación de Antioquia, 2020).

El municipio de Apartadó, dentro de los diferentes programas de manejo de los residuos sólidos, la finalidad fundamental es el aprovechamiento para disminuir la generación y optimizar disposición final, tales como: corte de césped y poda de árboles, disposición final, gestión de residuos de la construcción y demolición, entre otros, sin embargo, no se evidencia las buenas prácticas de disposición de estos, ya que no se realiza la separación correspondiente de los materiales desechados por parte de la comunidad y la empresa a cargo del servicio. Se conoce que para el año 2021 Apartadó tuvo una disposición de 37130,97 Toneladas, las cuales son llevadas al relleno sanitario sin ninguna previa separación (Superservicios, 2021). Se reconoce como principal fuente de disposición la plaza de Mercado del municipio con descargas de 25 toneladas diarias aproximadamente, de las que pocos usuarios realizan buenas prácticas finales, llevando diferentes materiales al relleno sanitario, lo que produce problemas de contaminación ambiental, a la empresa con procesos de lenta degradación, entre otros.

En la universidad de Antioquia seccional Urabá- Sede Tulenapa se cuenta con extensión de 190.3 hectáreas de las cuales 150.3 hectáreas corresponden a bosque húmedo tropical y 40 a infraestructura donde se disponen diferentes residuos por parte de la comunidad estudiantil y externa que hace uso de las instalaciones. La sede Tulenapa dispone de residuos orgánicos

principalmente los generados por la poda, corte de césped, y las producida por los estudiantes y plazas de comidas, desde esa perspectiva se propone aprovechar los residuos orgánicos en la producción de compostaje, el cual puede ser utilizado en los diferentes cultivos que se desarrollan en ella. En la sede se brindan programas académicos ecológicos y agrícolas, donde se realizan actividades de cosecha de diferentes cultivos.

De acuerdo con lo anterior es importante resaltar que la producción constante de residuos orgánicos y los malos hábitos de separación de estos que finalmente son llevados a rellenos sanitarios aumentan los focos de contaminación y daños ambientales a largo plazo por la lenta degradación de estos. La finalidad de este proyecto es evaluar el proceso de compostaje como alternativa para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos comerciales generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia con el fin de brindar un subproducto que pueda ser usado en la zona.

Antecedentes

Los estudios científicos y proyectos de investigación previos proporcionan una base sólida para la formulación de estrategias de gestión de residuos sólidos orgánicos en entornos urbanos. En el estudio realizado por Huang (2015) en India, se destacan las directrices de comercialización de compost para la gestión de residuos sólidos municipales, resaltando la importancia de desarrollar estrategias efectivas para el aprovechamiento de residuos orgánicos. Huang concluye que una mejor focalización en los segmentos de mercado y una mayor sensibilización podría aumentar las ventas del compost.

En Turquía, Ağdağ (2009) comparo los sistemas antiguos y nuevos de gestión de residuos sólidos municipales en Denizli, destacando el crecimiento poblacional y el desarrollo económico como factores que generaron un aumento significativo en la cantidad de residuos, especialmente residuos domésticos. Ağdağ señala que, si bien se han implementado mejoras, como la creación de un vertedero sanitario y una instalación de compostaje, aún existen diferencias en el nuevo sistema, como la falta de tratamiento de lixiviados y una pobre recolección de separación en la fuente. Sin embargo, se espera que estos problemas se resuelvan en el futuro cercano mediante estudios de lixiviados y programas de sensibilización.

Farrell y Jones (2009) destacan en el artículo “Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets” proporciona una evaluación crítica del compostaje de

residuos sólidos municipales y los posibles mercados de compost que, aunque los volúmenes de compost de residuos sólidos municipales son propensos a aumentar en muchos países, existen riesgos relacionados con los residuos plásticos, el compostaje de residuos municipales tiene el potencial de desempeñar un papel beneficioso en la remediación de sitios contaminados. Sin embargo, se subraya la necesidad de investigaciones adicionales y ensayos a escala de campo para respaldar su uso generalizado y para evaluar adecuadamente los riesgos y beneficios ambientales.

En Colombia, se han revisado diversos textos sobre esta materia. Como el presentado por Bohórquez (2022) presenta un plan integral para la gestión de residuos sólidos en la Plaza de Mercado de Soacha, que sirve como un ejemplo relevante para la implementación de estrategias similares en otras áreas urbanas. Del mismo modo, el trabajo de Muñoz (2020) ofrece una estrategia específica para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en las Plazas de Mercado de Tunja, lo que resalta la necesidad de adaptar las iniciativas de gestión de residuos a contextos locales específicos, mientras que Pinto y Suárez (2016) proponen una estrategia para el manejo de residuos orgánicos en la Plaza de Mercado de Chía, Cundinamarca.

En el contexto zonal, el autor Borja (2020) evalúa el aprovechamiento de residuos domiciliarios en el municipio de Carepa, Antioquia. Estos estudios subrayan la importancia de abordar la problemática de los residuos sólidos a nivel local y desarrollar soluciones adaptadas a las necesidades y condiciones específicas de cada comunidad. Además, Márquez (2023) presenta un enfoque innovador para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de un sistema de compostaje autónomo, lo que destaca la diversidad de enfoques que pueden emplearse para abordar esta problemática. Finalmente, Gallo y col. (2019) proponen un programa de manejo de residuos sólidos en el barrio San Lorenzo, Arboletes - Antioquia, lo que muestra la importancia de la participación comunitaria en la implementación de soluciones sostenibles para la gestión de residuos.

En conjunto, estos estudios y proyectos de investigación proporcionan un punto de referencia para la formulación de estrategias de gestión de residuos sólidos orgánicos, destacando la necesidad de adaptar las soluciones a contextos locales específicos y fomentar la vinculación de todos los actores partícipes en plaza de mercado en los procesos de implementación.

Justificación

La presente investigación surge en respuesta a la necesidad imperante de abordar de manera integral y eficiente la problemática de la gestión de residuos sólidos municipales, la cual representa un desafío significativo para las comunidades locales, tanto a nivel nacional como internacional. En el contexto actual de crecimiento demográfico acelerado y desarrollo urbano, se hace indispensable desarrollar estrategias innovadoras y sostenibles que permitan enfrentar esta problemática de manera efectiva. El enfoque de este trabajo de grado se fundamenta en la comprensión profunda de las diversas dimensiones que influyen en la gestión de residuos sólidos, considerando aspectos técnicos y ambientales. La selección de este tema se justifica por su relevancia en el contexto actual, donde la generación y gestión inadecuada de residuos sólidos representan una amenaza para la salud pública, el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

A través de esta investigación, se busca analizar críticamente diferentes enfoques y prácticas empleadas en la gestión de residuos sólidos municipales, con el fin de identificar buenas prácticas, lecciones aprendidas y áreas de mejora. Además, se pretende proponer recomendaciones y estrategias innovadoras que contribuyan a optimizar la gestión de residuos sólidos, promoviendo la reducción, reutilización, reciclaje y disposición final adecuada de los mismos. El aporte de este trabajo de grado radica en su contribución al conocimiento científico y acciones concretas orientadas a mejorar la gestión de residuos sólidos a nivel local (y tal vez incluso con alcance nacional e internacional). Se espera que los resultados obtenidos sean de utilidad para tomar decisiones, profesionales del sector ambiental, investigación y demás actores interesados en esta temática, con el objetivo último de promover un desarrollo más sostenible.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el proceso de compostaje como alternativa para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos comerciales generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia.

Objetivos específicos

Proponer un sistema de recolección de los residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia

Evaluar la producción de compostaje para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia

Evaluar el efecto de la concentración de residuos orgánicos domésticos en el pH, temperatura y humedad en las pilas de compostaje.

Pregunta de investigación

¿Cómo evaluar el proceso de compostaje como alternativa para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos comerciales generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia?

Hipótesis

Se postula que la gestión en la recolección de los residuos generados en la plaza de mercado del municipio de Apartadó tiene un gran margen de mejora si realiza una debida recolección y separación de los residuos generados en esta. Además, se espera que el aprovechamiento que estos residuos a través de un proceso de compostaje se vean afectado por factores como el tamaño de partícula y la proporción de la mezcla residuos de la material orgánico y vegetal.

Hipótesis nula

"Los parámetros Temperatura, pH, Humedad y reducción de altura no se ven afectados por el tamaño de material y composición de las pilas en la producción de compostaje al aplicar los diferentes tratamientos a los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia."

Hipótesis alterna.

El tamaño de material y composición de las pilas causan efecto significativo sobre los parámetros Temperatura, pH, Humedad y reducción de altura en la producción de compostaje al aplicar los diferentes tratamientos a los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia.

Variables.

Temperatura	Composición de las pilas (Porcentaje
Humedad	de material vegetal)
pH	Germinación
Residuos orgánicos de plaza	Altura

Marco teórico

Los residuos son todos los materiales que se consideran basura, desperdicio, o desechos provenientes de una actividad industrial, agrícola, comercial o doméstica. Cabe resaltar que los residuos sólidos, no hace referencia a material sólo en estado sólido, también puede ser líquido, semilíquido o puede contener parte gaseosa (EPA, 2021). En comparación con otro tipo de residuos sólidos como los residuos plásticos, de papel o de metal, la cantidad de residuos orgánicos aumenta mucho más rápido y son el tipo de residuo menos atendido del mundo (Moqsud, 2021). El mal manejo que a lo largo de la historia de la humanidad se le ha dado a este tipo de residuos, ha generado altos niveles de contaminación ambiental y problemas de salud pública. Al respecto, Amoaj & Akwasi (2003) menciona que el manejo de residuos sólidos es el segundo problema más importante después de la calidad del agua en los países en vía de desarrollo a nivel mundial, sumado al limitado acceso a la eliminación adecuada y periódica de la basura. Los países menos desarrollados preocupan a la mala disposición de residuos, ya que a esta problemática se suman los altos niveles de pobreza, las altas tasas de urbanización, la ineficiencia y la poca financiación del gobierno para manejar eficientemente la basura.

Se conoce entonces a la gestión Integral de los residuos sólidos, como el conjunto de actividades que permiten la reducción en la generación de material de desecho, actuando con un enfoque estratégico de sostenibilidad (ciclo de vida) en todas las fuentes y aspectos que cubre la generación, transferencia, clasificación, tratamiento, recuperación y disposición final de manera integrada con énfasis en la eficiencia en el uso de los recursos, eje central de la sostenibilidad (Memon, 2010).

Cuando los residuos sólidos son generados se procede a un almacenamiento temporal que depende de la cantidad o volumen, tipo de residuo y procedencia. Dicho almacenamiento está regulado en Colombia por el nuevo código de colores según Resolución 2184 de 2019 (Figura 1), que configura una clasificación y separación en la fuente. Sin embargo, su correcta disposición en las presentaciones correspondientes está sujeta a la educación y concientización que posean los generadores de residuos.

Figura 1

Nuevo código de colores (Resolución 2184 de 2019) para la disposición y almacenamiento temporal de los residuos sólidos generados.



Nota Fuente: Universidad distrital José de Caldas (2020)

Después se recoge y transporte de los residuos para llevar al área correspondiente de disposición final mediante relleno sanitario los residuos generados y clasificados (Ministerio de Justicia, 2005). Se define la transferencia de residuos cuando son trasladados de vehículo transportador de un menor tamaño a uno mayor para continuar con la ruta correspondiente. En este proceso, existe el aprovechamiento que es un proceso previo o en paralelo a la recolección y transporte de residuos, en algunas ocasiones a posteriori. Según el tipo de residuos existen tratamientos biológicos, físicos, químicos o combinación que permiten transformar el residuo. El tratamiento debe seleccionarse según el potencial de aprovechamiento del residuo, mejorando la eficacia de las operaciones y del sistema de gestión de residuos. Así se procederá entonces con algunos materiales a recuperar, reutilizar y reciclar; a generar energía en forma de calor y biogás; o generar subproductos como abonos y nutrientes. Entre los tratamientos más comunes están la pirólisis, la compactación, la desinfección, la inactivación y la digestión (Ministerio de justicia, 2005).

