

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN FORZADA
PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA PLANTA
DE COMPOSTAJE DE “GOLEROS” EN EL MUNICIPIO POPAYÁN, CAUCA



YEISON ALEJANDRO QUINTERO RIVERA

Trabajo de Grado en modalidad trabajo de investigación para optar el título de
Ingeniería ambiental y sanitaria

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
2021

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN FORZADA
PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA PLANTA
DE COMPOSTAJE DE “GOLEROS” EN EL MUNICIPIO POPAYÁN, CAUCA



Trabajo de Grado para optar el título de ingeniería ambiental y sanitaria

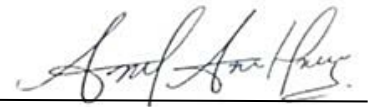
Director

Esp.. Arnol Arias Hoyos

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
2021

NOTA DE ACEPTACION

Hacemos constar que el presente trabajo de grado. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN FORZADA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE DE "GOLEROS" EN EL MUNICIPIO POPAYÁN, CAUCA, ha sido aceptado por el director y los jurados como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.



Director
Esp. Arnol Arias Hoyos



Jurado 1
Mg Clara Milena Concha Lozada



Jurado 2
Mg. César Julián Muñoz de la Rosa

Popayán, 2021

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: PROBLEMA	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Justificación.....	18
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo General:.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
2. CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	20
2.2. Bases Teóricas	22
2.2.1. Abono Orgánico	22
2.2.2. Compostaje.....	22
2.2.3. Fases del compostaje	22
2.2.4. Tipos de Sistemas de compostaje	23
2.2.5. El proceso de biodegradación	24
2.2.6. Postmaduración y almacenamiento	25
2.2.7. Factores a considerar en el proceso de compostaje.....	25
2.3. Bases Legales.....	27
2.4. Pregunta de Investigación.....	29
3. CAPITULO III: METODOLOGÍA	30
3.1. Descripción del área de estudio	30
3.2. Establecimiento de la mezcla optima de residuos sólidos orgánicos para su sometimiento a procesos de compostaje	32
3.2.1. Recolección y método de cuarteo.....	32
3.2.2. Densidad	33

3.1.3. Análisis de muestras.....	33
3.1.4. Pretratamiento de los residuos	34
3.1.5. Recolección y reproducción de Microorganismos de Montaña (MM).....	34
3.1.6. Montaje.....	36
3.3. Análisis de los parámetros operativos del sistema de aireación forzada para el proceso de compostaje.	37
3.4. Comparación cualitativa y cuantitativa del compost entre el sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), respecto al sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II).....	38
4. CAPITULO IV: RESULTADOS	40
4.1. Descripción área de estudio.....	40
4.2. Establecimiento de la mezcla optima de residuos sólidos orgánicos para su sometimiento a procesos de compostaje	43
4.2.1. Recolección y método de cuarteo.....	43
4.2.2. Densidad.	45
4.2.3. Análisis de muestras.....	46
4.2.4. Pretratamiento de los residuos:	47
4.2.5. Recolección y reproducción de microorganismos de montaña (MM)	49
4.2.6. Montaje.....	50
4.3. Análisis de los parámetros operativos del sistema de aireación forzada para el proceso de compostaje.	54
4.3.1. Parámetros del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I).	55
4.3.2. Parámetros del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II)	59
4.3.3. Comparación entre los Sistemas de Apilamientos Estáticos con Aireación Forzada y Volteado Dinámico.....	63

4.4. Comparación cualitativa y cuantitativa del compost producido de forma convencional y el producido por aireación forzada.	68
5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1. Conclusiones.....	71
5.2. Recomendaciones.....	72
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
7. ANEXOS.....	78

LISTAS FIGURAS

Figura 1. Área de estudio Popayán, Cauca.....	31
Figura 2. Método de cuarteo	33
Figura 3. Metodología de preparación de Microorganismos de Montaña (MM)	35
Figura 4. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje	37
Figura 5. Instrumentos de medición de parámetros en campo, A: termostato LAUDA de inmersión Alpha A; B: medidor multiparametro HACH HQ40D; C: bomba de gas portatil para CO2	38
Figura 6. Ubicación geográfica del corregimiento de Samanga, Popayán, Cauca....	40
Figura 7. Materia orgánica (MO) de placita campesina de la calle 13 de la ciudad y del barrio Aida Lucia de Popayán, A: llegada al centro de acopio de MO; B: traslado de MO sobre lecho regulador de humedad.	43
Figura 8. Método de Cuarteo de Residuos Orgánicos, A: muestra inicial; B: homogenización de la muestra; C: cuarteo de residuos orgánicos; D: muestra final	44
Figura 9. Pesaje de materia orgánica (MO) para la determinación de densidad, A: pesaje de recipiente; B: Dimensiones; C: pesaje de MO.	45
Figura 10. Parámetros de Compostaje según La FAO.....	46
Figura 11. Clasificación de residuos orgánicos, A: Recolección; B: Clasificación.	47
Figura 12. A: Disminución del tamaño de partículas de residuos orgánicos; B: picadora RKP1800-RE65.....	48
Figura 13. Cribado y homogenización de materia orgánica para las pilas I y II.....	48
Figura 14. Empacado de materia orgánica de las pilas I y II.....	49
Figura 15. Recolección y reproducción de microorganismos de montaña (MM) en la zona de estudio, A: preparación lactobacilos; B: recolección en campo de MM; C: trampas para MM; D: obtención de MM; E: reproducción anaerobia de MM.	50
Figura 16. Instalaciones y adecuaciones, A: Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (I); B: Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (II).	51
Figura 17. Estructura del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (I), A: vista frontal; B: vista posterior.	51

Figura 18. Estructura del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (II).	52
Figura 19. Producto final, A: proceso de tamizaje; B: resultado del tamizaje; C: producto final empacado.	53
Figura 20. Diseño interno del sistema de aireación forzada Pila I.....	54
Figura 21. Diseño interno del sistema de aireación forzada Pila II.....	55
Figura 22. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de pH	56
Figura 23. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de Temperatura	57
Figura 24. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de Dióxido de Carbono	58
Figura 25. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de Humedad	59
Figura 26. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de pH	60
Figura 27. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de Temperatura.....	61
Figura 28. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de CO ₂	62
Figura 29. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de Humedad	63
Figura 30. Grafica del comportamiento del pH, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)	64
Figura 31. Grafica del comportamiento de la Temperatura, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)	65
Figura 32. Grafica del comportamiento del Dióxido de Carbono, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)	66
Figura 33. Grafica del comportamiento de la Humedad, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)	67

Figura 34. Gráfico comparativo de los nutrientes P, Ca, Mg y P de las pilas de compostaje de estudio70

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Marco Legal.....	27
Tabla 2. Variables de investigación.....	30
Tabla 3. Recolección de información del área de estudio	31
Tabla 4. Relación C: N de algunos materiales usados en el compostaje.....	32
Tabla 5. Tabulación para porcentaje de cumplimiento	39
.Tabla 6. Información recolectada del área de estudio.....	41
Tabla 7. Parámetros iniciales de las pilas de compostaje	47
Tabla 8. Tabulación para definir el cumplimiento de los resultados de parámetros de las Pilas.....	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Laboratorios iniciales de las Pilas I y II de materia prima.....	78
Anexo 2. Resultados de parámetros para la pila I y II	81

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres quienes han sido parte fundamental para hacer posible esta meta, ellos son las personas que me dieron grandes enseñanzas y sobre todo me guiaron al camino de la superación.

Yeison Alejandro Quintero Rivera

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de este proyecto va dirigido a Dios por haberme dado la oportunidad de haber llegado hasta aquí, de cumplir mis propósitos y metas que tuve desde un inicio, a mi familia que son las personas que me han brindado todo su apoyo en este proceso que he tenido, ya que sin ellos esto no hubiera sido posible, especialmente agradezco a mis padres que me dieron la vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto porque a ellos les debo todo lo que me han dado y me han enseñado en cada etapa de mi vida, ellos han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida, como una meta más conquistada. Orgulloso de haberlos elegido como mis padres y que estén a mi lado en este momento tan importante, a mis docentes agradezco todos sus conocimientos ya que a ellos pude concluir con éxito mi carrera profesional, además agradezco a las personas que en todo este proceso he ido conociendo que han complementado en mi vida como profesional y persona, gracias por siempre estar conmigo.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Planta de Compostaje Goleros del municipio de Popayán, Cauca, el cual tuvo como objetivo principal establecer la eficiencia entre el sistema de apilamiento estático tanto con aireación forzada (Pila I), como con volteo dinámico (Pila II). Para la adquisición de información se aplicó una revisión bibliográfica y de antecedentes con los trabajos de investigación de la Universidad del Cauca para establecer la mezcla óptima de compostaje, los residuos que se utilizaron fueron Residuos orgánicos, estiércol, viruta y microorganismos de montaña, para la degradación de la materia orgánica se mantuvieron las pilas durante 50 días donde se monitoreo el pH, Temperatura, Humedad (%), CO₂ y una aireación diaria a los sistemas mediante el chequeo por bitácora de control y por último se realizó la comparación de parámetros físico químicos y microbiológicos de las pilas de estudio mediante una matriz de cumplimiento mediante tabulaciones en la herramienta ofimática Microsoft Excel, respecto a la norma y estipulaciones de la FAO. Como resultado se estableció una mezcla conformada por 450 kg de residuos de orgánicos triturados, 225 kg de estiércol, 125 Kg de viruta y 15 L de microorganismos de montaña (MM), los cuales se dejaron en reproducción anaerobia durante 2 meses; en cuanto al monitoreo de parámetros se observó que la pila I tuvo un mejor resultado en cuanto a la nivelación de dióxido de carbono; por último la matriz de cumplimiento para los parámetros de N, P, K, Ca, Mg, Na, Azufre disponible, Boro disponible, Carbono orgánico oxidable, pH, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO) humedad a 70° C, Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE); Metales pesados: Arsénico, Cadmio, Cromo y Plomo; Análisis microbiológico (Salmonella spp, E. Coli, coliformes totales según la NTC 5167, mostraron que el comportamiento de la Pila I fue mejor en cuanto a la eficiencia de monitoreo de parámetros al igual que el resultado final de calidad en cuanto a la norma, sin embargo, ninguna de las dos pilas cumplió con parámetros microbiológicos fundamentales como lo son las *Coliformes Totales* y el *Fusarium* lo que represento un inconveniente dado que son parámetros relevantes para determinar su calidad. Por lo que se concluye que debido al sistema y controles la pila I fue altamente eficiente en comparación a la II para este estudio.

Palabras Clave: sistemas de apilamientos estáticos, aireación forzada, volteo dinámico, compostaje

ABSTRACT

The present work was carried out at the Goleros Composting Plant in the municipality of Popayán, Cauca, whose main objective was to establish the efficiency between the static stacking system with both forced aeration (Pile I) and dynamic turning (Pile II). . For the acquisition of information, a bibliographic and background review was applied with the research works of the University of Cauca to establish the optimal mixture of composting, the residues that were used were organic waste, manure, shavings and mountain microorganisms, for the degradation of organic matter, the batteries were kept for 50 days where the pH, Temperature, Humidity (%), CO₂ and a daily aeration of the systems were monitored by means of a control log check and finally the comparison of parameters was carried out. chemical and microbiological physics of the study batteries using a compliance matrix using tabulations in the Microsoft Excel office automation tool, with respect to the FAO standard and stipulations. As a result, a mixture consisting of 450 kg of crushed organic waste, 225 kg of manure, 125 kg of shavings and 15 L of mountain microorganisms (MM) was established, which were left in anaerobic reproduction for 2 months; Regarding the monitoring of parameters, it was observed that cell I had a better result in terms of carbon dioxide leveling; Finally, the compliance matrix for the parameters of N, P, K, Ca, Mg, Na, Available sulfur, Available boron, Oxidizable organic carbon, pH, Electrical conductivity (EC), Organic matter (OM) humidity at 70 ° C , Effective cation exchange capacity (CICE); Heavy metals: Arsenic, Cadmium, Chromium and Lead; Microbiological analysis (Salmonella spp, E. Coli, total coliforms according to NTC 5167, showed that the performance of Stack I was better in terms of the efficiency of monitoring parameters as well as the final quality result in terms of the standard, However, neither of the two piles complied with fundamental microbiological parameters such as Total Coliforms and Fusarium, which represent an inconvenience given that they are relevant parameters to determine their quality. Therefore, it is concluded that due to the system and controls the pile I was highly efficient compared to II for this study.

Keywords: static stacking systems, forced aeration, dynamic turning, composting

INTRODUCCIÓN

Estudios indican que la generación de residuos sólidos biodegradables se encuentra alrededor del 44 al 52%, según su estrato social o la región del país [1], es por ello que las alternativas sostenibles para el manejo integral es vital dado que contribuye a la reducción de los impactos ambientales negativos en ausencia de su adecuada disposición, al igual que fomenta el potencial que tienen para actividades agrícolas como el compost que aporta nutrientes al ser utilizado como sustrato para el crecimiento de plantas, mejorando las características físicas por ende su fertilidad y la productividad [2].