Por último, se llega a la disposición final, que es el proceso mediante el cual los residuos sólidos se disponen en un espacio aislado, que ha sido diseñado para evitar la contaminación, de esta manera según el decreto 0838 de 2005 son confinados los residuos No aprovechables. A pesar de la clara definición que aborda la disposición final de los residuos sólidos, en el municipio de Carepa son llevados sin distinción entre aprovechables (orgánicos e inorgánicos) y No aprovechables hacia el relleno sanitario el Tejar donde se hace dicha disposición final. En este lugar tampoco opera una etapa de separación, lo que indica que se confinan todos los residuos de la región sin aprovechamiento (SAMA del Municipio de Carepa Antioquia, 2020). Esto por supuesto acelera el proceso de pérdida de vida útil o capacidad de carga del relleno.

Compostaje

El compostaje es una metodología de fermentación en estado sólido que permite disminuir el peso y el volumen de desechos orgánicos para la producción de sustratos en la agricultura, mediante la biodegradación natural de la materia orgánica. En dicha degradación, microorganismos termófilos y mesófilos convierten materiales orgánicos en un producto bioestable en presencia de oxígeno, alcanzando altas temperaturas durante el proceso (Mohee and Mudhoo, 2005). Para ello, estos microorganismos deben estar en las condiciones adecuadas que les provean de nutrientes, agua y oxígeno para desarrollarse. La humanidad ha utilizado empíricamente los procesos compostaje y con el tiempo se ha convertido en una importante herramienta de aprovechamiento de residuos orgánicos, bien establecida y aplicada a pequeña escala e industrial.

El proceso de compostaje normalmente consta de cuatro etapas: la fase mesófila, durante la cual proliferan las bacterias mesófilas y elevan la temperatura de la masa de compost a 44 °C, lo que marca el inicio del proceso de compostaje sobre la pila de residuos orgánicos. Posteriormente comienza la segunda etapa del proceso (fase termófila), en esta fase los microorganismos termófilos son muy activos y producen mucho calor. Esta etapa tiene una temperatura máxima de unos 70 °C. El período de calentamiento termófilo parecerá haber digerido la mezcla de compost, pero aún se requiere una oxidación adicional del material orgánico más grueso. La tercera etapa del compostaje, la fase de enfriamiento comienza en este punto. Los microorganismos expulsados por la etapa termófila del compostaje vuelven al compostaje y continúan descomponiendo los materiales orgánicos más resistentes. Los elementos más gruesos también se descomponen en humus por hongos y microorganismos como lombrices y chinches. El

último paso en el proceso de compostaje se conoce como curado y es cuando el compost envejece y madura. El compostaje es un proceso biológico de microorganismos, se deben tener presentes los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción (Matei et al., 2016; Roman et al, 2013).

Oxígeno

El compostaje es un proceso aeróbico, por lo tanto, se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración microbiana, que libera dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. La aireación ayuda a evitar la formación de charcos y la compactación de los materiales. La tasa de consumo de oxígeno varía a lo largo del proceso, alcanzando su punto máximo en la fase termófila (Román et al., 2013).

Humedad

Dado que todos los seres vivos utilizan agua para transportar nutrientes y componentes energéticos a través de la membrana celular, la humedad es un factor relacionado con los microorganismos. La humedad ideal para el compost es de alrededor del 55 por ciento, aunque esto varía según el estado físico, el tamaño de las partículas y el sistema de compostaje utilizado. Sin tiempo suficiente para que terminen todas las etapas de degradación, la actividad microbiana disminuye cuando la humedad se reduce por debajo del 45 por ciento, lo que hace que el producto resultante sea biológicamente inestable. El agua saturará los poros y obstruirá la capacidad de respiración del material si la humedad relativa es demasiado alta (>60%) (Román et al., 2013).

Tamaño de la partícula

El tamaño inicial de las partículas que componen la masa a compostar es crucial para la optimización del proceso, ya que cuanto más rápida y completa sea la reacción, mayor será la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa. Por tanto, la reducción del tamaño del material acelera el proceso y facilita el ataque de los microorganismos (Bueno et al., 2008).

Relación de carbono y nitrógeno

La relación C/N es un factor significativo que afecta la velocidad del proceso y la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es superior a 40, la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono, lo que ralentiza el proceso porque no hay suficiente nitrógeno disponible para que los microorganismos lo utilicen para la síntesis de proteínas (Bueno et al., 2008).

Temperatura

Dependiendo de la etapa del proceso, la temperatura puede variar ampliamente. El compostaje comienza a temperatura ambiente y puede alcanzar los 70°C durante la fase de maduración sin necesidad de ninguna actividad antropogénica (calentamiento externo). Luego vuelve a temperatura ambiente. Es preferible que la temperatura no baje demasiado rápido porque las temperaturas más altas y los períodos de tiempo más prolongados dan como resultado una descomposición más rápida y una mayor desinfección (Román et al., 2013).

pH

Cada etapa del proceso de compostaje tiene un pH diferente, que oscila entre 4 y 8 puntos, dependiendo de los materiales utilizados como punto de partida. Debido a la formación de ácidos orgánicos, el pH se vuelve ácido al principio del proceso. El medio se vuelve más alcalino y el pH aumenta durante la fase termófila por la conversión de amonio en amoníaco, estabilizándose en valores cercanos a la neutralidad (Román et al., 2013).

Volumen o tamaño de la pila de compostaje.

Al compostar en pilas, factores como la altura y el tamaño del montón tienen un impacto directo en la temperatura, el contenido de oxígeno y el contenido de humedad. A pesar de tener una buena humedad inicial y una buena relación C: N, las pilas de baja altura y base ancha facilitan la salida del calor producido por los microorganismos, evitando que no se conserven los pocos grados de temperatura alcanzados tras su mantenimiento. La cantidad de residuos a compostar y el área disponible para hacerlo determinan el tamaño de una pila. Para facilitar las tareas de volteo, se suelen realizar pilotes de entre 1 y 2 metros de altura y 1 y 3 metros de ancho. El área y el manejo afectarán la longitud de la pila (Román et al., 2013).

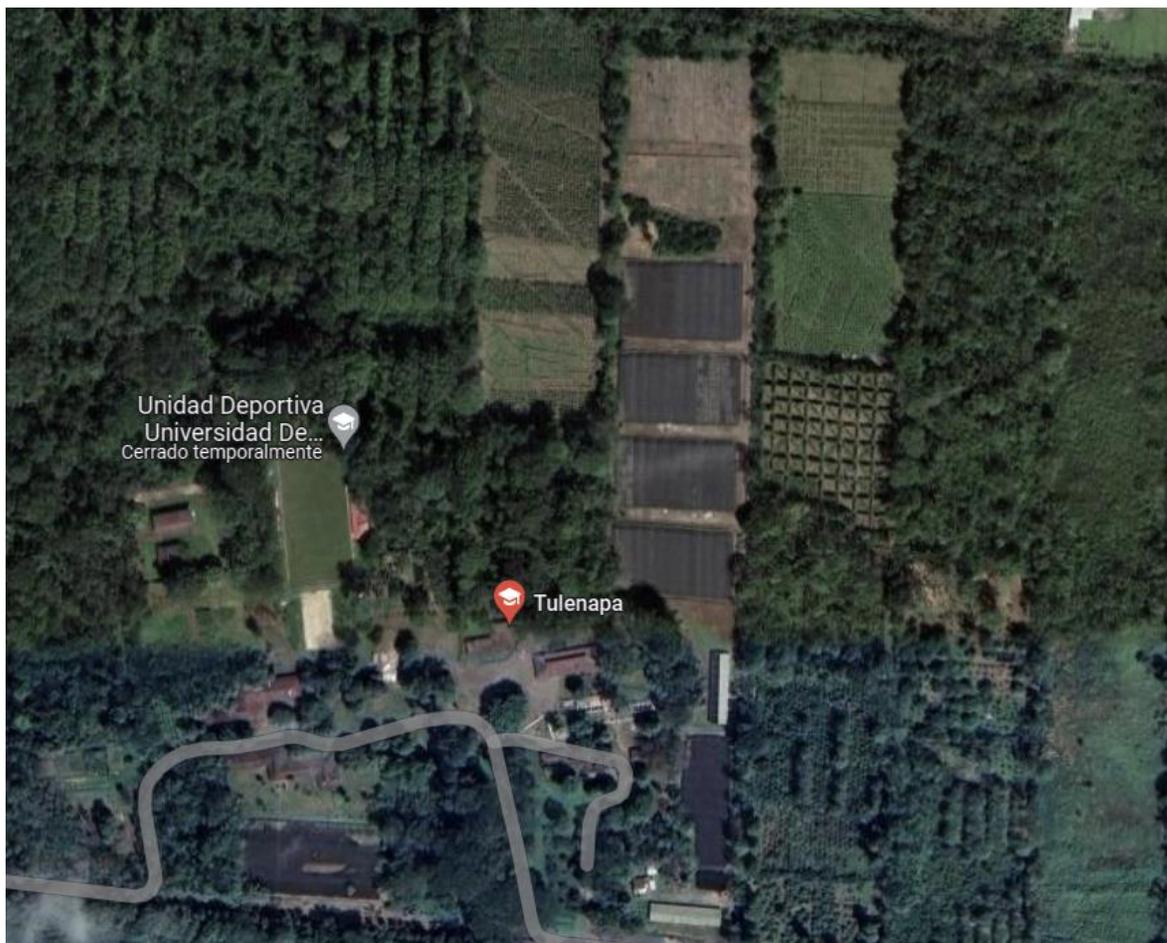
Metodología

Ubicación

El estudio se realizó en la universidad de Antioquia, seccional Urabá- sede Tulenapa. La sede se ubica en el municipio de Carepa, la temperatura promedio anual es de 28°C y con variaciones en la precipitación entre 2100 y 3800 mm al año.

Figura 2

Ubicación de la universidad de Antioquia, sede Tulenapa.



Nota. Fuente: <https://www.google.com/maps/search/tulenapa+cerca+de+Carepa,+Antioquia/@7.7753002,-76.6643965,820m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>

El material orgánico fue obtenido de la plaza de mercado del municipio de Apartadó, la plaza de mercado está ubicada en el suroeste de la cabecera municipal, en la calle 93 con carrera

102, la plaza ofrece locales comerciales para que los comerciantes los exploten ejerciendo una actividad comercial.

Sistema de recolección

A la vez, se realizó una investigación detallada sobre el destino de estos residuos, explorando los procesos desde la recolección hasta su disposición final. Este análisis integral permitió comprender el ciclo de vida de los desechos orgánicos en el entorno de la plaza de Apartadó.

Este enfoque permitirá evaluar de manera precisa el volumen de residuos orgánicos generados en la plaza, así como identificar los procedimientos actuales relacionados con su manejo y destino. Esta información será fundamental para el diseño y la implementación de un sistema de recolección eficiente y sostenible de materia orgánica en la plaza de mercado de Apartadó, contribuyendo a la gestión responsable de los residuos y promoviendo prácticas más amigables con el medio ambiente en la comunidad local.

Preparación de pilas

Se construyeron pilas de una masa de 200 kg, fueron construidas en forma de capas con una altura aproximada de 30 cm. Se prepararon diferentes mezclas en diferentes porcentajes de material vegetal y material orgánico de la plaza (Tabla 1). El material orgánico obtenido de la plaza de mercado se le realizó una separación de los residuos inorgánicos como plásticos, latas, entre otros. Posterior a esta separación se tomaron 1800 kg de material de la plaza, donde 900 kg se llevaron a un proceso de reducción de tamaño mediante una chipeadora, al terminar el proceso el material reducido y el material sin reducir se pesaron en 18 costales las siguientes cantidades, seis costales de 140 kg, seis costales 100 kg y seis costales 60 kg. La materia vegetal, fue obtenido de las podas y corte de césped y arboles de la universidad de Antioquia, seccional Urabá, sede Tulenapa.

Se delimito y asigno un área para cada pila de compost, a la cual se le llevo la proporción de materia vegetal, orgánica de la plaza que le correspondía (tabla 1) y se procedió a construir las

pilas de compost, iniciando con una capa de material vegetal, una capa de material orgánico, antes de iniciar con la tercera capa se insertaron dos tubos que contaban con una serie de perforación, de forma vertical para garantizar la aireación de las pilas y se continuo poniendo las capas de materia orgánica y de la plaza hasta llegar a la última capa que fue de material vegetal.

Diseño experimental

Se utilizo un diseño de bloques aleatorizado, Los factores de estudio son la composición de las pilas, presentando tres niveles distintos: 30%, 50% y 70% de materia vegetal y el tamaño de material en dos niveles: material chipeado y material sin chipear. Cada tratamiento se realizó por triplicado, lo que fortalece la robustez del diseño experimental y permite analizar la consistencia de los resultados en diferentes repeticiones.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos propuestos.

Tratamientos	Composición de las pilas	Tamaño de material
T1CH	70% de la pila estará compuesta por material vegetal	Material chipeado
T1SCH	y 30% de material orgánico de la plaza.	Material sin chipear
T2CH	50% material vegetal y 50% material orgánico de la	Material chipeado
T2SCH	plaza.	Material sin chipear
T3CH	30% de la pila estará compuesta por material vegetal	Material chipeado
T3SCH	y 70% de material orgánico de la plaza.	Material sin chipear

Nota: el tamaño del material hace referencia a que los tratamientos con material chipeado son más pequeños que los de material sin chipear.

Se realizo los análisis de varianza (ANOVA) de las variables velocidad de reducción de pilas, porcentaje de rendimiento, conversión y germinación por medio del programa estadístico Stargraphics, además de las pruebas de Fisher en el caso de las variables que presentaron diferencias significativas.

Medición de los Parámetros

Las mediciones de temperatura, pH y humedad se realizaron día por medio durante 4 meses consecutivos. Para la medición de estas variables se utilizó una sonda humedad relativa

digital (Meterk) para la humedad y un higrómetro medidor de pH y temperatura digital marca (AcuRite) para el pH y temperatura.

Adicionalmente se realizó la medición de la altura de las pilas de compost con una frecuencia semanal. Para la medición se utilizó una cinta métrica.

Calidad del compost

Rendimiento y conversión de compost

Se realizó el desmontaje de cada una de las pilas de compost al cabo de 4 meses de monitoreo, inicialmente se retiró el sistema de aireación, mediante un proceso de tamizado se realizó la separación del material final, el tamizado fue realizado bajo la norma NTC 1576 y NTC 1567 con el fin de medir la cantidad de material orgánico validado por la normatividad, para el tamizaje se utilizó una zaranda con un tamaño de por de 10mm, finalmente con una báscula electrónica se pesaron el material tamizado (material fino) y el material que no atravesó la zaranda (material grueso). A partir de los pesos del material tamizado se calculó el porcentaje del rendimiento y conversión.

Prueba de germinación

Se realizó un ensayo del porcentaje de germinación con el producto final para analizar la eficiencia del compost generado frente a un compost comercial. Para evaluar el porcentaje de germinación se recolectó humus generado de las 18 pilas experimentales, el cual fue previamente tamizado. Se tomaron bandejas de germinación y se agregó el humus de las 18 pilas experimentales, por cada tratamiento se realizó una siembra de 16 semillas, se realizó un tratamiento extra con abono orgánico comercial (Bigfertil), con el fin de analizar la efectividad del producto obtenido respecto al comercial. Se utilizaron semillas de *Tomate rio grande* las cuales fueron obtenidas en una tienda comercial. Las semillas antes de ser utilizadas se les hizo un proceso de balceo con el fin de retirar las semillas vanas, con el fin de usar las mejores. Luego de la siembra se realizó un proceso de riego y se procedió a monitorear el crecimiento de las semillas por 15 días.

Resultados

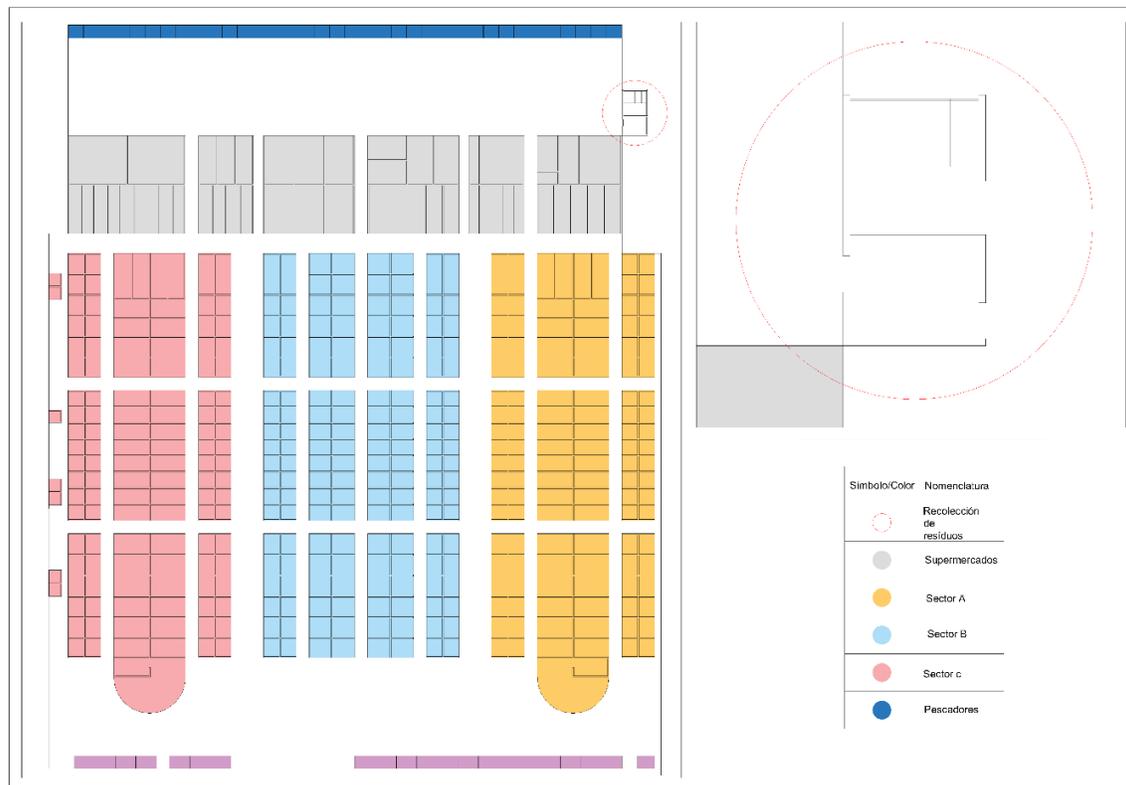
Sistemas de recolección

Desde el compromiso por la regulación de los residuos sólidos, el aprovechamiento y clasificación de desechos con el fin de mitigar la problemática ambiental, este proyecto de investigación se centra en buscar estrategias de manejo de los residuos bajo el aprovechamiento en producción de compost. En el primer acercamiento a la principal fuente de residuos sólidos se crea un plano de la plaza de mercado del municipio de Apartadó Antioquia (Figura 3), además se realizaron algunas entrevistas al personal que labora en la plaza, se tomaron evidencias

fotográficas de la fuente primaria y a través de la información obtenida se propone una serie de sugerencias de mejoramiento para la construcción de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional (PGIRS) acorde a las necesidades vistas y dialogadas dentro de la plaza de mercado

Figura 3

Plano de plaza de Apartadó



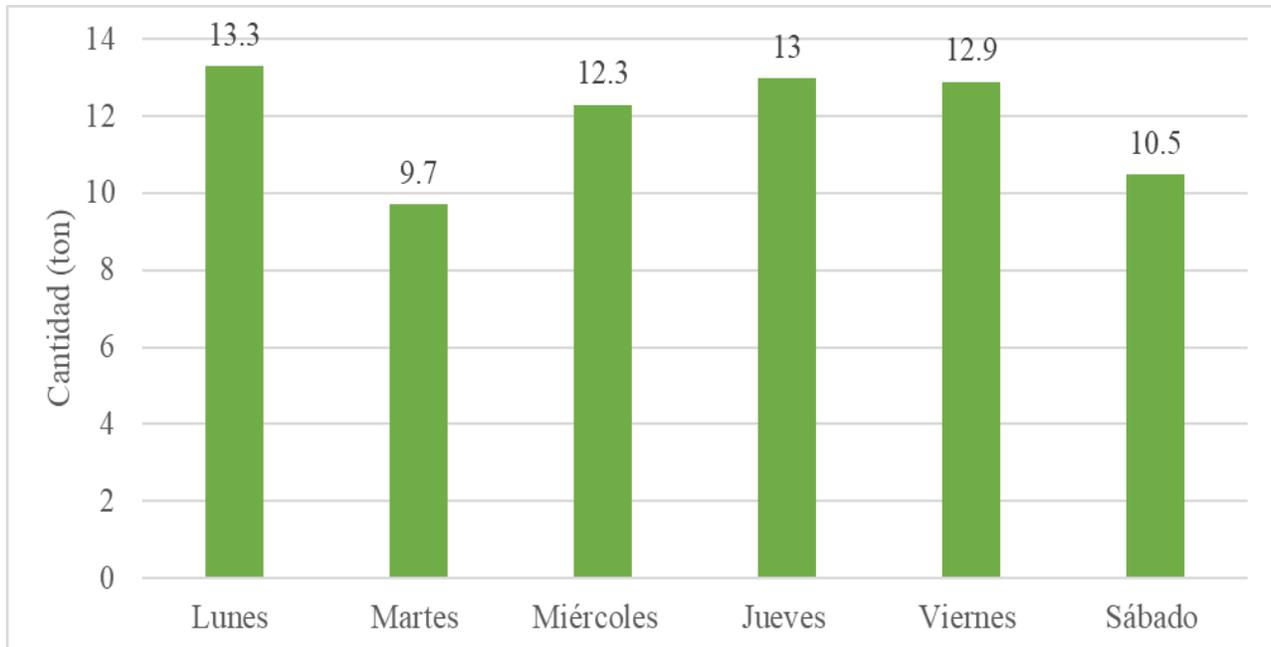
Nota: Blanco: Recolección de residuos, Gris: Supermercado, Amarillo: Sector A, Turquesa: Sector B, rosado: Sector C y Azul: pescadores

Se realizó la gestión para la optimización de residuos en la plaza de mercado de Apartadó, la cual cuenta con 513 locales constituidos por supermercados, carnicerías, fruvers, restaurantes, licorerías, almacenes de ropa, entre otros. Se hizo una sectorización y se ubicaron los locales entre supermercados y fruvers (figura 3). Para ello se implementó un sistema de recolección de materia orgánica que involucró una serie de estrategias claves. En primer lugar, se formuló y ejecutó una colaboración mancomunada con el comercio, específicamente con fruvers y supermercados (18 locales) para la recolección de residuos orgánicos, generados por comerciantes y visitantes; cabe destacar que el proceso se desarrolló bajo el principio del pesaje por parte de los locales de los

residuos generados cada día. Este enfoque se llevó a cabo durante seis días, registrando meticulosamente la generación de residuos, proporcionando datos cuantitativos precisos sobre la cantidad y tipo de desechos orgánicos en la plaza (Figura 4.).