Existen diversos tipos de compostaje, entre ellos, el producido por la adición de sustratos con microorganismos de montaña (MM), el cual es frecuentemente utilizado en América Latina, ya que contribuyen a biotransformar la materia orgánica (MO), acelerando el proceso de descomposición y degradación de sustancias tóxicas que puedan desencadenar contaminación por medio de la cadena trófica. Este tipo de prácticas agroecológicas propicia una diversidad de poblaciones de microorganismos; según Investigaciones realizadas por P. Borrero en el Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico [3]; demuestran que su presencia se relaciona directamente con el tipo de sustrato y con condiciones ambientales adecuadas tales como la temperatura y el pH.

El incremento anual promedio de la producción de residuos sólidos está entre 3,2 a 4,5% para los países desarrollados y entre 2 a 3% para los países en vía de desarrollo [4]. sin embargo, una de las mayores dificultades para la producción de abono orgánico, se radica en la carencia de materia prima proveniente de residuos orgánicos que se encuentren en óptimas condiciones para su aprovechamiento, debido a ello surge la propuesta en el marco de oferta y demanda con las plazas de mercados, las cuales brindan los insumos para realizar los procesos de compostaje en alianza con sus generadores, en este caso se ha trabajado con la plaza campesina de la calle 13 y del barrio Aida Lucia de Popayán, Cauca.

Hoy en día es una problemática la disposición de los residuos ya que se encuentran en un sistema lineal y son pocos los lugares que los aprovechan, es por ello que realizar este proceso con los desechos de los comerciantes de las plazas es un proyecto viable, al reducir la acumulación de residuos, vectores y malos olores en la zona que son no conformidades que presenta la población del sector, siendo una problemática económica, social y ambiental.

La producción de material orgánico en las plazas de mercado de la Esmeralda y el barrio Bolivar, reporta 600 toneladas de residuos orgánicos semanalmente, siendo significativamente alta y desperdiciándose insumos para su aprovechamiento [5]. Un adecuado manejo de los residuos para disminuir impactos ambientales derivados de la descomposición basándose en fomentar la producción ecológicamente sostenible, reduce malos olores, gases, lixiviados y contaminación del paisaje [6].

Es de importancia destacar que la elaboración de abonos orgánicos no solo generan beneficios económicos al sector que genera en Colombia entre 900.000 y 950.000 toneladas de abonos orgánicos, de los cuales el compost representa 90% del total, mientras que 10% restante es lombricompost, el cual resulta de la práctica de la lombricultura [7]; sino que también benefician de forma social valorizando emprendimientos y a las familias que trabajan en estos procesos, además del impacto positivo generado al ambiente.

El estudio de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje de “Goleros”, con el fin de maximizar la eficiencia en cuanto a tiempo y costos, determinando cual sistema es mejor.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los rellenos sanitarios en Colombia enfrentan serios problemas de funcionamiento, donde el tiempo de vida útil de los mismos se hace cada vez menos predecible, debido al incremento alarmante de la población y la inadecuada cultura ambiental asociada al reciclaje; así como la ausencia de instituciones que realicen aprovechamiento de los residuos para retornarlos a diversos procesos productivos utilizando nuevas tecnologías de tratamiento direccionadas hacia el cumplimiento de las políticas públicas [8].

En Colombia se produce 12 toneladas de residuos orgánicos al año [9] De acuerdo a la Información presentada por Serviaseo Popayán S. A E.S.P, los residuos orgánicos generados en el municipio de Popayán son de 3152,8 toneladas al mes al año 2014[10]. La planta aprovechamiento de residuos orgánicos "los goleros" desde el 2017 se reactivó y reúne los residuos orgánicos de las plazas de mercado de los barrios La Esmeralda y Bolívar, hasta el momento se han procesado 400 toneladas de residuos orgánicos generados en la ciudad [11].

La planta de compostaje los Goleros está en funcionamiento, pero es necesario estandarizar los parámetros que permita optimizar su diseño técnico que muestre tiempos de operación, tampoco se puede alcanzar la fase termiónica en el tiempo requerido debido a la desviación en los porcentajes de la humedad, lo que ocasiona serias deficiencias en cuanto a su operación, y esto trae como consecuencia que no se degraden de manera efectiva, que como consecuencia el incremento en los volúmenes de generación y el manejo inadecuado de los residuos generan graves impactos ambientales, como por ejemplo: contaminación visual o paisajística, material articulado al aire, humos, vapores y presencia de olores ofensivos, problemas sanitarios debido al inadecuado manejo de residuos e infiltración de líquidos residuos de los vertederos que afectan los depósitos de aguas superficiales y subterráneas. Para conseguir su certificación, el sistema de aireación forzada que existe actualmente en la planta de compostaje los "Goleros" en el municipio Popayán, Cauca no se está teniendo los resultados esperados para estandarizar la operación y así poder certificar el producto.

Por lo cual se formula la siguiente pregunta: ¿Cuál es la mejor forma o procedimiento para mejorar la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la Planta de compostaje de "Goleros" en el municipio Popayán, Cauca?

1.2. Justificación

Debido a la necesidad del manejo integral y aprovechamiento de los residuos sólidos en Colombia reduciendo problemáticas como el funcionamiento adecuado de los rellenos sanitarios respecto a sus lixiviados, emisión de olores, y la generación de grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos es de gran importancia maximizar el aprovechamiento de los residuos generados aprovechables y la correcta disposición de los que no lo son [12].

La Administración Municipal desde la Unidad de Asistencia Técnica Agropecuaria – UMATA, tiene en funcionamiento la Planta de Compostaje destinada al procesamiento de alrededor de 300 toneladas de residuos orgánicos para posteriormente transformarlos en abono orgánico como practica agroecológica, esto se debe a que en plazas de mercado como la Esmeralda y el barrio Bolívar se generan aproximadamente 600 toneladas de residuos orgánicos semanalmente, los cuales no son aprovechados generando impactos negativos al ambiente [13]. Bajo el criterio anterior es necesario presentar alternativas que contribuyan al desarrollo sostenible enmarcados en los objetivos 12 producción y consumo responsables y 13 Acción por el clima de la agenda de desarrollo sostenible 2030 [12].

Por lo anterior, el compostaje es una alternativa promisoría para el aceleramiento de los procesos de transformación de residuos sólidos orgánicos, ya que proveen una opción para incentivar la producción de abonos a una mayor escala, generando consigo un aporte significativo para la preservación y conservación de los recursos naturales. Por lo descrito, esta propuesta de investigación busca fortalecer el proceso de transformación de residuos sólidos de la planta de compostaje de “Goleros”, en aras de alcanzar un manejo eficiente de los residuos sólidos orgánicos.

Ante la situación planteada se hace necesario emplear métodos investigativos que contribuyan de manera efectiva a que con un nuevo sistema aerobio, para la fase termiónica en el tiempo requerido y la desviación en los porcentajes de la humedad se mantengan en el porcentaje adecuado, lo que generara que se optimice y así reducir la contaminación que ocasionan la disposición y manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos mediante el empleo de un nuevo sistema de aireación forzada. Es importante resaltar que este nuevo sistema a implementarse cumplirá con los requerimientos sanitarios, ambientales y productivos de acuerdo a la NTC 5167 [14]

La gestión del potencial de los residuos orgánicos se considera una fuente de energía, agua, materia orgánica y recursos en general para la agricultura ecológica [15]; sin embargo su utilización debe ser cuidadosamente estudiada para aplicar técnicas que faciliten el aprovechamiento de la materia orgánica, evitando la contaminación del medio natural y de los cultivos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

- Evaluar la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje de “Goleros”

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer la mezcla óptima de residuos sólidos orgánicos para su sometimiento a procesos de compostaje
- Analizar los parámetros operativos del sistema de aireación forzada para el proceso de compostaje.
- Comparar cualitativa y cuantitativamente el compost producido de forma convencional y el producido por aireación forzada.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

Antecedentes

En el proyecto “Sistemas de compostaje para el tratamiento de alperujo” fueron evaluados cuatro sistemas de compostaje con un periodo de 140 días para el tratamiento aeróbico, donde las pilas T3 y T4, que se caracterizan por sus sistemas de aireación y volteo alcanzaron la etapa termofílica al séptimo día; a comparación T1 y T2 en las cuales se realizaba volteo manual con un tiempo de veintidós días para esta fase. Por lo que se demostró que los sistemas de compostaje solo con aireación forzada no son más eficientes que la combinación de aireación y volteo manual ya que fue el sistema T4 con mejores resultados, pues este sistema facilita la compactación del residuo [16].

En cuanto a la eficiencia de los sistemas implementado cabe resaltar que son sencillos y económicos. Siendo una técnica que se caracteriza por el hecho de que la pila se remueve periódicamente para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Los volteos son vitales para regular la temperatura descendiendo del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado. Además, la frecuencia del volteo depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez del proceso. Sin embargo, para materializar esta técnica de compostaje, existe maquinaria específicamente diseñada para conseguir un mezclado del compost de máxima eficiencia, al igual que dimensiones óptimas [17].

En esta investigación se buscaba la automatización de un sistema de aireación forzada para el compostaje de residuos hortícolas, por medio de la identificación de variables como la temperatura, humedad y oxígeno, lo que permitió realizar la construcción del equipo, junto a la cantidad y frecuencia para realizar la aireación, al igual que la forma como se realizaría el suministro en la pila de compost para obtener mayor eficiencia en los parámetros de calidad [18]. Como resultado se brindó un mejor control de las variables de proceso mediante una estructura automatizada que permite programar periodos de operación, y además realiza un ajuste de la temperatura si excede un valor máximo mediante ventilación. Cumpliendo con los objetivos, por tanto, se concluye que el equipo diseñado es adecuado para el desarrollo del proceso de compostaje, disminuyendo los costos de operación y tiempo de residencia [18].

El tipo de estiércol y frecuencia de aireación por medio del Volteo permitió un compostaje agroecológico, teniendo como meta la determinación del tipo de estiércol y frecuencia de aireación en el proceso de compostaje y en la calidad del compost. Para lo cual se utilizó una proporción de 40% de estiércol y 60% de material vegetal. Evaluando 4 tratamientos con diferentes tipos de estiércol (vacuno o gallina) y frecuencias de volteos (1 o 6 volteos cada 2 semanas). El mejor resultado fue el T4 que se conformó por estiércol de gallina con 6 volteos cada 2 semanas, presentando una mejor estabilidad, sin embargo la prueba T2 cuya conformado por estiércol vacuno

y 6 volteos cada 2 semanas, fue el mejor en cuanto su aporte de materia orgánica al compost [19].

La “Implementación de un sistema integral de compostaje a base de residuos sólidos orgánicos de la Universidad Cooperativa de Colombia campus Cali”, por el cual se desarrolló con la iniciativa “reduce tu huella”, con puntos ecológicos o contenedores de reciclaje contribuyendo con el ambiente, sin embargo no poseen un buen sistema de manejo de los residuos que son producidos en la cafetería y sus alrededores, es por ello que para mitigar impactos y aprovechar recursos se decidió llevar a cabo un sistema integral de compostaje, la factibilidad de este proyecto se debe a que esta sede tiene un flujo constante de personal y estudiantes que generan gran cantidad de estos residuos con énfasis en los orgánicos [20].

En cuanto al manejo de los residuos sólidos orgánicos se cuenta con una planta de compostaje del municipio de Popayán, llamada la Patojita, en donde se evaluaron las condiciones físicas para el óptimo funcionamiento de la misma, junto a este proceso se realizó la correspondiente capacitación y sensibilización para que se ejecute la correcta separación en la fuente con énfasis en las plazas de mercado de la Esmeralda y el Bolívar; El plan de fortalecimiento de la asociación de Recicladores Los Goleros y la Asociación Ambientalista de Popayán tuvo énfasis en el conocimiento para la operación de cada una de las etapas del proceso de un compostaje de calidad. En el compostaje se monitorearon las variables de pH y temperatura conforme a la NTC 5167, en donde se destacó el tratamiento 2 con materia orgánica de las plazas de mercado, viruta, microorganismos, y la aireación mediante volteo manual [21].

La Empresa Agro-comercial de la Universidad EARTH realizó la evaluación del EM compost con residuos de banano y un sistema de aire forzado como el más eficiente y factible económicamente. Es por esto que surge la investigación con el fin de optimizar el sistema de producción; con los tiempos de aireación, inoculación y agregados adecuados. Se trabajó con cuatro tratamientos a diferentes tiempos de aireación en dos fases con diferentes agregados; aserrín y chips de madera. Como resultado se obtuvo que el tratamiento que presentó los mejores resultados fue el que contenía chips de madera con una frecuencia de aireación de 6 días e inoculación de EM (microorganismos eficaces) dirigida, la calidad fue determinada por los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos dentro de los rangos de la norma [22].

En este trabajo se evaluó un compostaje convencional con EM, comparando su producción con el convencional, los análisis de los datos se efectuaron mediante la prueba de análisis de varianza (ANOVA), junto a la distribución de Fisher y la prueba de comparación múltiple de Duncan). Los resultados de tiempo de maduración fueron para CEM (promedio 2 meses y 23 días) y para el compost SEM (promedio 5 meses y 14 días); La prueba CEM presentó menor presencia de vectores a diferencia del SEM en donde según encuestados se percibió mayor cantidad de vectores como moscas, sin embargo una mayor calidad nutricional [21].