Figura 4

Cantidad de residuos orgánicos y no orgánicos de los supermercados y fruvers de la plaza de mercado del municipio de Apartadó, Antioquia.



En la figura 4 se observa la cantidad aproximada en toneladas que producen los locales (supermercados y Fruver) durante 6 días, los días con mayor descarga de residuos fueron lunes, jueves y viernes. Sin embargo, en promedio se producen 11.95 ± 0.1 toneladas de residuos diarios. Cabe resaltar que durante la disposición de los residuos de la plaza se logró observar que aproximadamente el 80% de los locales no realizan correctamente la separación de los residuos, ya que mezclan material orgánico e inorgánico, lo cual termina en el mismo contenedor en el momento que es recogida por la empresa a cargo (Futuraseo S.A) y por ende en el relleno sanitario.

Parámetros de compost

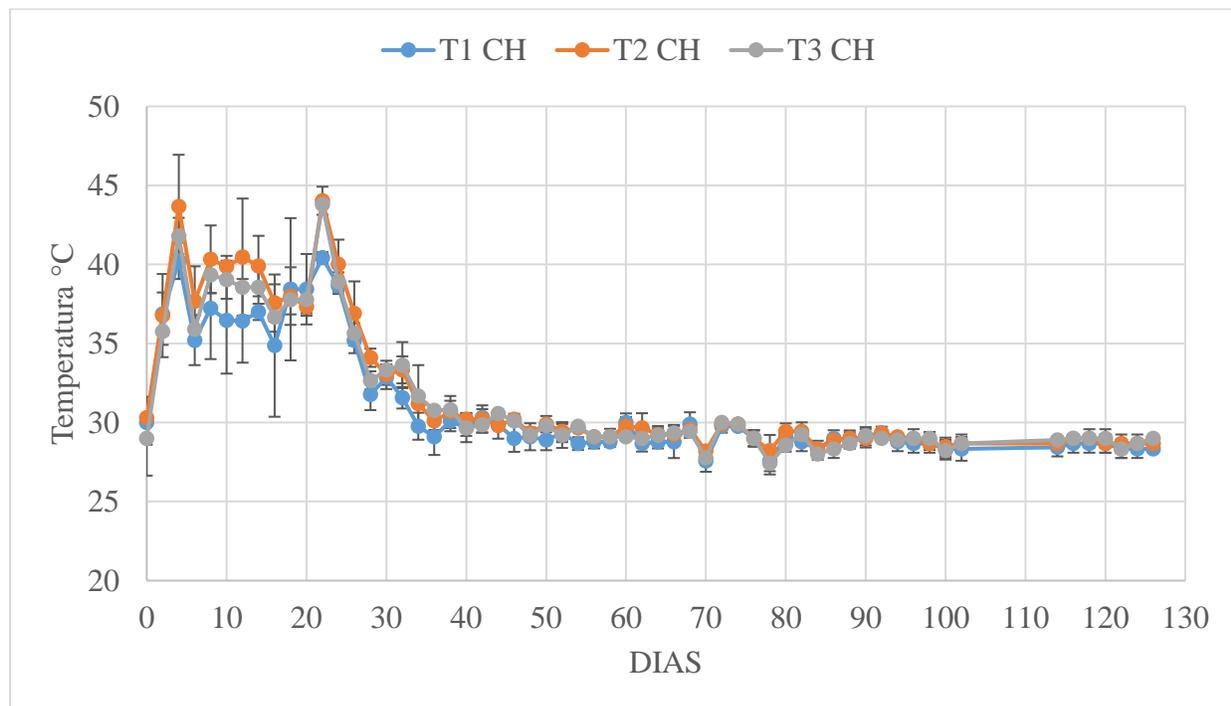
Durante tres días consecutivos, se recolectó material orgánico en la Plaza de Apartadó, logrando obtener 1.8 toneladas de residuos orgánicos. Este proceso se realizó meticulosamente, separando de manera eficiente la materia orgánica de la inorgánica. Tras completar la separación, se generaron 18 pilas de compostaje, cada una armada acorde al diseño experimental (Tabla1) identificados con sus respectivas replicas, identificados como T1 CH, T1 SCH, T2 CH, T2 SCH,

T3 CH Y T3 SCH. Después de la construcción de las pilas de compostaje, se inició un período de monitoreo que se extendió por 4 meses. En este lapso se registraron y analizaron sistemáticamente la temperatura, el pH y la humedad de cada pila de compostaje, para evaluar su evolución y eficacia en el proceso.

Temperatura

Figura 5

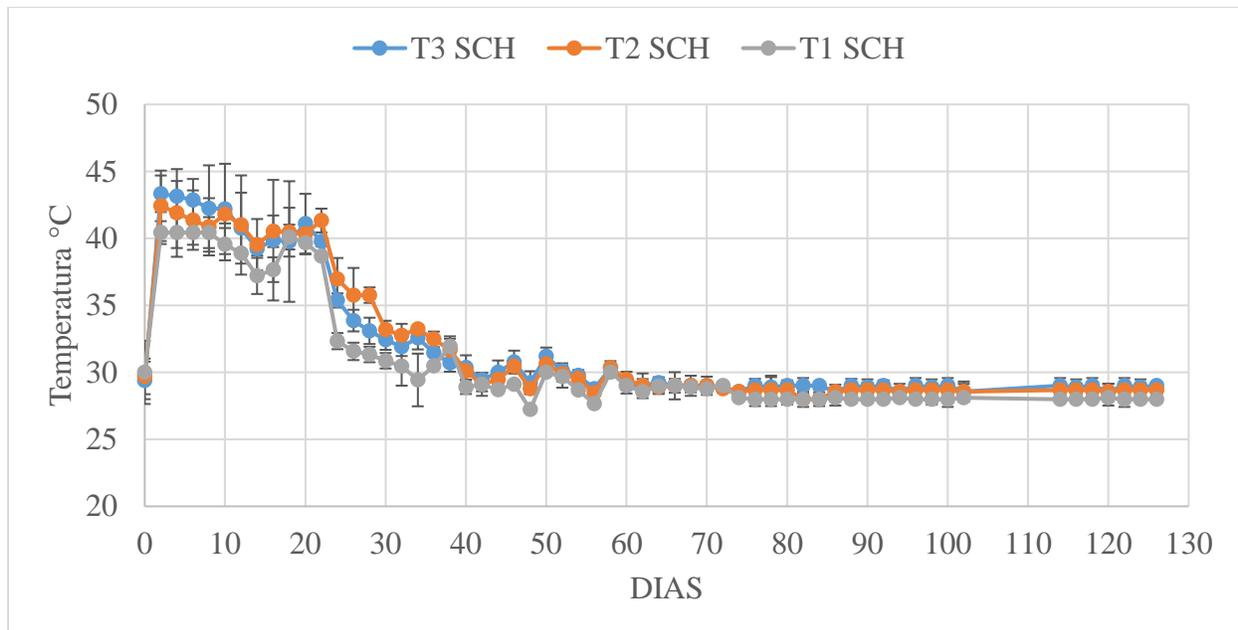
Comportamiento de la temperatura de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos de material chipecado durante 126 días.



Nota: T1 CH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza chipecado (línea azul), T2 es CH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza chipecado (línea naranja) y T3 CH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza chipecado (línea gris).

Figura 6

Comportamiento de la temperatura de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos de material sin chipear durante 126 días.



Nota: T1 SCH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza sin chipear (línea azul), T2 es SCH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea naranja) y T3 SCH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea gris).

En la figura 5 aparece la temperatura de los tres tratamientos con material chipecado en los 126 días monitoreados, se observa un comportamiento similar entre todas las pilas, con un aumento en el día 2, donde se resalta el tratamiento T2CH con un aumento de 6.9°C alcanzando una temperatura de 43.7°C , desde día 4 hasta el día 18 se ve un descenso por parte de todos los tratamientos, y nuevamente se eleva en el día 20 se eleva la temperatura donde los tratamientos T2CH y T3CH muestran un mayor aumento alcanzando 44 y 43.8°C respectivamente, a partir de este día desciende hasta estabilizarse desde el día 40. En este factor se observa la etapa termófila inicia en el día 2 hasta el día 22, posteriormente inicial la fase de enfriamiento la cual finaliza en el día 40 e inicia la etapa de maduración, que ya se finaliza en el día 126.

En la figura 6 se observa el comportamiento de la temperatura de los tratamientos con material sin chipear, en estos tratamientos se observa un acenso de la temperatura desde el día 2, donde el tratamiento T3SCH presenta los valores más altos a lo largo del monitoreo con una temperatura máxima de 43.3°C alcanzada en el día 2. Seguidamente los tratamientos T2SCH y T1SCH. En el día 22 se presenta una leve elevación por parte del tratamiento T2SCH en comparación a los otros tratamientos hasta el día 38, sin embargo, la diferencia no es significativas. Estos tratamientos presentan un inicio de la etapa termófila desde el día 2 hasta el día 20. Por otro

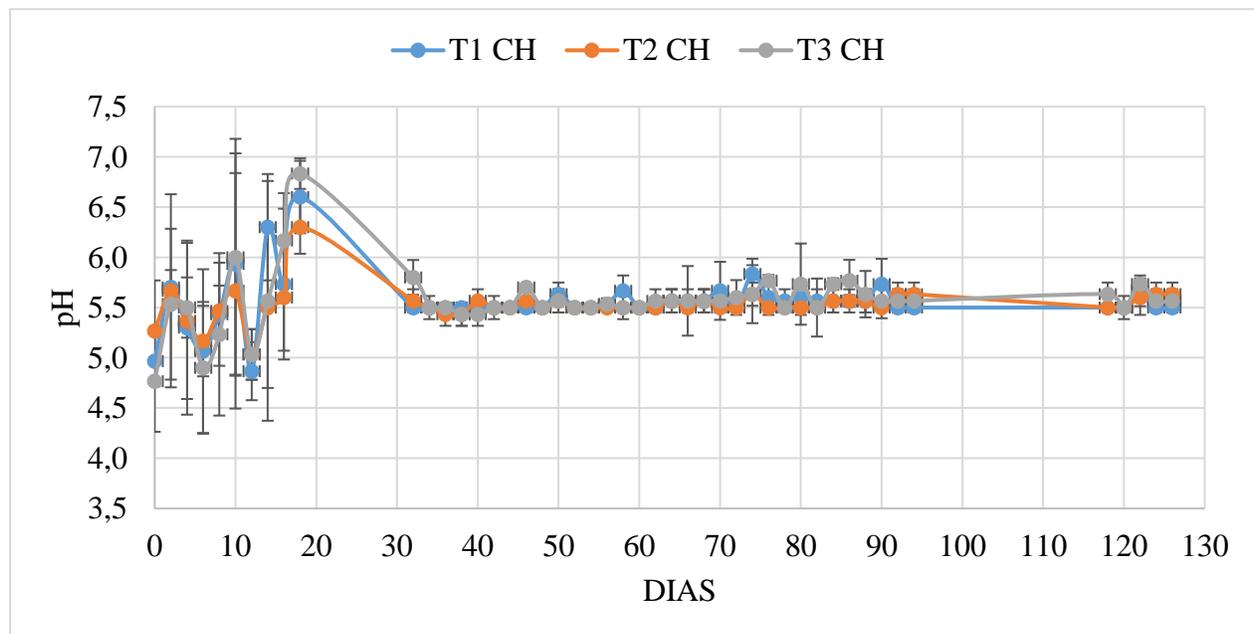
lado, la etapa de enfriamiento inicial en el día 22 y finaliza en el día 40, finalmente da inicio la etapa de maduración la cual es finalizada en el día 126.

En general se observa que los tratamientos evaluados no se observan diferencias significativas evaluadas desde el factor de tamaño de material (material chipecado y sin chipear), por otro lado en la composición de las pilas se observó una variabilidad entre tratamientos lo que pueden ser explicadas por la cantidad de orgánico vegetal, ya que se observó que los tratamientos que contenían 30% de material vegetal presentaron valores mayores de temperatura, sin embargo, es importante mencionar que ningún tratamiento supera una temperatura de 50°C lo que puede estar influenciado directamente al tamaño de las pilas ya que al ser tan bajas pueden perder mayor calor o factores ambientales como la temperatura ambiente y la influencia de la humedad de la zona.

pH

Figura 7

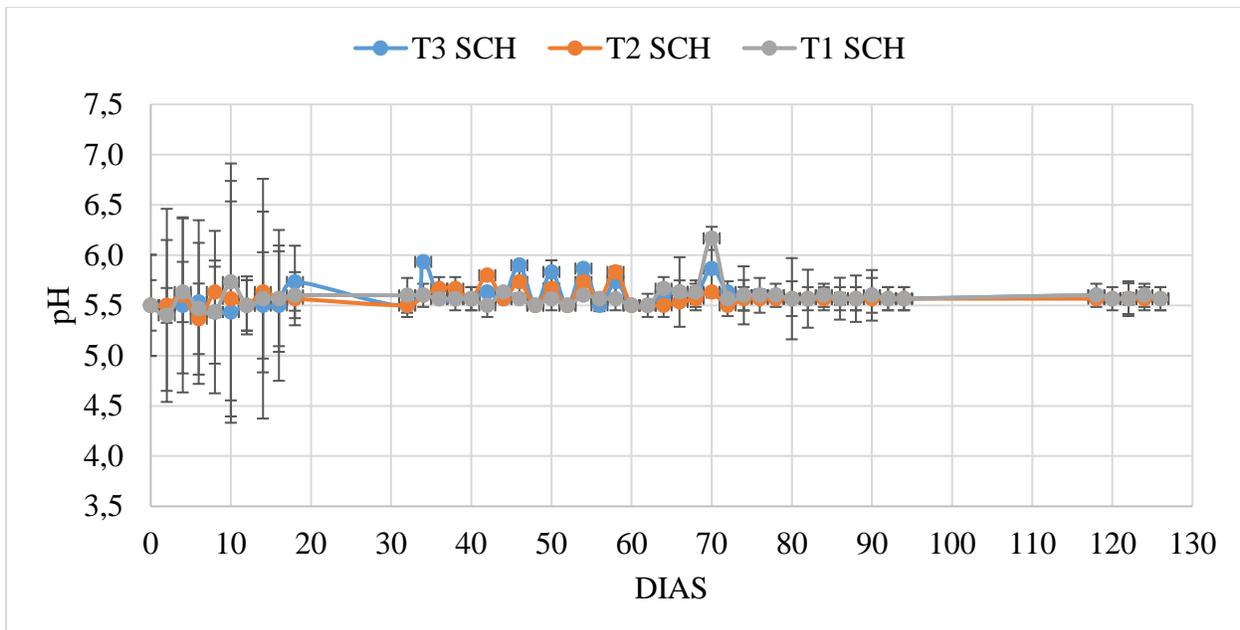
Comportamiento del pH de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material chipecado durante 126 días.



Nota: T1 CH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza chipecado (línea azul), T2 es CH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza chipecado (línea naranja) y T3 CH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza chipecado (línea gris)

Figura 8

Comportamiento del pH de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material sin chipear durante 126 días.

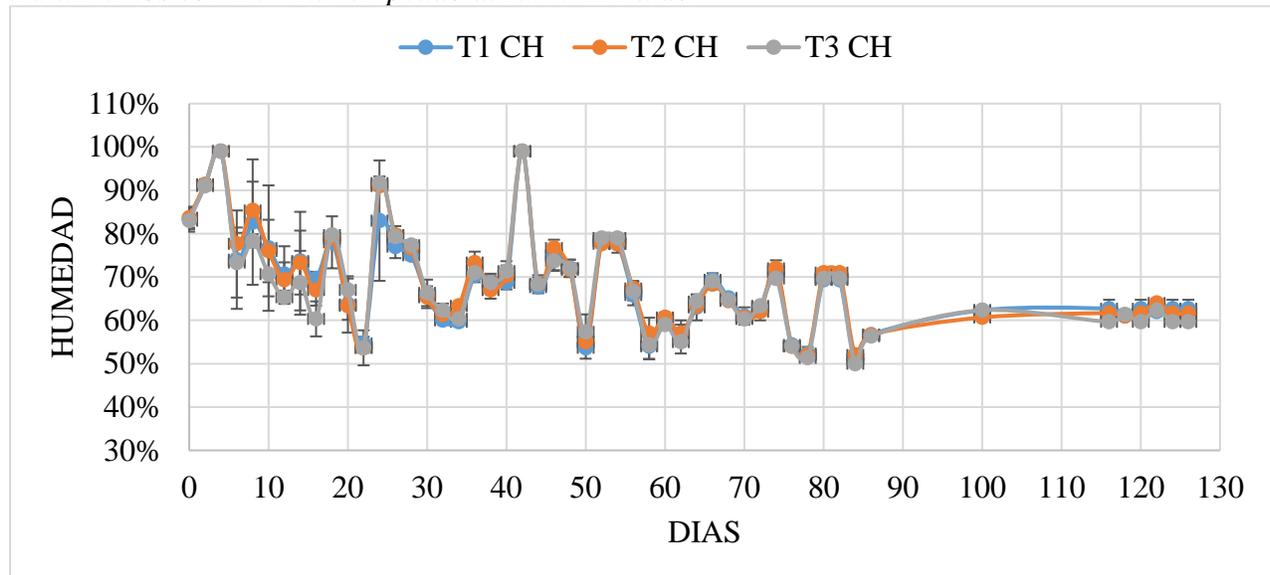


Nota: T1 SCH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza sin chipear (línea azul), T2 es SCH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea naranja) y T3 SCH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea gris).

En la figura 7 se puede observar el comportamiento del pH en los tres tratamientos con material chipearo al cabo de 126 días de monitoreo, los pH entre los tratamientos presentan un comportamiento similar, sin embargo, en el día 18 se observa que todos los tratamientos alcanzan su pH máximo, el tratamiento T3CH muestra el valor de pH más alto 6.8 tendiendo a la neutralidad, seguidamente el tratamiento T1CH con un valor de pH 6.6 por último el tratamiento T2CH muestra un valor de 6.3. Por otro lado, en la figura 8 se observa el comportamiento del pH en los tratamientos con material sin chipear, donde el pH en general se mantiene estable para todos los tratamientos no superando valores de 6, sin embargo, se observa en el día 70 el tratamiento T1SCH donde alcanzo un pH de 6.2. Lo anterior sugiere que la cantidad de material vegetal influye sobre el pH de las pilas de compost donde el tamaño de la partícula es mayor, es decir los tratamientos con material sin chipear. Cabe resaltar que entre factores si se presentan algunas diferencias que pueden ser atribuida directamente al tamaño de la partícula, pues los tratamientos con material chipearo obtuvieron valores más altos de pH al inicio del proceso, sin embargo, ambos factores de tratamientos presentaron una estabilización en un pH de 5.5 aproximadamente.

Humedad **Figura 9**

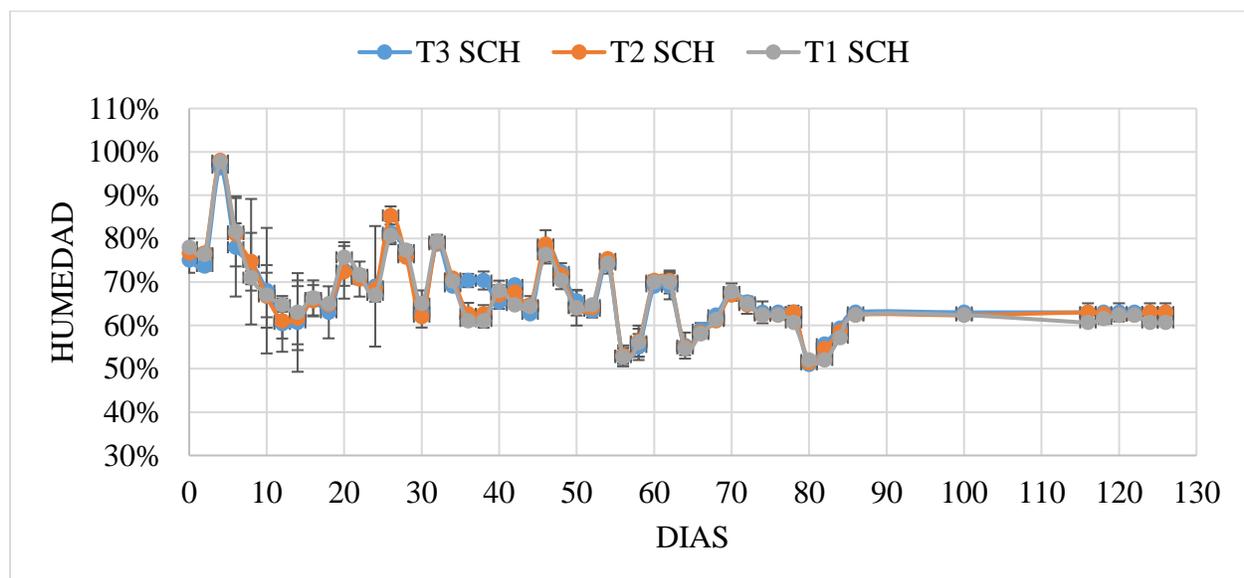
Comportamiento del porcentaje de humedad de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material chipecado durante 126 días.



Nota: T1 CH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza chipecado (línea azul), T2 es CH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza chipecado (línea naranja) y T3 CH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza chipecado (línea gris).

Figura 10

Comportamiento del porcentaje de humedad de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos con material sin chipear durante 126 días.



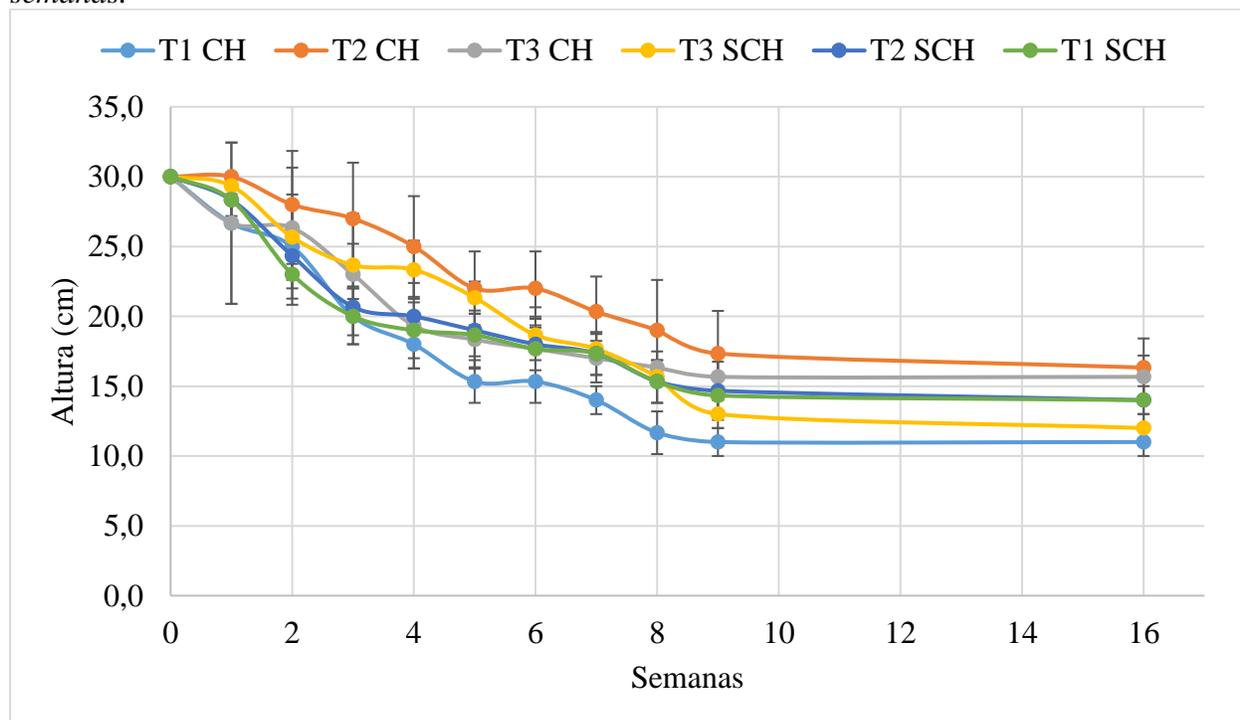
Nota: T1 SCH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza sin chipear (línea azul), T2 es SCH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea naranja) y T3 SCH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea gris).