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Abono Orgánico

En la Agroecología el abono orgánico es una de las alternativas amigables con el ambiente que utiliza como materia prima a materiales ricos en nutrientes como el carbono y nitrógeno como lo son los desechos de origen animal como el estiércol,, al igual que los residuos orgánicos rurales y urbanos [23]. Son materiales cuya eficacia mejora la fertilidad y la productividad de los suelos mediante la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos, proceso que aporta nutrientes al suelo. Este proceso tiene que ser controlado, respecto a su descomposición de residuos, se puede realizar por medios aeróbicos o anaerobios, dando como resultado un producto que ayuda a la calidad del suelo [24].

2.2.2. Compostaje

En el campo agrícola se tiene una problemática ambiental derivado de la explotación de los cultivos y es la generación de residuos orgánicos post cosecha, incluyendo a los frutos dañados o maltratados de la producción [23]. Habitualmente por desconocimiento, carencia de instalaciones, tiempo, malas prácticas como es la quema de estos residuos, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición. Es por ello que el compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola.

La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se destina para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. No obstante, no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente, son considerados compost; ya que este proceso consta de etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad [23].

2.2.3. Fases del compostaje

Es el resultado de procesos metabólicos realizados por microorganismos, que aprovechan los nutrientes tales como el nitrógeno (N) y el carbono (C) para producir su propia biomasa. Además, generan calor y un sustrato con una cantidad adecuada de C y N como resultado del proceso. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable [23]. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

Fase Mesófila

El material con el que inicia el proceso de compostaje a temperatura ambiente, en un tiempo de días o según el sistema horas hace que la temperatura se eleve hasta los 45°C. Lo que permite que la actividad microbiana, utilicen las fuentes sencillas de C y N generando calor, produciendo la descomposición de compuestos solubles, como

azúcares y produciendo ácidos orgánicos, lo que puede producir que el pH bajar en un rango de 4.0 a 4.5 [23].

Fase Termófila o de Higienización

Cuando el material llega a una Temperatura mayor a 45°C, se desarrollan microorganismos resistentes a mayores temperaturas llamadas bacterias termófilas, facilitando la degradación de enlaces más complejos como de C, celulosa y la lignina; transformando el nitrógeno en amoníaco lo que hace que el pH suba en la parte media. Cuando las pilas alcanzan los 60°C aparecen las bacterias encargadas de producir esporas y actinobacterias, y que descomponen ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono que son complejos, el tiempo se esta fase cambie en función de los materiales empleados, condiciones ambientales entre otros; en esta fase se resalta la eliminación de bacterias patógenas como *E.Coli* y *Salmonella spp*, con temperaturas mayores de 55°C para cumplir con los estándares de calidad [23].

Fase de Enfriamiento o Mesófila II

Al disminuir las fuentes de Carbono y nitrógeno la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. En esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y puede llegar aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Los organismos mesófilos a 40° C se activan y hacen que el pH descienda levemente o se mantenga alcalino [23]. Por lo general esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas.

Fase de Maduración.

Para esta fase se requiere de incluso meses a una temperatura ambiente puesto que en este tiempo se dan procesos como la condensación y polimerización de compuestos carbonados para posteriormente realizar la formación de ácidos húmicos y fúlvicos [23].

2.2.4. Tipos de Sistemas de compostaje

Sistemas abiertos:

Se caracterizan por encontrarse expuestos al entorno ligera o con un manejo sencillo. Existen los sistemas de apilamiento estático con aire por succión o Sistema Beltsville, con aire soplado o Sistema Rutgers y de ventilación alternante [25].

- La pila estática aireada tiene una red de tuberías perforadas sobre las que se coloca la fracción de materia orgánica. Se aplica el aire necesario para la conversión biológica, control de la temperatura y CO₂ por medio de un inyector, al final se realiza el proceso de curado durante aproximadamente cuatro semanas para dar con el producto final [25].
- Apilamiento con volteo (dinámico): los volteos en función de la temperatura y la

humedad, aireados con maquinaria o de manera manual, permiten su diseño a mayor altura [25].

- Sistema mixto: consiste en realizar el apilamiento con volteo y aireación forzada (Sistema Siloda).

Sistemas cerrados:

Estos sistemas están diseñados para reducir el área y tiempo de compostaje y hacer un mejor control de los parámetros del proceso, demandando cierto grado de complejidad en su estructura y operación, ya que requiere de reactores un poco más complejos y dinámicos que permiten procesos de compostaje, con costos un poco más elevados. Entre ellos se encuentran: los reactores verticales continuos, encontrándose con alturas de 4 a 10m, donde el material compostable se encuentra en una masa única; en este sistema se controla temperatura, aireación y características de los gases, durante las dos semanas en que ocurre el compostaje. Los reactores horizontales pueden ser estáticos, en los que el tiempo de compostaje suele ser de 15 a 30 días, de rotación o dinámicos, que constan de una forma cilíndrica de 2 a 3m de diámetro, con giros de 2 a 3 rpm, donde los residuos permanecen en el reactor de 24 a 36 horas [25].

2.2.5. El proceso de biodegradación

El ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en su documento de construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón, desarrolla el proceso de transformación de los residuos orgánicos a través de la técnica del compostaje, en diferentes fases o etapas, así: una vez conformadas las pilas o eras de compostaje, se procederá a su manejo, lo cual contempla actividades como aireación, maduración y recolección del compost [26]. De la siguiente manera:

Aireación.

El compostaje es un proceso biológico a través del cual los microorganismos convierten materiales orgánicos biodegradables en compost o abono orgánico, consumiendo oxígeno para extraer la energía y nutrientes de estos. Para una transformación completa de los mismos y evitar así sectores anaerobios que generen malos olores o lixiviados se hace necesario suministrar suficiente oxígeno al proceso. Esta aireación, se puede llevar de diferentes formas [26].

Volteo: Este método, se aplica al compostaje en pilas y tiene por objeto remover todo el material de pila cada dos (2) o tres (3) días, de forma manual o mecánica buscando que el material que esté localizado al interior de la misma quede en la superficie. Con el fin de homogeneizar la descomposición de los residuos, ya que los que están en el interior de la pila, por estar sujetos a más altas temperaturas, se descompondrán más rápidamente [26].

Inyección de aire comprimido o aireación forzada. Este método se aplica a los métodos de compostaje estático en silos o las celdas. Consiste en disponer en la base

de los residuos un sistema de ventilación alimentado por una bomba de aire comprimido, que inyecta el aire garantizando los procesos aerobios [26].

Maduración y recolección del compost

En la etapa de maduración, la temperatura de la pila disminuye al nivel hemofílica y posteriormente a temperatura ambiente. Este período se caracteriza por la estabilización de la temperatura de la pila, la cual se presenta normalmente entre el día 17 y 21, de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar en donde se lleve a cabo el proceso de compostaje, el proceso de compostaje termina cuando [26]:

- La temperatura se estabiliza (cerca de la temperatura ambiente).
- La humedad sea del 30% (debe formar masa al apretarlo).
- El aspecto sea de forma granulada (suelto)
- Esté libre de olores.

2.2.6. Postmaduración y almacenamiento

Tamizado. Cuando el material ya esté compostado se somete a una selección física donde se elimina el material grueso que no se ha transformado, el cual se devuelve a las pilas de material en proceso.

Caracterización fisicoquímica. El compost es analizado en un laboratorio para definir sus cualidades como elemento recuperador de suelos de cultivo y/o como abono orgánico., según el caso se realizan ajustes químicos y/o físicos y se dispone para el uso definido. Es importante resaltar que los análisis del abono orgánico se deben realizar en laboratorios autorizados por el ICA de tal manera que aseguren el cumplimiento de sus normas [27].

Al final del proceso se procede a empacar el compost en costales y su posterior almacenamiento en la planta, donde se realizará su secado para su distribución [28].

2.2.7. Factores a considerar en el proceso de compostaje

El compostaje, es un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo que para llevarse a cabo necesita materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones óptimas para que ésta se desarrolle como un proceso agroecológico donde existe la sinergia, con la participación de la actividad microbiana encontrando un equilibrio entre : aire / agua, y otros nutrientes que permiten inicialmente las condiciones óptimas fisicoquímicas [29].

Según la FAO ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura, pH y la relación C:N. Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos

parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo.

Parámetros como el Oxígeno en el compostaje es importante puesto que 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 (CO_2) a la atmosfera. 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. 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. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H_2S) o metano (CH_4) en exceso; por lo cual es importante monitorear parámetros como temperatura, humedad, pH y dióxido de carbono [23]

2.3. Bases Legales

Tabla 1. Marco Legal

NORMA RELACIONADA	DESCRIPCIÓN
Constitución política de Colombia. Artículos 79, 80, 85	Por la que se establece el deber del Estado en cuanto al manejo y aprovechamiento de los recursos, garantizando el desarrollo sostenible. Además, de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, y exigir la reparación de los daños causados.[30]
Ley 388 de 1997	Ley de Ordenamiento Territorial establece la adopción de las políticas de largo plazo para la ocupación, aprovechamiento y manejo del suelo y del conjunto de los recursos naturales [31].
Decreto 421 de 2000	Permite la participación de las comunidades organizadas en la prestación y administración de los servicios públicos domiciliarios como lo es el aseo para la adecuada Gestión de los Residuos Sólidos en zonas rurales y urbanas [32].
Ley 142 de 1994	En la cual se presenta la regulación y se garantiza la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final mejorando la calidad de vida de los usuarios, al igual que actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos [33].
Ley 715 de 2001	Se establece la vigilancia y control frente a los residuos sólidos desde su recolección, transporte y disposición final [34].
Resolución No. 151 de 2001	Se establece la regulación integral de los servicios públicos tales como acueducto, alcantarillado y aseo, para el último se calcula la tarifa para la limpieza y disposición de residuos en zonas rurales y urbanas [35].
Resolución No. 233 de 2002 y No. 247 de 2003	En la cual se establece una opción tarifaria para multiusuarios del servicio de aseo [36].

Decreto 190 de 2004	Donde se establece el tipo de equipamientos según el tipo de residuo a tratar, sujeto al Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos [37]
Acuerdo 344 de 2008	El diseño y ejecución del programa para la gestión de los residuos sólidos orgánicos como guía para romper barreras de su transformación y distribución [38].
Resolución No. 00375 del 27 de febrero de 2004	Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia [39].
Norma Técnica Colombiana 1927	Se definen términos relacionados con los fertilizantes, acondicionadores de suelo y materias primas, junto con sus limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, respecto a los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos [40].
Norma técnica colombiana NTC 5167 del 28 de mayo del 2003	Permite identificar los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo y por los cuales se hace referencia para establecer la calidad de abono respecto a los parámetros físico químicos y microbiológicos [41].
Norma Técnica Colombiana NTC 40	Identificación de los requisitos del etiquetado de los envases, empaques y embalajes destinados para abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo, para cumplir con los estándares de calidad De la Norma Técnica Colombiana[42]

Fuente: Elaboración Propia, según normativa actual Colciencias

2.4. Pregunta de Investigación

¿Cuál es la mejor forma o procedimiento para mejorar la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la Planta de compostaje de “Goleros” en el municipio Popayán, Cauca?

2.5. Hipótesis

El sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada tiene igual eficiencia para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, que el Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico, realizados en la Planta de compostaje de Goleros sede Montebello, en el municipio Popayán, Cauca.

Objetivos de Investigación

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje de “Goleros”

Objetivos Específicos

- Establecer la mezcla óptima de materiales de origen orgánico para el proceso del compostaje
- Analizar los parámetros operativos de los sistemas de aireación forzada del proceso de compostaje.
- Comparar cualitativa y cuantitativa la eficiencia del compost producido por los sistemas de aireación forzada.

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

Con el fin de realizar evaluación de la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje de “goleros” en el municipio Popayán, Cauca y la consecución de los objetivos propuestos en el presente proyecto, se planteó una metodología que contempla tres fases, a continuación, se detallarán cada una de ellas. Este trabajo fue del tipo descriptivo, y a partir de establecer la mezcla óptima de residuos sólidos orgánicos para su sometimiento a procesos de compostaje, después analizar los parámetros operativos del sistema de aireación forzada para el proceso de compostaje del sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), como el sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II), y por último comparar cualitativa y cuantitativa del compost producido de forma convencional y el producido por aireación forzada teniendo en cuenta las variables de la Tabla 2.

Tabla 2. Variables de investigación

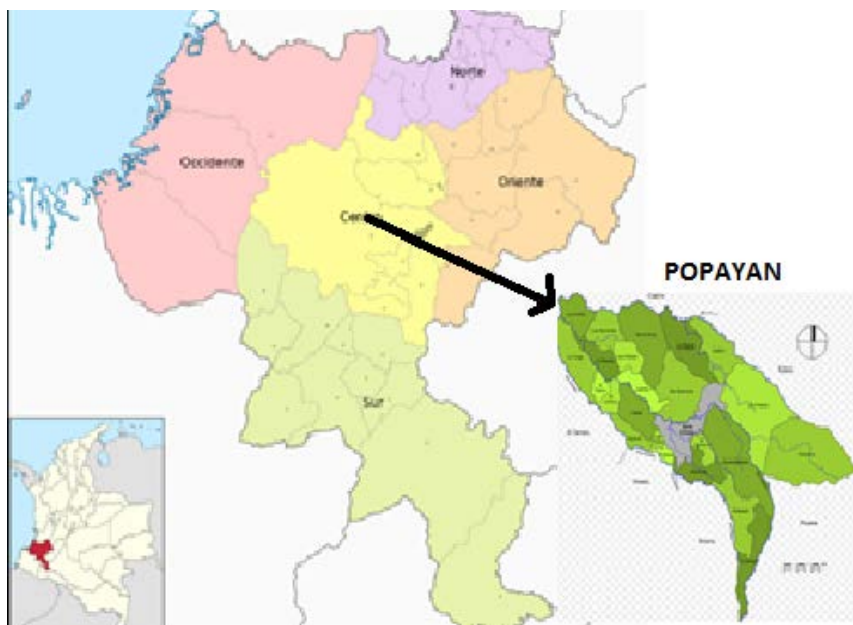
VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
<ul style="list-style-type: none">• Residuos Orgánicos.• Equipos de medición y herramientas.• Tratamientos de aireación.• Microorganismos de montaña (MM).	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de producción de compostaje.• Calidad del compostaje (Parámetros químicos y biológicos).• Vectores.• Olores.

Fuente Elaboración Propia

3.1. Descripción del área de estudio

En la Figura 1 se observa el municipio de Popayán, el cual es la capital del Departamento del Cauca en la República de Colombia, se encuentra a una altitud de 1.738 metros sobre el nivel del mar, msnm, con una temperatura media de 19° C, se localiza a los 2°27' norte y 76°37'18" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. La población estimada es de 258.651 habitantes aproximadamente en su área urbana [54]. Además, cuenta con cuencas y micro cuencas como el río Cauca y las subcuencas de los ríos Piedras y Molino que surten de agua al Acueducto Municipal, al igual que un clima templado debido a sus diversos pisos térmicos, su ecosistema es considerado como un reservorio estratégico conformado por 13 micro cuencas, humedales y manantiales, por tanto tiene una regulación hídrica con influencia sobre la zona de Páramo en el municipio [54].

Figura 1. Área de estudio Popayán, Cauca.



Fuente: UMATA

Se llevó a cabo por medio de información cualitativa y cuantitativa recolectada mediante observación del entorno, registro fotográfico, visitas a la zona de estudio y apuntes en la base de datos como se observa en la tabla 3, a su vez se analizarán las condiciones ambientales propias de la Planta de Compostaje de Montebello.

Tabla 3. Recolección de información del área de estudio

SEDE	EVIDENCIA FOTOGRAFICA	DESCRIPCIÓN	HORARIO

Fuente: Elaboración propia

3.2. Establecimiento de la mezcla optima de residuos sólidos orgánicos para su sometimiento a procesos de compostaje

3.2.1. Recolección y método de cuarteo

Se realizó la recolección de los residuos orgánicos en las plazas (placita campesina de la calle 13 de la ciudad y del barrio Aida Lucia de Popayán) con una frecuencia de una (1) veces por semana para el material requerido el cual fue 900 Kg, en cuanto a la viruta se recolecto en un total de 250 Kg y por último el estiércol fue recolectado en la planta de sacrificio del municipio de Popayán en una cantidad de 450 Kg y dispuestos en recipientes o lonas; dividiéndose en dos partes iguales para los dos tipos de estructura de aireación forzada, teniendo en cuenta estudios de investigación anteriores tal como [25], es por ello que con el grupo de investigación de la Universidad del Cauca se estipularon estas cantidades teniendo en cuenta los aportes C: N de cada uno de los materiales implementados como se observa en la Tabla 4 como los desperdicios de cocina, estiércol vacuno y aserrín.

Tabla 4. Relación C: N de algunos materiales usados en el compostaje

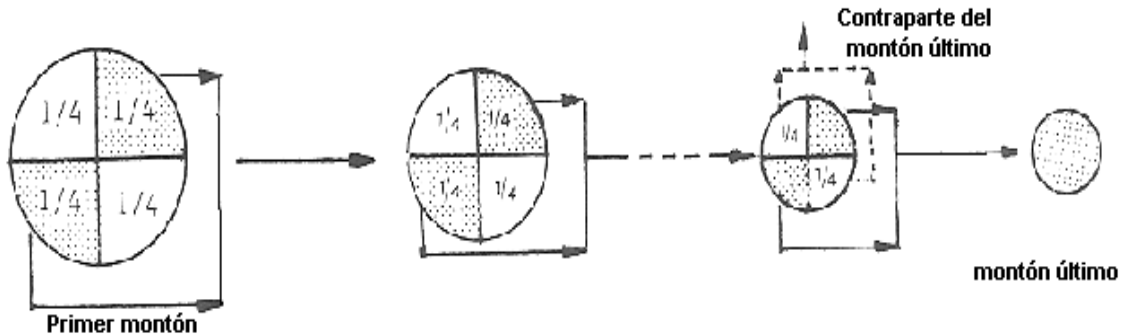
Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 - 40:1		Nivel alto ele carbono 41:1 - 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierbo recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27 :1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14 :1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/ caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seco (gramíneos)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44 :1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: [23]

Seguido de su recolección se procede al método de cuarteo mediante el cual los residuos fueron dispuestos sobre el área de recepción de la planta, luego se realizó

una circunferencia uniforme con todos los residuos; extrayendo dos cuartos, posteriormente se hizo otra circunferencia uniforme similar a la anterior, de la cual, se extrajo nuevamente dos cuartos, y así sucesivamente hasta que se obtuvo una muestra de 50 kg [43], como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Método de cuarteo



Fuente: [44]

Posteriormente, se realizó la separación de estos en recipientes de 20 L y su correspondiente pesaje, luego se realizó la separación de los residuos de acuerdo con sus componentes en el último montón, finalmente se determina el peso y porcentaje de cada componente teniendo en cuenta la cantidad total de residuos recolectados, al igual que su clasificación según el material como: papel y cartón, plástico entre otros.

3.2.2. Densidad

La medición se hizo de la siguiente forma de acuerdo al CEPIS, 2009 y CEPAL 2016 [45]. Se preparó un recipiente de 50 L que sirvió para el muestreo y una balanza de reloj con capacidad para 100 Kg, se pesó el recipiente vacío y se midió su volumen, mediante un tarro de dimensiones 34 cm de alto y un diámetro de 28 cm, luego se depositó los residuos, cuidadosamente al distribuirlos equitativamente, además de no presionarlos para evitar compactación y así reducir los riesgos de cálculos adicionales. A continuación, se pesó el recipiente lleno y por diferencia de pesos se halló el peso de los residuos; es decir, realizando la diferencia entre el peso del recipiente vacío menos el peso del recipiente lleno de residuos. Finalmente, se dividió el peso de los residuos entre el volumen del recipiente para obtener la densidad en Kg/m^3 . Por último, se pesó el recipiente cuando estuvo vacío y por diferencia se obtuvo el peso de los residuos, para calcular la densidad de los mismos, al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del recipiente.

3.2.3. Análisis de muestras

Se emplearon protocolos del "Standard Methods" (SM) (American Public Health Association & American Water Works Association, [46] según la metodología de preparación de muestras propuesta por F. Güelfo y L. Alberto [47]. Los sólidos totales se cuantificaron directamente de la muestra sin diluir mediante secado a peso constante (método SM 2540). Posteriormente, se mezcló 10 g de muestra en 100 ml de agua destilada y se agitó durante 2 horas. Luego, la muestra lixiviada se utilizó para

la medición de pH (método SM 4500B) por potenciometría empleando un equipo de titulación (METROHM TITRINO PLUS) con electrodo UNITRODE (Pt1000/B/2/3M KCl) calibrado en dos puntos con buffer Fluka BS y para la determinación del nitrógeno amoniacal el cual fue recogido mediante destilación de la muestra previamente tamponada con tampón borato sobre ácido bórico (Destilador Raypa DNP-2000-MP) y retro-valorado por titulación (METROHM TITRINO PLUS) con ácido sulfúrico (0,02 N) (SM 4500-NH3-E). La muestra lixiviada fue a su vez forzada a través de un filtro de fibra de vidrio de 0,45 µm y el filtrado se usó en la valoración de AGV (SM 5560B) por titulación a punto final con fenolftaleína.

Las muestras fueron debidamente empacadas en bolsas herméticas y rotuladas, para realizar los siguientes análisis: Carbono orgánico oxidable, humedad, nitrógeno total. Estas pruebas se enviaron a un laboratorio certificado, con el fin de conocer los componentes nutricionales, variables fisicoquímicas y microbiológicas de las materias primas acorde a la norma técnica colombiana 5167 [14] .

3.2.4. Pretratamiento de los residuos

Fue necesario acondicionar los residuos para que la descomposición fuera adecuada, esto se logró con un pretratamiento de los mismos, que comprendió las siguientes operaciones:

Primero se realizó una selección de materia orgánica para llevar a cabo el estudio, las cuales se clasificaron exhaustivamente excluyendo la materia ajena al proceso, y así evitar interferencias en los resultados al igual que la reducción de la generación de rechazos; seguido de ello se disminuyó el tamaño de partículas a tamaños adecuados como lo establece la FAO de 5 a 20 cm [23]; para el proceso de compost operación se realizó de forma mecánica con una trituradora modelo BSF-40, con capacidad de 1-2 Ton/ hora, marca CK y certificada por la ISO 9001.

Para el cribado se realizó la separación de partículas de diferentes tamaños, haciendo pasar el producto sobre un tamiz elaborado convencionalmente con un tamaño para partículas de 10 a 15 cm, separándolos de las partículas más grandes de compost, para posteriormente disminuir su tamaño y que pase nuevamente por el tamiz hasta el tamaño deseado. Por último, se empaca la materia prima de compostaje en sacos de 71 cm de ancho y 118 de alto para su distribución comenzando con el montaje del compost dividido en dos pilas.

3.2.5. Recolección y reproducción de Microorganismos de Montaña (MM)

La captura se realizó en el área cercana aproximadamente a 1 Km de la Planta de Compostaje Goleros, sede Montebello, donde se realizaron las pilas I y II de estudio; ya que están adaptados al tipo de materia orgánica, temperatura, humedad y otras condiciones del clima. Para la recolección de los microorganismos de montaña (MM) se procede a su captura mediante 50 trampas constituidas por vasos desechables llenos a la mitad con granos de cebada cocinada hasta una consistencia semisólida

con un peso por unidad de 20 gr y asegurada con poli sombra, los cuales se ubicaron de forma estratégica teniendo en cuenta los indicadores de la hojarasca como color e identificación de moho blanco y/o café para la captura de (MM) en un bosque secundario cercano a la Planta los Goleros. Se ubicaron mojoneros para los puntos en donde se dejaron las trampas y luego de 20 días se recolectaron, obteniendo 1000 gr.

Posteriormente se procedió a realizar el medio líquido para su reproducción con los microorganismos de montaña teniendo en cuenta que se diluyeron las cebadas colonizadas de las zonas del bosque y del guadual resultado de las trampas de MM, es decir, el inoculo de los microorganismos, además de otros materiales como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Metodología de preparación de Microorganismos de Montaña (MM)

<p>Actinomicetos</p> <p>2 pomas cada una de 20 L</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 kg de Melaza por poma • 200 ml de leche por poma • 1 kg de cebada colonizada del bosque
<p>Fototropicos</p> <p>1 poma de 20L</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 kg de Melaza • 200 ml de leche • 1 kg de cebada colonizada del guadual
<p>Lactobacilos</p> <p>1 poma de 20 L</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 kg de Melaza • 500 ml de Leche • 500 ml de Yougurt
<p>Levadura</p> <p>1 poma de 20L</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 kg de Melaza • 1000 ml de Leche

Fuente: Elaboración Propia

La anterior mezcla se deja rotulada y en un sistema de almacenamiento aerobio para su proliferación durante los próximos 2 meses, dado que aunque se muestran estudios con buenos resultados al mes como [48], se decidió realizar un ensayo diferente en este lapso de tiempo con la continua aireación del sistema. Una vez se cumplió el tiempo se homogenizaron las diferentes mezclas y se tomaron 15 L para cada una de las pilas, debido a que la adición de MM conocidos también como “consorcios microbianos” se presenta como una nueva alternativa por su diversidad funcional y su composición, cumpliendo roles benéficos en los procesos biológicos ;además de ser una alternativa artesanal y de bajo costo que no genera efectos nocivos o patógenos, y no requiere de modificaciones genéticas, enriqueciendo biológicamente el abono [49].