En la figura 9 y 10 se observa el comportamiento del porcentaje de humedad de las pilas de compost con material chipecado y sin chipear respectivamente, en ambos factores de tratamientos se ve una tendencia similar, donde la humedad se estabiliza en los últimos días en 60%. Cabe resaltar que durante el monitoreo se presentan elevaciones de la humedad las cuales están directamente relacionadas a fuentes externas climáticas, sin embargo, en un análisis general se observó que en el día 42 los tratamientos con material chipecado presentaron valores de 99%, por lo contrario de los tratamientos de sin chipear presentaron valores no mayor al 68%, es decir que algunas pilas presentan mayor absorción de humedad pues en los días lluviosos presentaron una mayor elevación de esta, lo que sugiere que el tamaño de la partícula y la cantidad de material vegetal no generan un efecto significativo sobre la humedad.

Altura de las pilas

Gráfico 1

Comportamiento de la altura de las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos por 16 semanas.



Nota: T1 CH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza chipecado (línea azul), T2 es CH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza chipecado (línea naranja), T3 CH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza chipecado (línea gris), T1 SCH es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza sin chipear (línea verde), T2 es SCH 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea azul rey) y T3 SCH es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza sin chipear (línea amarilla).

La altura inicial registrada para cada tratamiento se tomó minutos después de la construcción de cada pila de compost, la altura inicial para todos los tratamientos fue de 30 cm, la reducción total de la altura vario entre los diversos tratamientos. El tratamiento T1CH fue el que mostro una mayor reducción con una altura final de 11 cm, reduciendo más de la mitad de la altura inicial, por otro lado, el tratamiento con mayor altura fue el T2CH con un valor de 16.3 cm. En general a partir de la semana 9 se estabilizaron todos los tratamientos. Con el fin de evaluar si se presentaron diferencias significativas entre bloques y entre tratamientos se calculó la velocidad de reducción de la altura a partir del modelo lineal entre la semana 0 y la semana 9 que inicio la estabilización de las pilas; se realizó un análisis estadístico de ANOVA con un valor p- 0.05 (Tabla 2), en el caso del factor cantidad de material el cual hace referencia a la proporción de material vegetal y material orgánico se presentó diferencias significativas, es decir la cantidad de material influye en la reducción de la altura de las pilas, por otro lado, el tamaño de material es decir, material chipeado y sin chipear mostro un valor p de 0.174, es decir mayor a P- 0.05, indicando que el tamaño de material no influye sobre la reducción de la altura, para determinar que tratamientos presentan diferencias se realizó un test de múltiples rangos LSD (Least significant difference).

Tabla 2

Análisis de varianza de la velocidad de reducción de altura

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Main effects					
A: Tamaño de material	0.0672245	1	0.0672245	2.09	0.1704
B: Cantidad de material	0.296895	2	0.148447	4.61	0.0289
Residual	0.450505	14	0.032179		
Total (corrected)	0.7476	17			

Nota: Todos los coeficientes F se basan en el error cuadrático medio residual.

Tabla 3*Pruebas de rango múltiple para velocidad de reducción de altura por tamaño de materia*

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
T1 - T2	*	-0.414909	0.293471
T1 - T3	*	-0.315091	0.293471
T2 - T3		0.0998182	0.220103

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa. Método: 95 por ciento LSD. T1 hace referencias a los tratamientos con 70% de material vegetal y 30% material orgánico de la plaza, el T2 50% material orgánico y 50% material vegetal, por último, T3 30% material vegetal y 70% materia orgánica.

En la tabla 3 se observa los resultados de un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes de las demás. El método que se utiliza actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método, hay un riesgo del 5.0% de que cada par de medias sea significativamente diferente cuando la diferencia real es igual a 0. Se ha colocado un asterisco junto a 2 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95.0%, en los cuales se observan que existe entre los tratamientos con 30% de material vegetal y 50% de material vegetal; 30% de material vegetal y 70% de material vegetal, lo anterior sugiere que los tratamientos con 70% de material vegetal están generando un efecto directo sobre la velocidad de reducción de la altura de las pilas que puede ser explicado por la composición bioquímica del material vegetal que influye directamente en el crecimiento de microorganismos que realizan la degradación de estos materiales y va directamente relacionado en la reducción de la altura de las pilas.

Calidad del compost

Este estudio se enfoca en una evaluación exhaustiva de la calidad del compost, desde sus etapas iniciales hasta la evaluación final mediante pruebas específicas, como el porcentaje de rendimiento y porcentaje de conversión, tomando como base el material tamizado como materia fina con la finalidad de medir la cantidad de material orgánico comercial bajo la norma NTC 1576, 1567 y prueba de germinación para analizar la eficiencia del compost generado frente a un compost comercial.

Rendimiento y conversión

Para calcular el porcentaje de rendimiento y de conversión se pesó la cantidad de materia fina y se calculó con las siguientes formulas:

Rendimiento:

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso de materia fina}}{\text{Peso total}} * 100$$

Conversión:

$$\%Conversion = \frac{[\text{Peso inicial total} * (1 - \%Hi)] - [\text{Peso final total} * (1 - \%Hf)]}{[\text{Peso inicial total} * (1 - \%Hi)]} * 100$$

Tabla 4

Resultados de conversión y rendimiento de las pilas de compost

Tratamiento	Material fino (kg)	Peso total final (Kg)	Rendimiento (%)	Conversión (%)
T1 CH	21.00 ± 7.15	49.17 ± 8.79	42.71 ± 6.96	46.50 ± 9.56
T2 CH	20.20 ± 4.86	36.77 ± 8.76	54.94 ± 11.41	59.99 ± 9.53
T3 CH	21.20 ± 0.40	45.63 ± 4.43	46.46 ± 3.30	50.34 ± 4.82
T3 SCH	22.17 ± 5.20	59.22 ± 9.01	37.43 ± 4.67	35.56 ± 9.80
T2 SCH	10.83 ± 3.26	31.92 ± 3.86	33.94 ± 6.30	65.27 ± 4.20
T1 SCH	25.30 ± 3.64	57.25 ± 4.83	44.19 ± 4.83	37.70 ± 6.80

Nota: Peso de material fino el cual hace referencia como material tamizado, peso total final como peso final por pilas, rendimiento y conversión calculado a partir de las fórmulas.

En la tabla 4 se observa los pesos de materia fina y total final. Los porcentajes de rendimiento y conversión. Los tratamientos que produjeron mayor cantidad de material fino y total final fueron T1SCH y T3 SCH, y los tratamientos con menor cantidad de material fino fueron T2SCH y T2CH. Sin embargo, en el caso del porcentaje de rendimiento los tratamientos con mayores porcentajes fueron T2CH y T1SCH, y los tratamientos con menor porcentaje fueron T3SCH y T2SCH, por otro lado, en el porcentaje de conversión se observa que los tratamientos T2SCH y T2CH tuvieron valores mayores y los tratamientos T3SCH y T1SCH presentaron valores menores de conversión. En general se observa que el peso de material fino no influye sobre el porcentaje de conversión pues pese a obtener menor cantidad los porcentajes de conversión son mayores. Con el fin de analizar si se presentan diferencias significativas entre los factores

evaluados se realizó un análisis de varianza (ANOVA) al porcentaje de conversión y de rendimiento.

Tabla 5

Análisis de varianza del porcentaje de rendimiento.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Main effects					
A: Tamaño de material	44,6899	1	44,6899	0,86	0,3691
B: Composición de pilas	22,3594	2	11,1797	0,22	0,8088
Residual	726,281	14	51,8772		
Total (corrected)	843,401	17			

Nota: Todos los coeficientes F se basan en el error cuadrático medio residual.

En la tabla 5 se observa el análisis de varianza del porcentaje de rendimientos evaluados desde los dos factores en los cuales se observa que ningún valor P es inferior a 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de rendimiento al nivel de confianza del 95,0%. Es decir que el tamaño de material y la composición de las pilas no afectan el porcentaje de rendimiento.

Tabla 6

Análisis de varianza del porcentaje de conversión.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Main effects					
A: Tipo de material	124,519	1	124,519	0,74	0,4027
B: Cantidad de material	685,048	2	342,524	2,05	0,1658
Residual	2340,99	14	167,214		
Total (corrected)	3462,54	17			

Nota: Todos los coeficientes F se basan en el error cuadrático medio residual.

En la tabla 6 se observa el análisis de varianza del porcentaje de conversión evaluados desde los dos factores en los cuales se observa que ningún valor P es inferior a 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de Rendimiento al nivel de confianza del 95,0%. Es decir que el tamaño de material y la composición de las pilas no afectan el porcentaje de conversión.

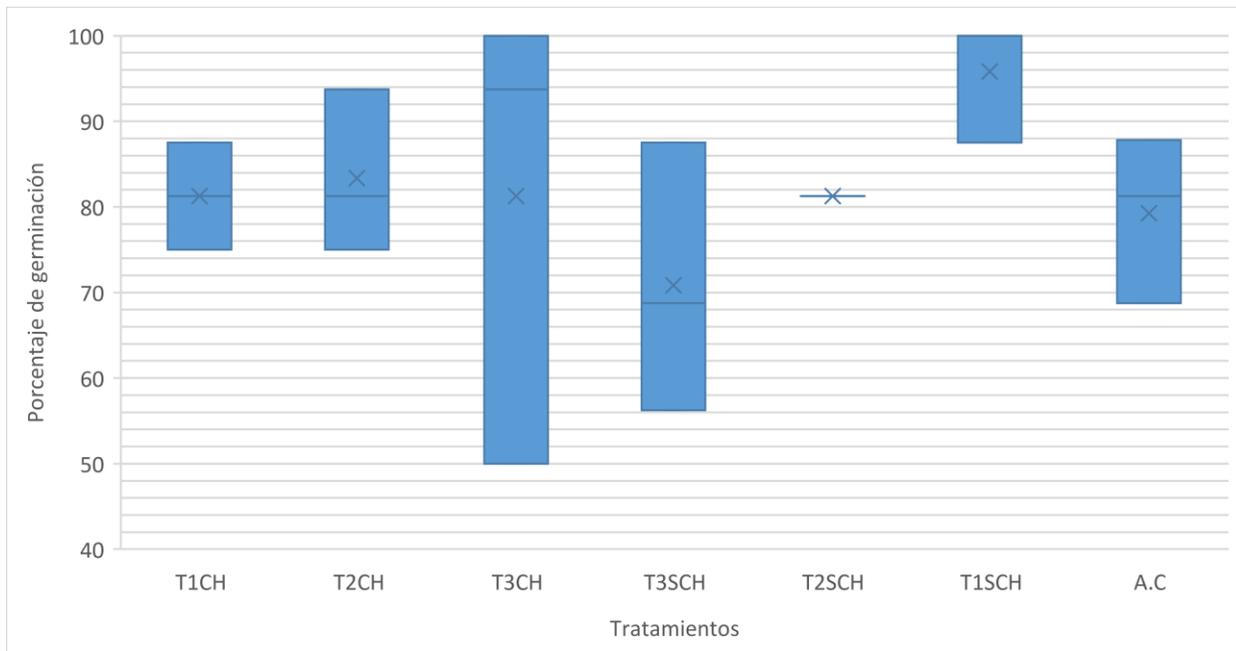
Germinación

Para la prueba de germinación se hizo el recuento de las semillas que germinaron y a partir de esta cantidad se calculó el porcentaje de germinación teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\%germinación = \frac{Semillas\ germinadas}{Total\ de\ semillas\ sembradas} * 100$$

Figura 11

Diagrama de bloques del porcentaje de germinación por tratamientos



Nota: T1 es 70% material vegetal y 30% material orgánico de la plaza, T2 es 50% de la pila estará compuesta por material vegetal y 50% de material orgánico de la plaza sin chipear y T3 es 30% de la pila estará compuesta por material vegetal y 70% de material orgánico de la plaza sin chipear. SCH es material sin chipear y CH es material chipearo. A.C es un tratamiento adicional de abono comercial.