3.2.6. Montaje

Lugar e instalaciones

Para la realización de las pilas I y II de compostaje, se contó con un área dedicada del sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (I) de $1.65 m^2$ y de volteo dinámico (II) de $2.4 m^2$ para el compostaje de los residuos orgánicos. Fue necesario que se nivelara el terreno donde se colocó la mezcla de materiales para facilitar el escurrimiento de fluidos de las pilas.

Se requirió la construcción de una estructura tipo cubierta con plástico de invernadero, para proteger a la pila de compostaje de la lluvia. Las instalaciones contaron con un área para el volteo del material y disponibilidad de agua para riego de la pila.

Configuración de la pila de compostaje y tiempos de volteo.

La preparación de la pila se realizó en capas o mezclando los materiales con las proporciones adecuadas de residuos, aserrín y estiércol. A medida que se fue conformando la pila, se realizó seguimiento diariamente para que los niveles de humedad estuvieran en el rango adecuado como lo indica la FAO en el Manual del Compostaje del Agricultor [23]. Se produjo el proceso con aire forzado en las pilas I y II. En estas condiciones, y junto con el control de las variables diariamente, se asegura la correcta descomposición de la mezcla de materiales durante 50 días de compostamiento.

Para esta investigación se consideró los datos obtenidos para el diseño del sistema de tuberías, se basaron principalmente en la investigación realizada por Finstein. M [50]. La propuesta de esta investigación plantea el uso de un sistema de tuberías de PVC en paralelo con dos líneas de distribución de aire a lo largo de la pila, las mismas tienen un diámetro de 4 pulgadas, con orificios perforados a lo largo de la sección longitudinal para la distribución del aire.

En cuanto a los tiempos de volteo fueron continuos teniendo en cuenta la temperatura, humedad, pH y CO_2 , en el sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II), se realizó diariamente durante el proceso de compostamiento en las pilas montadas para una mejor aireación y nivelación del dióxido de carbono [51].

Proceso de aireación:

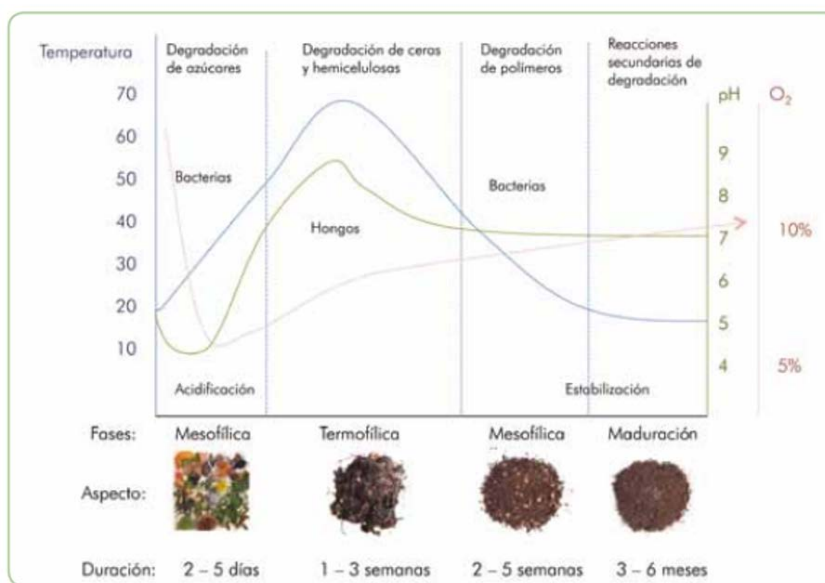
Para este proceso se llevó un seguimiento del parámetro de CO_2 con una bomba de gas portátil de CO_2 durante 50 días con una frecuencia de tres tomas diarias para cada sistema con el fin de mantener constante los niveles de oxígeno y la regulación a una temperatura óptima [52], las cuales fueron analizadas realizando comparación bibliográfica de estudios de investigación previos, el proceso fue determinante ya que se nivelaba hasta llegar a cero haciendo el proceso de aireación y realizando su medición en términos de tiempo, para las pilas I y II.

3.3. Análisis de los parámetros operativos del sistema de aireación forzada para el proceso de compostaje.

Se realizó el proceso de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el método de aireación forzada en donde se realizaron cuatro agujeros de 1 mm de diámetro para cada tubería teniendo en cuenta estudios previos como para mayor eficiencia del sistema de inyección de aire [25], en cuanto a las materias primas del proceso de compostaje de las cuales tanto el sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), como el sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II); consta cada una de 450 Kg de materia orgánica, 125 Kg de viruta, 225 Kg de estiércol y 15 L de la aplicación de microorganismos de montaña (MM)

Para el respectivo análisis se tuvieron en cuenta los comportamientos de las cuatro fases del compost: fase mesofílica, termofílica, enfriamiento y madurez como se observa en la Figura 4 [23], con respecto a volteos del material o aireación forzada y el control de los parámetros antes mencionados.

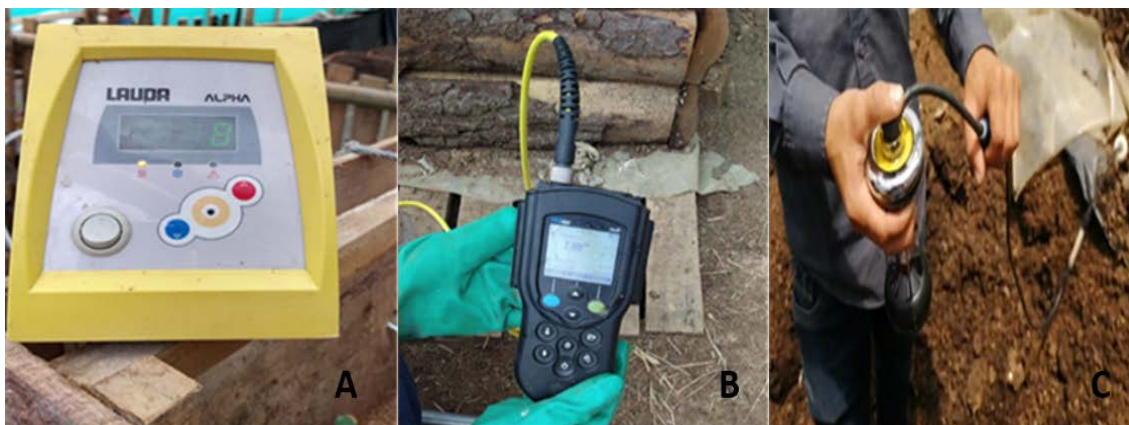
Figura 4. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje



Fuente: [23]

Las medidas *in situ* realizadas tanto en el sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), como el sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II), fueron medidos la temperatura con un termostato LAUDA de inmersión Alpha A, la humedad y el pH con un medidor multiparametro HACH HQ40D, y el CO₂ (Figura 5) con una bomba de gas portátil; los cuales se registraron durante 50 días con una frecuencia de tres tomas diarias para cada sistema metodología adoptada de trabajos previos como [25]; para mayor precisión en los datos de los cuales se obtuvo como resultados que posteriormente fueron analizados mediante una comparación bibliográfica de estudios previos, además se tuvo en cuenta la presencia de vectores, olores y lixiviados en el análisis de estos.

Figura 5. Instrumentos de medición de parámetros en campo, A: termostato LAUDA de inmersión Alpha A; B: medidor multiparametro HACH HQ40D; C: bomba de gas portatil para CO2



Fuente: Elaboración Propia

3.4. Comparación cualitativa y cuantitativa del compost entre el sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), respecto al sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II).

Primero se realizó un peso la materia orgánica, seguido de esto las muestras fueron debidamente empaçadas en bolsas herméticas y rotuladas, para realizar los siguientes análisis: Densidad Aparente Seca, pH en Pasta Saturada, Cantidad de sal en el suelo (C.E en Extracto Saturación), Humedad, Cenizas, Residuo Insoluble en Acido, Capacidad de intercambio Cationico (C.I.C), Nitrógeno Total, Potasio Total, Calcio Total, Magnesio Total, Fósforo Total, Silicio Total, Azufre, Boro, Cobre, Manganeso, Hierro, Zinc, Sodio, C. Orgánico Oxidable Total, Relación carbono: nitrógeno (Rel (C/N)), Retención de Humedad, Perdidas por Volatización; Metales pesados: Arsénico, Cadmio, Cromo, mercurio, níquel y Plomo; Análisis microbiológico (*Enterobacterias*, *Salmonella sp*, *Coliformes Totales*, *Huevos de Helmintos*, *usarium sp*, *Nematodos Fitopatógenos*).

Una vez realizadas las pruebas se procede a la realización de la matriz de cumplimiento por medio de la herramienta ofimática Microsoft Excel, teniendo en cuenta la tabulación de la Tabla 5 y el indicador de porcentaje de cumplimiento, junto con los límites de las variables fisicoquímicas y microbiológicas según la norma técnica colombiana 5167, en donde se establecen los criterios para un abono orgánico de calidad en el marco de los productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo [53]; en cuanto al análisis se recurrió a la comparación bibliográfica de artículos científicos y/o académicos, documentos oficiales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y trabajos de grado relacionados con la temática para rechazar o aprobar la hipótesis planteada.

$$\text{Porcentaje de Cumplimiento} = \frac{\text{Numero de parametros que cumplen con la norma}}{\text{Total parametros que aplican a la norma}}$$

Tabla 5. Tabulación para porcentaje de cumplimiento

Valoración	
Cumple	1
No cumple	0
No Aplica	N/A

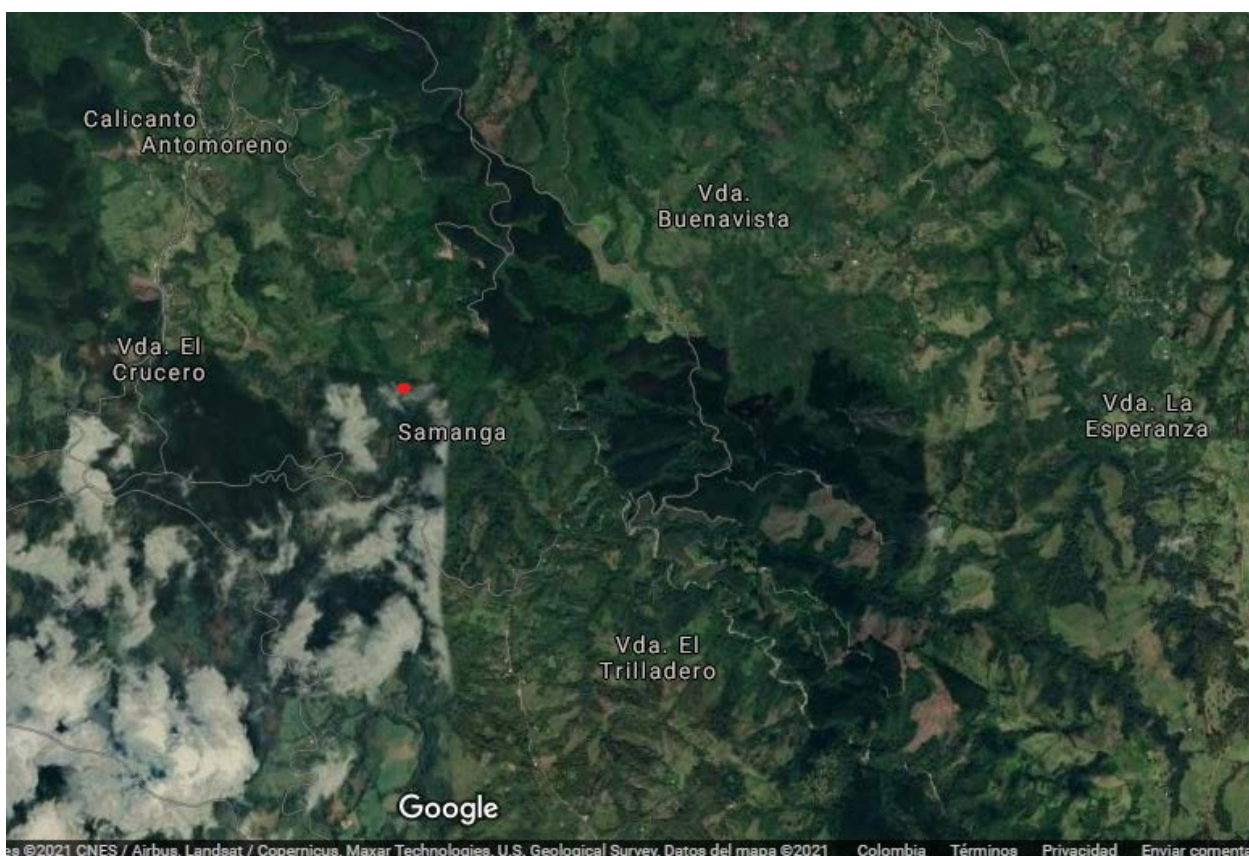
Fuente Elaboración Propia

4. CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción área de estudio.

El lugar donde se realizaron los estudios piloto del sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), como el sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II) es la Planta de Compostaje de Goleros “Montebello”, ubicada en la vereda Montebello del Corregimiento de Samanga como se observa en la Figura 6.