En la figura 11 se observa los resultados obtenidos en los porcentajes de germinación expuestos en un diagrama de bloques que permite ver la desviación estándar y la media. Se encontró que la mayoría de los tratamientos presentaron valores por encima del 80%, es importante resaltar que el tratamiento T1SCH obtuvo los valores más altos de germinación (95.8%) por lo contrario el tratamiento T3SCH que presentó un valor de 70.8% de germinación y abono comercial 79.1%. Por otro lado, los tratamientos con material chipearo presentaron valores cercanos entre 81% a 83%. Teniendo en cuenta estos resultados se realiza el análisis de varianza con la finalidad de observar si el tamaño del material y la composición de las pilas generan un efecto significativo sobre el porcentaje de germinación (Tabla 7).

Tabla 7*Análisis de varianza de porcentaje de germinación*

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Main effects					
A: Tamaño de material	2,17014	1	2,17014	0,01	0,9189
B: Composición de pilas	468,75	2	234,375	1,16	0,3420
Residual	2829,86	14	202,133		
Total (corrected)	3300,78	17			

Nota: Todos los coeficientes F se basan en el error cuadrático medio residual.

En la tabla 7 se observa el análisis de varianza del porcentaje de germinación evaluados desde los dos factores tamaño de material y composición de las pilas, en los cuales se observa que ningún valor P es inferior a 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de Rendimiento al nivel de confianza del 95,0%. Es decir que el tamaño de material y la composición de las pilas no afectan el porcentaje de germinación.

Discusión

El estudio abordó la problemática de los residuos sólidos en la plaza de mercado de Apartadó, Antioquia, para implementar estrategias de manejo de residuos basadas en el compostaje. A través de la colaboración con los comerciantes locales, se gestionó la recolección de residuos orgánicos, proporcionando datos cuantitativos sobre la generación de desechos en la plaza. Se evidenció que, a pesar de la implementación del sistema la mayoría de los locales no separaban adecuadamente los residuos, lo que afectaba su disposición final. Esto sugiere la necesidad de mejorar la conciencia y la educación sobre la separación de residuos para optimizar el proceso de compostaje. El municipio de Apartadó no es ajeno a tomar acciones responsables en cuanto a la elaboración e implementación del PGIRS y sabe que en la plaza de mercado publica se viene presentando un mal manejo en cuanto a la gestión integral de residuos sólidos, afectando aspecto técnico, económico y ambiental entre otras falencias. Desde este proyecto de investigación se hacen unas sugerencias basadas en lo observado y teniendo en cuenta los PGIRS de municipios como Guarne, Rionegro y estrategias usadas en el centro de compostaje en Corabastos (Bogotá). los cual incluye algunos aspectos que pueden ser implementados en la plaza de mercado de Apartadó para mejorar la gestión integral de residuos sólidos. Uno de los puntos a resaltar es la implementación de un sistema de recolección selectiva. El PGIRS de Guarne establece que se debe implementar un sistema de recolección selectiva, separando los residuos en tres categorías: aprovechable, no aprovechable y peligrosos acordes al Decreto 2981 del 2013 ((Alcaldía de Guarne, 2020). Otro aspecto importante es la elaboración de un plan de compostaje, en el caso del El PGIRS de Rionegro implementan un plan de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos generados en el municipio, este plan contempla la construcción de plantas de compostaje para procesar los residuos orgánicos y obtener compost que se usa como abono orgánico para mejorar la fertilidad del suelo. Es importante destacar que la conciencia y promoción de los usuarios es fundamental al implementar estrategias de mejoramiento en el manejo de residuos (ACODAL SECCIONAL NOROCCIDENTE, 2015). Corabastos incluye un componente que contempla la realización de campañas de sensibilización para informar a la comunidad sobre la importancia de la separación de residuos, el aprovechamiento de los residuos y la reducción de la generación de residuos (CORABASTOS, 2022). Las estrategias mencionadas anteriormente han demostrado ser efectivas en la reducción de la cantidad de residuos enviados a rellenos sanitario, al implementar este enfoque en la plaza de mercado de Apartadó permitiría mejorar la gestión de

residuos sólidos, aumentando el aprovechamiento de y reduciendo la cantidad de desechos enviados al relleno sanitario el TEJAR. Además de estos aspectos, la plaza de mercado de Apartadó puede implementar otras medidas para mejorar la gestión integral de residuos sólidos, como la instalación de contenedores de recolección de residuos en puntos estratégicos de la plaza, esto facilitaría la separación de residuos por parte de los comerciantes y visitantes; ofrecer incentivos a los comerciantes y visitantes que separen los residuos; realizar monitoreos periódicos para evaluar la efectividad de las acciones implementadas. En general la implementación de estas medidas contribuiría a reducir la generación de residuos sólidos en la plaza de mercado de Apartadó, aumentar el aprovechamiento de estos residuos y disminuir la disposición final en rellenos sanitarios

El compostaje de residuos orgánicos es un proceso crucial para la gestión sostenible de los desechos, especialmente en entornos urbanos emergentes donde se enfrentan desafíos significativos en la gestión de residuos sólidos. Este proceso implica una serie de cambios físicos, químicos y biológicos que son fundamentales para la transformación de los desechos orgánicos en un producto final. El análisis detallado de los parámetros clave, como la temperatura, humedad, pH y la disminución de la altura en las pilas de compostaje, proporciona una visión profunda del proceso y su evolución a lo largo del tiempo. El análisis de las temperaturas registradas durante el tratamiento de residuos orgánicos proporciona una visión detallada de cómo diferentes factores que influyen en la generación de calor en las pilas de compost. Estos datos son fundamentales para comprender la eficacia del proceso y su capacidad para descomponer los materiales orgánicos de manera efectiva, ya que existe una relación directa entre temperatura y la degradación de la materia orgánica (Bueno et al., 2008). La temperatura es un indicador crítico del estado del compostaje, ya que refleja la actividad microbiana y a su vez la descomposición de la materia orgánica. Es importante tener presente que las diferentes proporciones y tipos de material pueden influir en la temperatura de las pilas durante el proceso de compostaje. Estas variaciones pueden atribuirse a la composición de los materiales orgánicos utilizados en cada tratamiento, así como a factores ambientales y de gestión del compostaje (González & medina, 2008). El pH del compost también desempeña un papel importante en el proceso de descomposición, de acuerdo con los datos obtenidos se observaron variaciones en el pH entre los diferentes tratamientos, lo que puede influir en la actividad microbiana y la calidad final del compost, se observa que diferentes proporciones de material vegetal chipeado y sin chipear pueden afectar el pH del compost, con valores promedio

entre 5.02 y 5.52. Estas diferencias pueden atribuirse a la liberación de ácidos orgánicos durante el proceso de descomposición, así como a otros factores como la aireación y la compactación del compost (Miyatake & Iwabuchi, 2006). El contenido de humedad se considera uno de los parámetros clave que afectan el proceso de biodegradación. Muchos estudios previos han sugerido un contenido de humedad adecuado para lograr una operación de compostaje exitosa. Los resultados de este proyecto muestran que la humedad varía significativamente a lo largo del proceso de compostaje sin embargo los valores más bajos de humedad fueron 50%. Estos cambios pueden ser el resultado de la composición inicial de los materiales orgánicos, así como la aeración, factores ambientales u otros. De acuerdo con Kim y col. (2016) recomendó mantener el contenido de humedad de la pila de compostaje entre 40% y 60%. El bajo contenido de humedad (por debajo del 40%) limita la actividad microbiana. Por otro lado, una humedad muy alta desencadena condiciones anaeróbicas porque los espacios porosos de las matrices sólidas están llenos de agua en lugar de aire, que a su vez afecta parámetros como el pH y la temperatura (Azura et al., 2018). La disminución de la altura de las pilas de compostaje es un indicador visual del progreso del proceso. Se observó una reducción gradual en la altura de las pilas a medida que avanza el compostaje, en el estudio se registra una disminución en la altura de las pilas de compostaje de 30,0 cm a 11,0 cm después de 16 semanas. Este fenómeno puede atribuirse a la descomposición y compactación de los materiales orgánicos dentro de las pilas (Afanador, 2021). Muchas investigaciones indicaron que la reducción significativa en la masa y el volumen del material se produjo durante el compostaje. La reducción de la masa y el volumen del material se considera uno de los parámetros clave para el diseño y gestión de una instalación de compostaje (Breitenbeck & Schellinger, 2004; Yue et al., 2008). El análisis integrado de estos parámetros proporciona una comprensión holística del proceso de compostaje de residuos orgánicos. Los datos muestran que factores como la composición inicial de los materiales orgánicos y la gestión del compostaje pueden influir significativamente en la temperatura, humedad, pH y la disminución de la altura de las pilas de compostaje.

El análisis de la calidad del compost es esencial para garantizar su eficacia y cumplimiento con los objetivos establecidos. En este estudio, se evaluaron diversas características del compost, incluyendo el rendimiento y la conversión, utilizando pruebas específicas como el porcentaje de rendimiento y conversión, así como la prueba de germinación. Los resultados muestran que los diferentes tratamientos no tienen un impacto significativo en el rendimiento y la conversión del

compost es decir que el tamaño del material y la composición de las pilas no tienen un efecto estadísticamente significativo en el rendimiento del compost. Es importante tener presente que factores como la temperatura, la humedad y la composición inicial de los materiales podrían estar influyendo en el rendimiento y la conversión del compost (Bueno, 2008). Sin embargo, los resultados permiten visualizar desde diferentes necesidades cual tratamiento podría beneficiar el objetivo que se proponga, es decir, tratamientos con mayor porcentaje de rendimiento, conversión o porcentaje de germinación, en el caso del porcentaje de germinación se observa la calidad del compost evaluado como un abono, ya que evalúa la capacidad del compost para promover el crecimiento de las plantas. Aunque la mayoría de los tratamientos muestran valores de germinación similares es importante resaltar que son mayor al abono comercial utilizado como referencias, mientras que el abono comercial obtuvo un promedio de germinación del 79.27%, los tratamientos de compost lograron resultados aún más prometedores (>80%), resaltando el tratamiento T1SCH que mostro un valor de 95.8% de germinación, lo que sugiere que este tratamiento es el más optimo si se requiere un abono de mayor calidad evaluado desde la germinación. De acuerdo con Erhart & Hartl (2010) el compostaje de residuos orgánicos y el uso de compost en la agricultura devuelven al suelo nutrientes vegetales y materia orgánica que de otro modo se perderían. La adición regular de compost mejora la fauna del suelo y la biomasa microbiana del suelo y estimula la actividad enzimática, lo que conduce a una mayor mineralización de la materia orgánica y una mayor resistencia contra plagas y enfermedades, ambas características esenciales para la agricultura orgánica. Gracias al aumento significativo del contenido de carbono orgánico del suelo, la fertilización con compost puede convertir el suelo agrícola en un sumidero de carbono y contribuir así a mitigar el efecto invernadero.