Figura 6. Ubicación geográfica del corregimiento de Samanga, Popayán, Cauca



Fuente: Google maps

En la tabla 6 se observa el reconocimiento que se realizó en la Planta goleros, sede Montebello en donde se identificaron las zonas de trabajo junto a las actividades que se realizan en ellas, al igual que los horarios de trabajo y otros aspectos técnicos de los compost realizados.

Tabla 6. Información recolectada del área de estudio

SEDE	EVIDENCIA FOTOGRAFICA	DESCRIPCIÓN	HORARIO DE TRABAJO
Planta de Compostaje de Goleros “Montebello”		<p>La instalación de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, cuenta con un punto de llegada de la materia orgánica (MO), seguido de cuatro naves de la siguiente forma:</p> <p>La primera es un espacio destinado a la materia fresca donde se aplica aserrín para prevenir olores, con un sistema de prevención de vectores, se realizan volteos dinámicos para comenzar el proceso de aireación y descomposición.</p> <p>En la segunda se continua con los volteos dinámicos y se realiza la aplicación de microorganismos de montaña (MM).</p>	7 am-12 pm y 1 pm a 4 pm



Posteriormente en la tercera nave se procede a triturar la MO para la elaboración de compost con su densidad y diámetro según la norma, la cuarta nave cuenta con un área de almacenamiento de materiales, herramientas de trabajo y equipos de protección personal (EPP).

Además, cuenta con un punto de almacenamiento para la MO post maduración y para la reproducción de microorganismos recolectados en la misma zona.

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Establecimiento de la mezcla optima de residuos sólidos orgánicos para su sometimiento a procesos de compostaje

4.2.1. Recolección y método de cuarteo

En la recolección de los residuos orgánicos en las plazas (placita campesina de la calle 13 de la ciudad y del barrio Aida Lucia de Popayán) fue requerido 900 Kg de materia orgánica (Figura 7) entre las cuales se observaron los frutos y cascara de naranja, mandarina, papa, maíz, guama, banano, guayaba, maracuyá, zanahoria y yuca, en estado de descomposición; en cuanto a la viruta se recolecto en un total de 250 Kg, esta fue seleccionada debido a que posee una alta porosidad y una baja humedad, los cuales son aspectos muy importantes a la hora del compostaje. El estiércol fue recolectado en la planta de sacrificio del municipio de Popayán en una cantidad de 900 Kg, el cual se tuvo en cuenta al ser un fertilizante orgánico por su alto contenido en nitrógeno y materia orgánica, los cuales fueron dispuestos en recipientes o lonas; las cantidades antes mencionadas se dividieron en dos partes iguales para los dos tipos de estructura de aireación forzada.

Figura 7. Materia orgánica (MO) de placita campesina de la calle 13 de la ciudad y del barrio Aida Lucia de Popayán, A: llegada al centro de acopio de MO; B: traslado de MO sobre lecho regulador de humedad.



Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se determinó el peso y porcentaje de la siguiente forma los residuos orgánicos (450 kg) con el 55.21%, la viruta (125 kg) con 15.34%, el estiércol (225 kg) con 27.61% y los Microorganismos disueltos de la siguiente forma Actinomicetos (2 pomas cada una de 20 L), Fototropicos (1 poma de 20L), Lactobacilos (1 poma de 20 L) y Levadura (1 poma de 20L), de los cuales se utilizó (14.95 kg) homogéneamente, que

corresponde al 1.84 % de la mezcla de la materia prima, por tanto, la cantidad de materia orgánica rica en carbono es significativa, debido a ello que se utiliza la viruta para nivelar este elemento en las pilas de compost al igual que la humedad y otros factores.

En cuanto a la caracterización de los residuos orgánicos procedentes de alimentos en la placita campesina de la calle 13 de la ciudad de Popayán y del barrio Aida Lucia. Se tomaron como muestra significativa los residuos en su mayoría cascaras de naranja, seguido de la cascara de banano, plátano y hortalizas verdes, las cuales se recolectaron en bolsas plásticas para la recolección de los residuos generados en los días de mayor comercialización (martes, sábado y domingo). Como se evidencia en la Figura 8.

Figura 8. Método de Cuarteo de Residuos Orgánicos, A: muestra inicial; B: homogenización de la muestra; C: cuarteo de residuos orgánicos; D: muestra final



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Densidad.

La densidad de los residuos fue evaluada a su ingreso usando un recipiente cilíndrico de 50 L vacío, que fue usado como instrumento de medida; este se pesó y calculó su volumen según [43] como se evidencia en la Figura 9.

$$\rho = \frac{PR}{V_r}$$

Ecuación 1

Aplicación de la ecuación 1 para determinar la densidad de la materia orgánica para la realización de las pilas I y II.

$$\rho = \frac{10.75 \text{ Kg}}{0.021 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 513.48 \text{ Kg/m}^3$$

Dónde: ρ = densidad de los residuos sólidos; PR = peso de los residuos; V_r = volumen del recipiente.

Figura 9. Pesaje de materia orgánica (MO) para la determinación de densidad, A: pesaje de recipiente; B: Dimensiones; C: pesaje de MO.



Fuente: Elaboración Propia

Una vez se realizó el pesaje y el cálculo de la densidad $\rho = 513.48 \text{ Kg/m}^3$, se relaciona el tamaño de la partícula con el tamaño mínimo ideal del material en la densidad para compostaje es de aproximadamente 150 -250 kg/m^3 según el manual de compostaje del

agricultor de la FAO como se observa en la Figura 10 [23], teniendo en cuenta que a menor tamaño de partícula mayor es la densidad, y su relación con la aireación de las pilas y retención de humedad, se obtiene que la densidad de los residuos orgánicos con que se realizaron las pilas I y II son idóneas para realizar el proceso del compostaje.

Figura 10. Parámetros de Compostaje según La FAO

Parámetro	Rango Ideal al comienzo (2 a 5 días)	Rango Ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango Ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 - 35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	-10%	-10%	-10%
Tamaño de partícula	<25 cm	<15 cm	< 1,6 cm
pH	6,5 - 8,0	6,0-8,5	6,5 - 8,5
Temperatura	45 - 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	-1%

Fuente: FAO [23]

4.2.3. Análisis de muestras

Una vez obtenidos los resultados del laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda de Bogotá (ver Anexo 1), se analizó el compost como un producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos con características tales como la humedad como se presentan a continuación: los sólidos orgánicos con el 86.32 %, seguido del estiércol de vaca con 79.83 % y la viruta con el 48.34 %, teniendo en cuenta que el 60% es el límite máximo recomendable para la humedad por la FAO y la NTC 5167 ya que los residuos orgánicos y el estiércol de vaca los superan inicialmente entre los materiales utilizados en el compost, sin embargo aunque este parámetro puede dar paso a zonas de anaerobiosis por la falta de oxígeno debido al alto porcentaje de humedad inicialmente, las pilas I y II son óptimas para equilibrar este parámetro por medio de la aireación y el volteo dinámico, al no permitir que el oxígeno sea desplazado.

Si bien la relación C: N de un compost según la FAO en su etapa inicial debe estar en los rangos de 25:1 – 35:1, la materia prima utilizada en las pilas I y II tienen un promedio de 37: 1, para lo cual se tuvo en cuenta que el material que se encarga de proporcionar un alto aporte de carbono es la viruta, sin embargo, es necesaria para nivelar el porcentaje de humedad; para cumplir con el rango establecido se podría reducir la proporción de la materia prima que aporta el carbono de la materia que aporta mayor cantidad como la viruta y el material orgánico de las plazas de mercado y el estiércol al compost inicialmente.

En cuanto a la base seca se observa como los sólidos totales de la muestra tienen un aporte significativo en tanto al carbono y el nitrógeno para obtener un buen compost, resaltando a los residuos sólidos orgánicos que poseen una fuente significativa

aprovechable de los mismos; respecto a la base húmeda permite apreciar como la viruta representa el mayor aporte de carbono con 11.09% teniendo en cuenta la masa de agua que posee como se observa en la Tabla 7.

Finalmente, cada materia prima utilizada tuvo un aporte adecuado para comenzar con el proceso de degradación de materia orgánica (MO), puesto que de la fase termófila hasta la producción de un compost maduro por medio de la metodología aerobia implementada permitió estabilizar la cantidad de humedad, carbono y nitrógeno.

Tabla 7. Parámetros iniciales de las pilas de compostaje

Materia prima	% H	%C (Base Húmeda)	%N (Base Húmeda)	%C (Base Seca)	%N (Base Seca)	C/N
Residuos Sólidos Orgánicos	86,32%	3,90%	0,20%	28,50%	1,46%	19.50
Estiércol de Vaca	79,83%	4,78%	0,25%	23,70%	1,24%	19.12
Viruta de madera	48,34%	11,09%	0,15%	21,47 %	0,29%	73.93

Fuente: Laboratorio Asistencia Técnica Agrícola Ltda (2020)

4.2.4. Pretratamiento de los residuos:

Al preparar los residuos para el proceso del compostaje, el cual requiere de su adecuada descomposición, fue necesario realizar las siguientes operaciones:

Clasificación:

La materia orgánica recolectada de placita campesina de la calle 13 de la ciudad y del barrio Aida Lucia Popayán, no presento materiales como plásticos, papel u otros de forma significativa lo que indica una separación adecuada por parte de la comunidad de estas plazas. Los hallazgos fueron aproximadamente 425 gr de plásticos entre los residuos orgánicos, separándolos para realizar posteriormente la disminución de partículas como se evidencia en la Figura 11.

Figura 11. Clasificación de residuos orgánicos, A: Recolección; B: Clasificación.



Fuente: Elaboración Propia

Disminución del tamaño de partículas:

Se incluyeron las partículas a descomponerse a tamaños adecuados para el proceso de compost, esta operación se realizó de forma mecánica con una Picadora RKP1800-RE65 (Figura 12) y el tamaño aproximado al cual se dejaron las partículas de MO fueron de 5 a 15 cm de diámetro.

Figura 12. A: Disminución del tamaño de partículas de residuos orgánicos; B: picadora RKP1800-RE65.



Fuente: Elaboración Propia

Cribado:

Se realizó la separación de partículas de diferentes tamaños, para luego homogeneizar en un rango de 5 a 10 cm máximo, para una degradación de materia orgánica (MO) más rápida y efectiva en las Pilas I y II, como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Cribado y homogenización de materia orgánica para las pilas I y II.



Fuente: Elaboración Propia

Empacado de la materia prima:

Una vez pasaron por los procesos antes mencionados, se empaco el producto en dos partes iguales de materia orgánica, para su aplicación en el terreno haciendo el montaje de las dos pilas como se observa en la Figura 14.

Figura 14. Empacado de materia orgánica de las pilas I y II.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.5. Recolección y reproducción de microorganismos de montaña (MM)

En cuanto a la recolección de microorganismos de montaña se realizó su captura para posteriormente realizar la reproducción de lactobacilos, actinomicetos, foto trópicos y levadura, que equilibrio la flora regenerando la población de microorganismos beneficiosos, que permitieron la absorción de nutrientes, descomposición de materia orgánica y el aprovechamiento de fertilizantes, reduciendo los malos olores; los actinomicetos permitieron fijar el Nitrógeno al igual que degradación de material orgánico según revisión bibliográfica como se establece en [49] [48] [21] [55]; y por último la levadura que aumenta y activa los microorganismos benéficos, que permitió la transformación de materia orgánica en minerales como se observa en la Figura 15.

Figura 15. Recolección y reproducción de microorganismos de montaña (MM) en la zona de estudio, A: preparación lactobacilos; B: recolección en campo de MM; C: trampas para MM; D: obtención de MM; E: reproducción anaerobia de MM.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.6. Montaje.

Lugar e instalaciones

Las dos pilas se elaboraron en la Planta de Compostaje de Goleros de la vereda de Montebello, corregimiento de Samanga, Popayán; la cual tiene una extensión de 15 hectáreas en la que existen plantaciones de plátano, café, maíz y guaduales entre otros cultivos, además del área designada para el proceso de compostaje, en donde se realizaron los dos sistemas tanto de aireación forzada (Pila I), como de volteo dinámico (Pila II) como se observa en la Figura 16.

Figura 16. Instalaciones y adecuaciones, A: Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (I); B: Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (II).



Fuente: Elaboración Propia

Configuración de la pila de compostaje

A. Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (I)

Para esta pila se utilizaron las dimensiones de 1.10 m de ancho, 1.55 m de alto y 1.5 m de largo teniendo en cuenta trabajos relacionados como precedentes [25]; distribuyendo la materia de forma homogénea, con los residuos orgánicos, aserrín, estiércol y los microorganismos de montaña de forma homogénea, por último, se le agrego agua para que las diferentes capas se adhieran. Esta cuenta con un sistema de aireación con tubería en paralelo de 5 líneas de ½” como se observa en la Figura 17.

Figura 17. Estructura del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (I), A: vista frontal; B: vista posterior.