Conclusiones

Este proyecto de grado abordó la problemática de los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado de Apartadó, Antioquia, implementando una estrategia de manejo de residuos a base de compost. En los acercamientos se observó que comerciantes no clasifican adecuadamente los desechos en las zonas los residuos, lo que afecta su disposición final. El estudio demuestra la necesidad de una mayor concienciación y educación sobre la clasificación de residuos para optimizar el proceso de compostaje. El estudio también consideró los PGIRS en las ciudades de

Guarne, Río Negro y Corabastos, e incluyó recomendaciones para mejorar la gestión de residuos sólidos. El proyecto propone implementar un sistema de recolección selectiva de residuos de acuerdo con la normativa nacional, clasificar los residuos en tres categorías y desarrollar un programa de compostaje. Otras medidas que se sugieren son instalar contenedores de recogida de residuos estratégicamente, ofrecer capacitaciones para la separación de residuos y realizar un seguimiento periódico para evaluar la eficacia de estas estrategias de mejora.

El compostaje de residuos orgánicos es un proceso esencial para la gestión sostenible de residuos. Este proceso implica cambios físicos, químicos y biológicos básicos para transformar los residuos orgánicos en productos finales como abono. El análisis de parámetros como la temperatura, la humedad, el pH y la reducción de la altura de la pila de compost proporciona información sobre el proceso y su evolución en el tiempo. Estos parámetros son indicadores clave del estado del compost, ya que reflejan la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica, en este trabajo se observó que el tamaño de material y la composición de las pilas generan un efecto sobre estos parámetros. La disminución de altura es un indicador visual del progreso del compostaje y se puede reaccionar las reducciones significativas en la masa y el volumen del compost al tamaño del material orgánico y composición de la pila, teniendo en cuenta su forma de descomposición dentro de la pila.

Los resultados muestran que los diferentes tratamientos tienen un impacto en el rendimiento, la conversión del compost y la germinación, sin embargo, estadísticamente la composición de las pilas de compost y el tamaño de material no presentan diferencias significativas sobre estas variables. Por otro lado es importante resaltar que aunque en los resultados estadísticos no se encontraron diferencias significativas los resultados muestran resultados prometedores desde la calidad, ya que se presentaron tratamientos con porcentajes de conversión y rendimientos mayor al 50%, además de presentar valores de germinación mayor al abono comercial, lo que sugiere que el uso de residuos orgánicos en la producción de compost es una buena estrategia ambiental para reducir la demanda de residuos orgánicos producidos por la plaza de mercado del municipio de Apartado, Antioquia.

Referencias

- Amoah, S. T., & Akwasi, E. (2014). Solid Waste Management in Urban Areas of Ghana: Issues and Experiences from Wa. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 2(5), 110–117. <https://doi.org/10.12691/jephh-2-5-3>
- Ağdağ O. N. (2009). Comparison of old and new municipal solid waste management systems in Denizli, Turkey. *Waste management (New York, N.Y.)*, 29(1), 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.012>
- ACODAL SECCIONAL NOROCCIDENTE. (2015). Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos – PGIRS 2015-2027 del municipio de Rionegro con base en el decreto 2981/2013 y metodología resolución 0754/2014 .
- Afanador, J. (2021). Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial estratégico [Tesis]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/40365/AfanadorRiveraJulianAndres2021.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcaldía de Guarne. (2020). *Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos – PGIRS*. Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos – PGIRS
- Azura Zakarya, I., Baya Khalib, S. N., & Mohd Ramzi, N. (2018). Effect of pH, temperature and moisture content during composting of rice straw burning at different temperature with food waste and effective microorganisms. *E3S Web of Conferences*, 34(34), 02019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402019>
- Breitenbeck, G. A., & Schellinger, D. (2004). Calculating the Reduction in Material Mass And Volume during Composting. *Compost Science & Utilization*, 12(4), 365–371. <https://doi.org/10.1080/1065657x.2004.10702206>
- Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera, F. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. In *digital.csic.es*. 2008. <https://digital.csic.es/handle/10261/20837>
- Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2008). Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. *Advanced Materials*, 29(10). <https://doi.org/10.1002/adma.201604105>
- Borja, Y. P. (2020). Evaluación del aprovechamiento de residuos domiciliarios para el Barrio Jorge Eliecer Gaitán en el municipio de Carepa, Antioquia.. [Proyecto aplicado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/35197>

- Bohorquez, T. (2018). Formulación del plan gestión integral de residuos sólidos en la plaza de mercado de Soacha, para el aprovechamiento de residuos orgánicos. [Tesis].
- CORABASTOS. (2022). Orporación de abastos de bogotá s.a. “corabastos” gerencia general.
- Carreira, D. (2004). CARBONO ORGÁNICO (Método de WALKLEY & BLACK). *Ciencias Ambientales*, 4.
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/archivos/002010_Ronda_2010/000003_Ing_Agr_Daniel_Carreira_\(Carbono_oxidable_y_Nitrogeno\)/000008_Carbono_oxidable_-_Método_de_Walkley&Black_-_y_en_Nitrogeno_Kjeldahl_\(Ing_Agr_Daniel_Carreira\)_-Resu](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/archivos/002010_Ronda_2010/000003_Ing_Agr_Daniel_Carreira_(Carbono_oxidable_y_Nitrogeno)/000008_Carbono_oxidable_-_Método_de_Walkley&Black_-_y_en_Nitrogeno_Kjeldahl_(Ing_Agr_Daniel_Carreira)_-Resu)
- Castro Guamán, J. O. (2021). Análisis del estado actual en el Manejo de residuos sólidos en Antioquia. *Repositorio Institucional Universidad EAFIT*, 1–88.
- Daza, D., & Serrano, R. (2022). *Propuestas para el desarrollo del Urabá Antioqueño y sus municipios aledaños: Diagnóstico y Propuesta Territorial Conectividad y Desarrollo*.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Decreto 2981 de 2013 - EVA - Función Pública, www.funcionpublica.gov.co (2018).
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56035>
- DEPARTAMENTO NACIONAL PLANEACIÓN. (2022). *Guía Nacional para la adecuada separación de residuos sólidos 2022 Subdirección General Sectorial SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS*.
- Erhart, E., Hartl, W. (2010). Uso de compost en agricultura ecológica. En: Lichtfouse, E. (eds) Ingeniería genética, biofertilización, calidad del suelo y agricultura orgánica. Reseñas de agricultura sostenible, vol 4. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_11
- EPA [Environmental Protection Agency]. (2023, 26 enero). *Criteria for the definition of solid waste and solid and hazardous waste exclusions | US EPA*. US EPA.
<https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions>
- Farrell, M., & Jones, D. L. (2009). Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresource technology*, 100(19), 4301–4310.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.029>

- Forero, D., & Ciudadana, N. (2020, 25 marzo). En el Urabá la moda es reciclar el plástico. *Las2orillas*. Recuperado 5 de septiembre de 2023, de <https://www.las2orillas.co/en-el-uraba-la-moda-es-reciclar-el-plastico/>
- Gallo López, K. L., Rentería Maya, C. Y., & Rentería Palencia, A. S. (2019). Implementación de un programa del manejo de los residuos sólidos en el barrio San Lorenzo, del municipio de Arboletes – Antioquia, 2018 [Tesis]. In *bibliotecadigital.udea.edu.co*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/12906>
- González Díaz, J., & Medina, A. (2014). Diseño y evaluación del compostaje como alternativa para el tratamiento de residuos de aditivos en la construcción*. *Producción + Limpia*, 9(1), 44–62. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1269/1/44-62.pdf>
- Huang, E. (2015). *Compost Marketing Guidelines for Solid Municipal Waste Management in India* [TesisASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/99599>
- Jha, M. K., Sondhi, O. A. K., & Pansare, M. (2003). Solid waste management - A case study. *Indian Journal of Environmental Protection*, 23(10), 1153 – 1160. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-4744357464&partnerID=40&md5=03911037d96ff4014ec12d0afba8824e>
- Justicia, M. de. (2005). *Decreto 838 de marzo 23 de 2005*. 1–12.
- Kim, E., Lee, D. H., Won, S., & Ahn, H. (2016). Evaluation of Optimum Moisture Content for Composting of Beef Manure and Bedding Material Mixtures Using Oxygen Uptake Measurement. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(5), 753–758. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0875>
- Kuddus, M. (2019). *ENCUESTA A MUNICIPIOS SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS 2019 COLOMBIA*.
- Lalremruati, M., & Devi, A. S. (2021). Changes in physico-chemical properties during composting of three common household organic solid wastes amended with garden soil. *Bioresource Technology Reports*, 15(March), 100727. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100727>
- Lima, J. Z., Raimondi, I. M., Schalch, V., & Rodrigues, V. G. S. (2018). Assessment of the use of organic composts derived from municipal solid waste for the adsorption of Pb, Zn and Cd.

- Journal of Environmental Management*, 226(August), 386–399.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.047>
- Matei, P. M., Martín-Ramos, P., Castro, I. S., Martín-Gil, J., Hernández-Navarro, S., Sánchez-Báscones, M., & Stoian, M. (2016). Alternativas Metodológicas Para El Seguimiento De La Calidad De Un Compost Mediante Técnicas Analíticas Multirespuesta. *Congreso Nacional de Medio Ambiente CONAMA*, 28(November), 1–11.
- Márquez Velásquez T. (2023). Aprovechamiento De Residuos Sólidos Orgánicos Por Medio De Un Sistema De Compostaje Autónomo: Análisis y desarrollo del compostaje en dinámicas laborales. [Practica Empresarial]. Universidad de Antioquia, Medellín UdeA.
- Memon, M. A. (2010). Integrated solid waste management based on the 3R approach. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 12(1), 30–40. <https://doi.org/10.1007/s10163-009-0274-0>
- Mohee, R., & Mudhoo, A. (2005). Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology*, 155(1), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.05.051>
- Miyatake, F., & Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Bioresource technology*, 97(7), 961–965. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.035>
- Moqsud, M. A. (2021). Bioelectricity from Organic Solid Waste. In H. M. Saleh (Ed.), *Strategies of Sustainable Solid Waste Management*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95297>
- Moreno, A., & Ramirez, A. (2021). Estrategias para el aprovechamiento de Residuos Sólidos generados por restaurantes en el eje Ambiental en Bogotá. *Nuevos Sistemas de Comunicación e Información*, 2013–2015.
- Muñoz, L. C. (2020). Formulación de una estrategia para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en las plazas de mercado de Tunja (Boyacá). [Proyecto aplicado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38794>
- Pinto Gómez, L. P. & Suárez Cuchimaque, M. J. (2016). Propuesta para el Manejo de Residuos Orgánicos Producidos en la Plaza de Mercado de Chía (Cundinamarca). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/3362>.
- Resolución 754 de 2014 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, www.alcaldiabogota.gov.co (2014). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=64163>

- Reinoso, J. D., Ruiz, P. A., & Zamorano, A. (2008). *Determinación de la mejor cantidad de agua y relaciones carbono:nitrógeno para el establecimiento de una compostera*. 8–25. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5451/1/CPA-2008-T057.pdf>
- Roman Pilar, Martínez María, P. A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Pérez-Espinosa, A., Paredes, C., López, M., López-Lluch, D. B., Gavilanes-Terán, I., & Moral, R. (2017). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1349–1358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>
- Thanh, N. P., & Matsui, Y. (2013). Assessment of potential impacts of municipal solid waste treatment alternatives by using life cycle approach: a case study in Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 7993–8004. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3149-8>
- Yue, B., Chen, T.-B., Gao, D., Zheng, G.-D., Liu, B., & Lee, D.-J. (2008). Pile settlement and volume reduction measurement during forced-aeration static composting. *Bioresource Technology*, 99(16), 7450–7457. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.029>