Fuente: Elaboración Propia

B. Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (II)

Para esta pila se usaron las dimensiones de 1.60 m de ancho, 1.20 m de alto y 1.5 m de largo teniendo en cuenta trabajos relacionados como precedentes [25]; en la que se realizó la mezcla de residuos orgánicos homogéneamente, con aserrín, estiércol y los microorganismos de montaña. A medida que se fue conformando la pila, se añadió agua para su adhesión. Además, se insertó una tubería de 4" de PVC en forma de Tee (T) y longitudinal en paralelo tres líneas como se muestra en la Figura 16, para que la pila de compostaje funcionara por aireación forzada, como se evidencia en la Figura 18.

Figura 18. Estructura del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (II).



Fuente: Elaboración Propia

Producto final

En la Figura 19 se observa como el producto de las pilas I y II son tamizados, una vez que el compostaje estuvo maduro, el objetivo fue eliminar el material de gran tamaño (gruesos).

El tamaño del tamiz es de aproximadamente 2 cm, para dejar el material grueso asegurando la calidad del producto, en su mayoría salieron pedazos con viruta (astillas), las cuales se reutilizaron para otro proceso de compostaje realizando el proceso de descomposición y que sirvió como inoculante de bacterias, de esta forma se redujo el desperdicio al máximo en la Planta de compostaje de Goleros, sede Montebello.

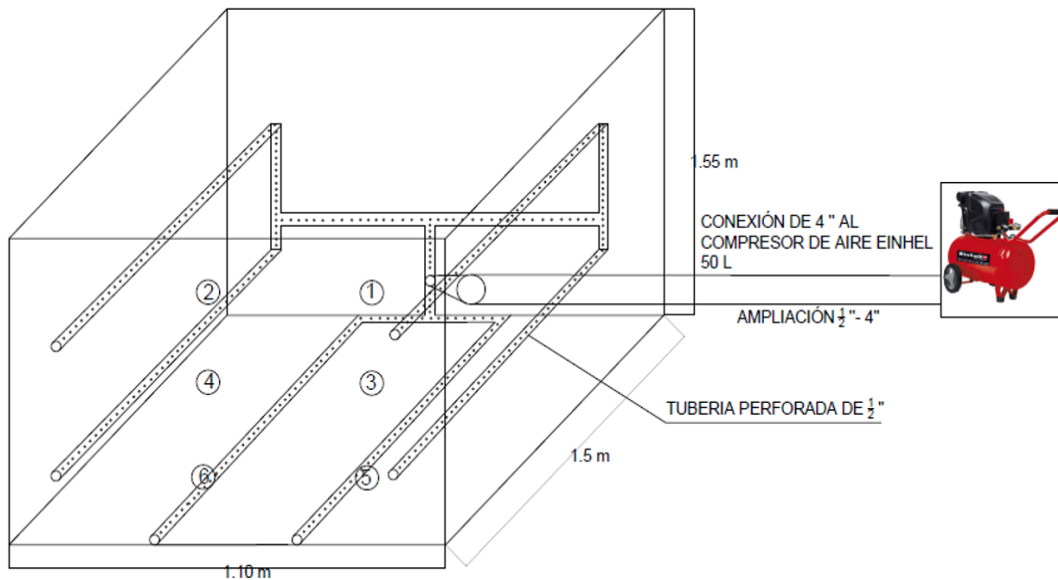
Figura 19. Producto final, A: proceso de tamizaje; B: resultado del tamizaje; C: producto final empacado.



Fuente: Elaboración Propia

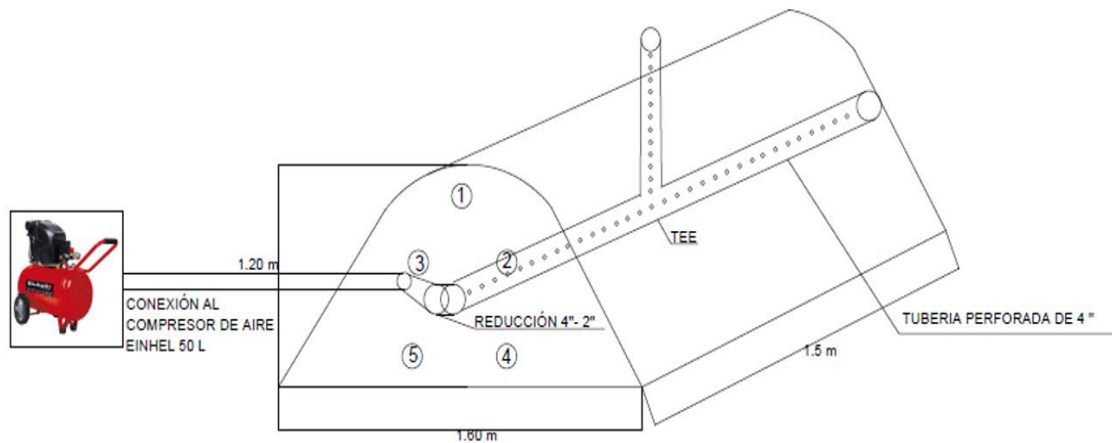
4.3. Análisis de los parámetros operativos del sistema de aireación forzada para el proceso de compostaje.

Para este análisis se tuvo en cuenta las cuatro fases de un compostaje de buena calidad: comenzando con la fase mesofílica que se caracteriza por la degradación de azúcares y aminoácidos para la acción de bacterias, siendo fáciles de degradar, generó energía en forma de calor por lo cual incrementó paulatinamente la temperatura entre (69.8°C-66.5°C) y una disminución del pH aproximadamente entre (5.7 – 6.3), seguida de la fase termofílica donde se degradan polímeros y celulosa por hongos del grupo de los actinomicetos aquí las altas temperaturas permiten el saneamiento de la composta ya que los patógenos y semillas indeseadas mueren, cumpliéndose uno de los objetivos más importantes del proceso que fue eliminar microorganismos patógenos, también se resalta que fue una de las fases donde más se requirió oxigenación para nivelar los niveles de CO₂ emitidos por el material compostado; seguido de una fase de enfriamiento donde las temperaturas se reducen y se realiza la degradación de las celulosas, lignina por bacterias y hongos y por último una fase de maduración donde se estabilizó y polimerizó el humus haciendo descender el consumo de oxígeno y desapareciendo la citotoxicidad. En las Figuras 20 y 21 se observan los puntos donde se tomaron las muestras con los instrumentos de medición para la Pila I y II., según los parámetros ya establecidos. Figura 20. Diseño interno del sistema de aireación forzada Pila I.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21. Diseño interno del sistema de aireación forzada Pila II.

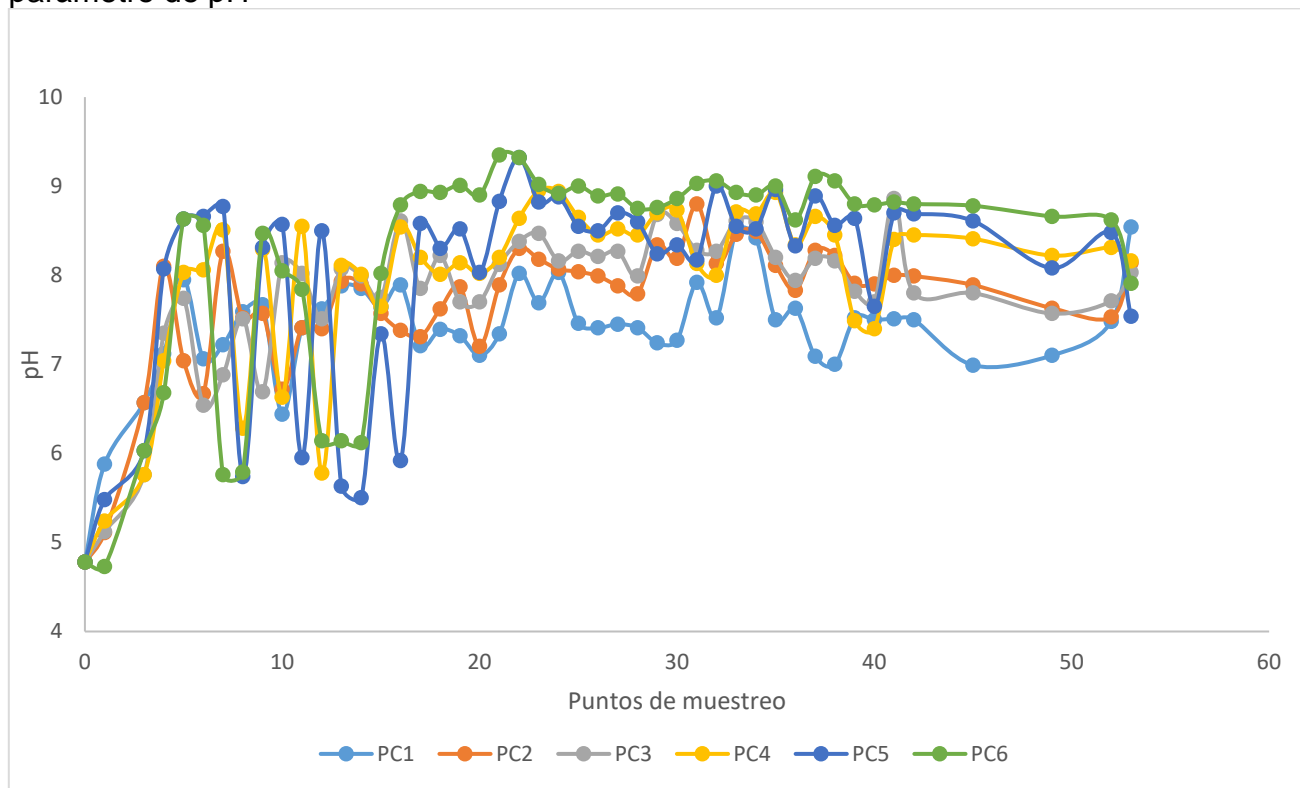


Fuente: Elaboración Propia

4.3.1. Parámetros del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I).

El pH es un parámetro que condicione la presencia de microorganismos, ya que los valores extremos son perjudiciales para determinados grupos. Para que la actividad microbiana fuera posible este sistema fue idóneo ya que estuvo con un pH promedio de 7.8, estando en el rango óptimo según la Figura 10 establecido por la FAO y que se puede observar en la Figura 22. Es importante resaltar que el pH presentado en la etapa termofílica no se asocia directamente con la temperatura ya que una vez culminada esta etapa el pH cuenta con un rango de 8 - 8.6 elevándose; si bien no tienen un aumento repentino, puede facilitar la formación de CO_2 , amoníaco y la liberación de nitrógeno amoniacal, ya que esto afecta el equilibrio ácido-base que influyen en la conservación de nitrógeno.

Figura 22. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de pH

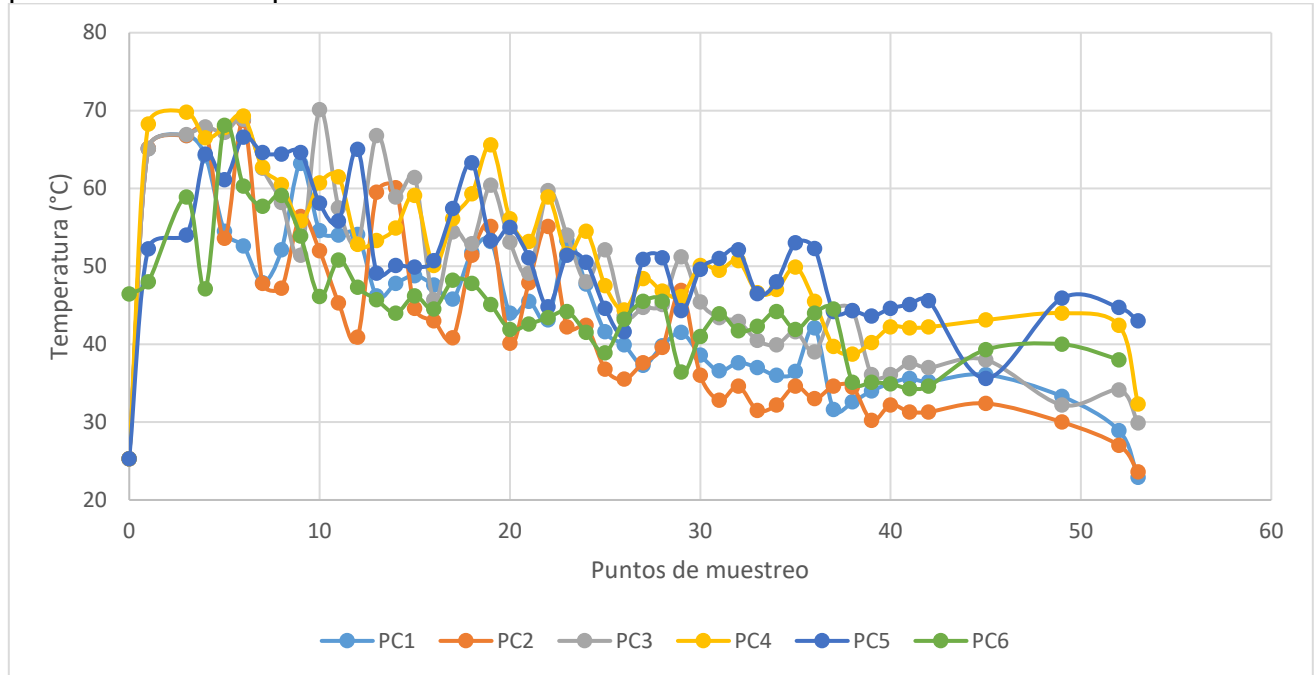


Fuente: Elaboración Propia

La temperatura es consecuencia del tipo de proceso y por tanto fue un indicador de su funcionamiento según la Figura 23. El incremento de la actividad biológica que generó energía en forma de calor, comienza su fase termofílica en los primeros siete (7) días en un rango de temperatura de 60.4 - 64.9 °C, indicando la presencia de materiales muy degradables con una rápida mineralización; ya que la fase mesofílica pasa en los primeros dos (2) días con una temperatura de 25.3 °C mostrando el desarrollo correcto del proceso, en tiempo reducido en comparación a la literatura de otras pilas que utilizaron la técnica de aireación forzada donde la fase termofílica puede tardar hasta 20 días [51]. Según la FAO alcanzó la fase termofílica II hasta el día quince (15) con 45.1°C, la cual se da de 2-5 semanas por tanto el tiempo de esta fase sigue estando en un rango óptimo.

Es importante resaltar que la temperatura que se alcanza en cada etapa causó que la energía fuera desprendida, y de la capacidad de almacenar calor, está especialmente relacionada con el calor específico y la conductividad térmica del material que se utilizó, según los datos obtenidos la pérdida de temperatura es gradual hasta su maduración.

Figura 23. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de Temperatura

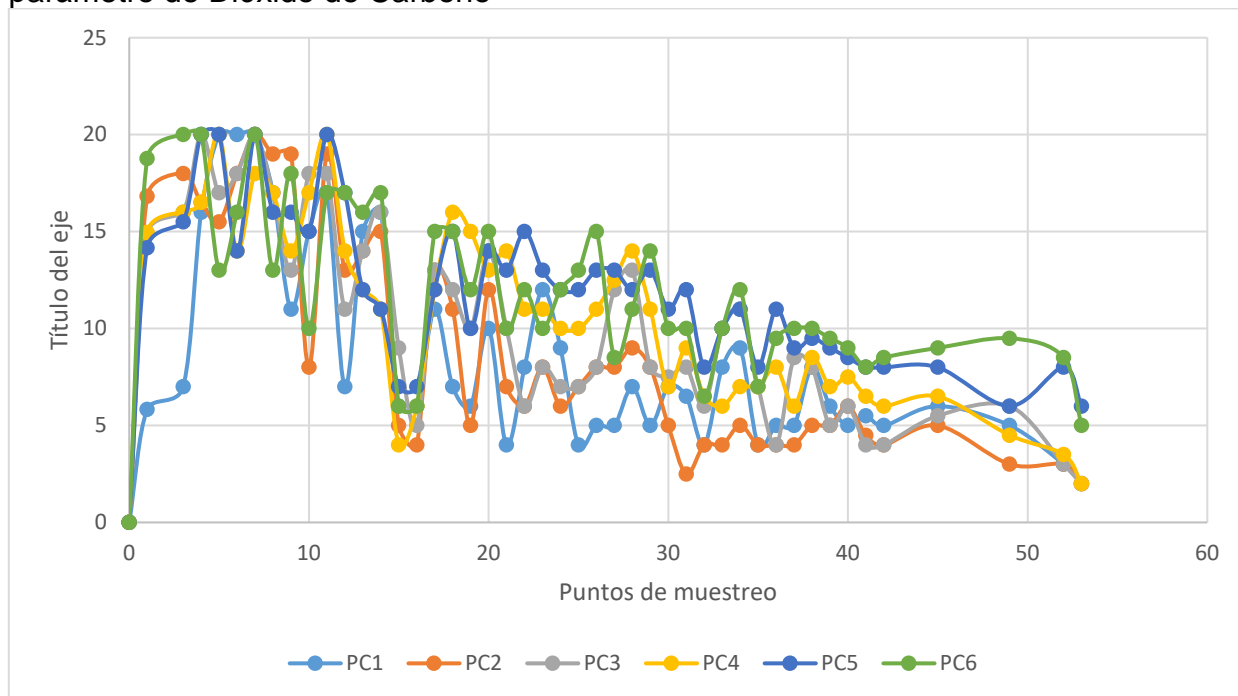


Fuente: Elaboración Propia

El CO₂ liberado en la degradación de la materia orgánica que realizan los microorganismos sobre el estiércol, requieren humedad, aireación, relación C/N, pH entre otros parámetros químicos que favorecieron la fase termofílica con la producción natural de fitotoxinas que bajo condiciones controladas origina este producto [56]. Los valores de CO₂ estuvieron en un rango de 15% -19.7 % lo que indica una alta actividad microbiológica por la transformación del carbono en CO₂, este porcentaje fue decreciendo después de pasar la fase termofílica hasta un mínimo de 3.2% en la etapa de enfriamiento estabilizándose el producto final.

Es importante resaltar que los valores de CO₂ de esta pila no se lograron estabilizar, los rangos en que se estabilizo esta entre 2 a 6%, esto se puede dar por el sistema de aireación forzada que se implementó en esta pila, como se observa en la Figura 24. También se resalta que el alto porcentaje de dióxido de carbono se dio por la combinación significativa de residuos y estiércol, ya que son ricos en nutrientes; es por esto que se necesitó una renovación de condiciones aeróbicas por medio del sistema de aireación forzada reduciendo los malos olores.

Figura 24. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de Dióxido de Carbono

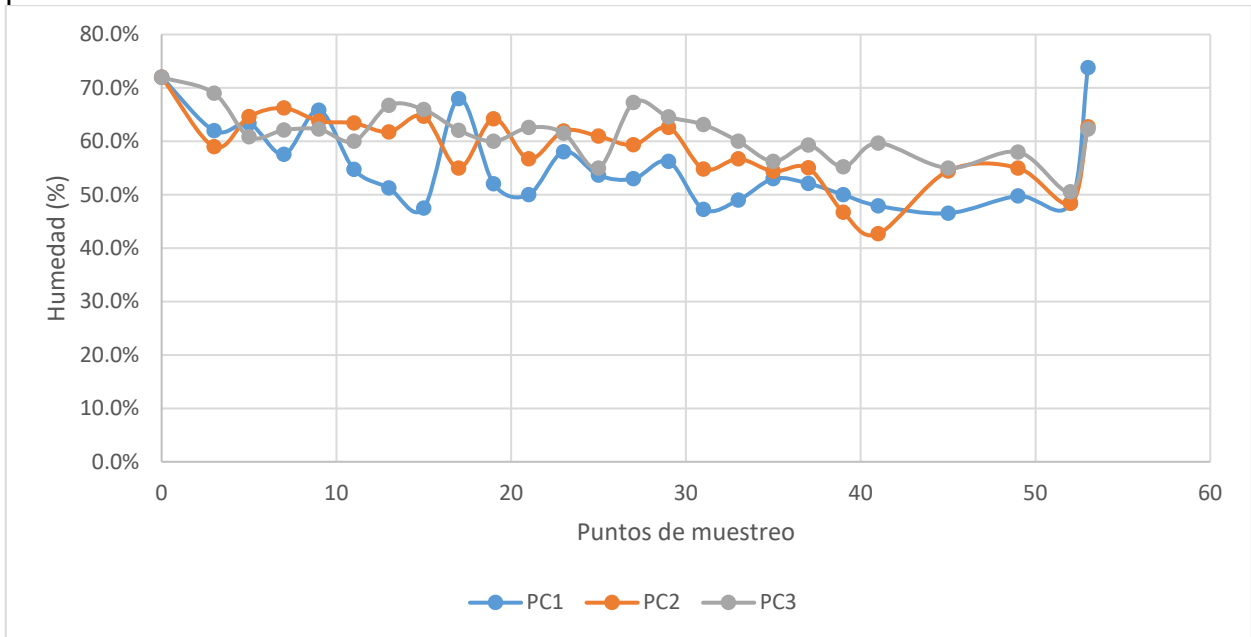


Fuente: Elaboración Propia

El contenido en agua del material a compostar es muy importante ya que los microorganismos no pueden utilizar las moléculas orgánicas si están disueltas en agua. Si la humedad llega a extremos bajos o altos, el proceso de compostaje se altera deteniendo la actividad microbiana. El rango óptimo de humedad se encuentra entre un 40-60 %, aunque este rango puede variar en función de la naturaleza del material [57]. En el caso de este sistema presenta porcentajes de humedad altos a lo largo del proceso con un promedio de 58%, sin embargo teniendo en cuenta las fases y que la humedad debió disminuir según la Figura 10, en la fase termofílica y de maduración los porcentajes de humedad son altos como se puede ver en la Figura 25, lo que se puede deber a que los residuos orgánicos presentan un alto porcentaje de humedad, por lo que se debe tener en cuenta utilizar un porcentaje mayor de material de soporte como restos de poda, restos de jardín, viruta, astillas, para una mayor porosidad y absorber mayor cantidad de humedad a lo largo del proceso.

La humedad se utilizó como indicador del funcionamiento del proceso en función de los rangos según la literatura y la NTC 5167, ya que mantener la humedad adecuada, es ideal para la supervivencia de los microorganismos según [51] [57], debido a que por debajo de 30%, la actividad biológica disminuye y por encima de 70% el agua desplaza el aire en los espacios libres entre las partículas llevando a procesos anaeróbicos por la falta de oxígeno [56]. Por lo anteriormente mencionado se evidencia que el porcentaje de humedad está dentro del rango necesario para la actividad microbiana.

Figura 25. Grafica del Sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I), parámetro de Humedad



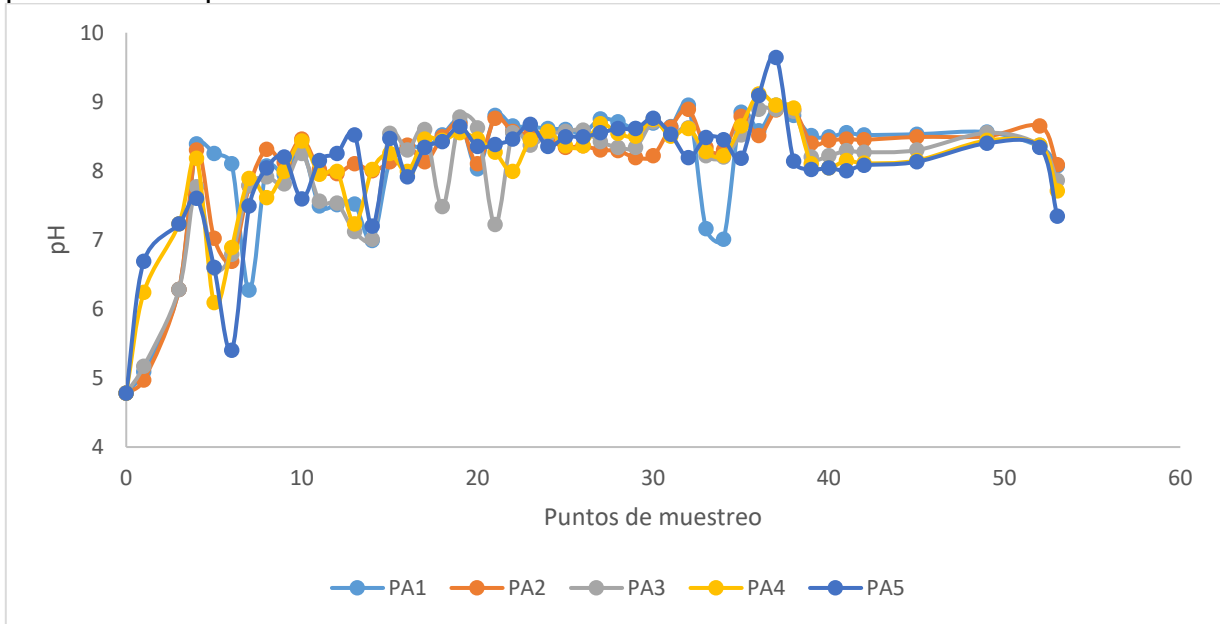
Fuente: Elaboración Propia

Es importante destacar que la materia utilizada en el compostaje tiene un alto porcentaje de humedad, debido a ello los niveles iniciales son altos en cuanto a este parámetro hasta la pre maduración, en cuanto a los puntos de muestreo varían en su ubicación para tener en cuenta las variaciones en diferentes puntos de la pila de los cuales se destaca que el calor esta en medio de esta donde se encuentran menores porcentajes de humedad.

4.3.2. Parámetros del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II)

El pH es un parámetro que condicio la presencia de microorganismos en la pila dinámica, ya que la actividad microbiana estuvo con un pH promedio de 8.06, el cual fue optimo según la Figura 10 establecido por la FAO como se observa en la Figura 26; después de la fase termofílica los pH variaron entre 8 - 8.7 aunque no fue brusco su aumento, puede darse la formación de CO₂, amoniaco y la liberación de nitrógeno amoniacal, ya que esta variación influye en la conservación de nitrógeno.

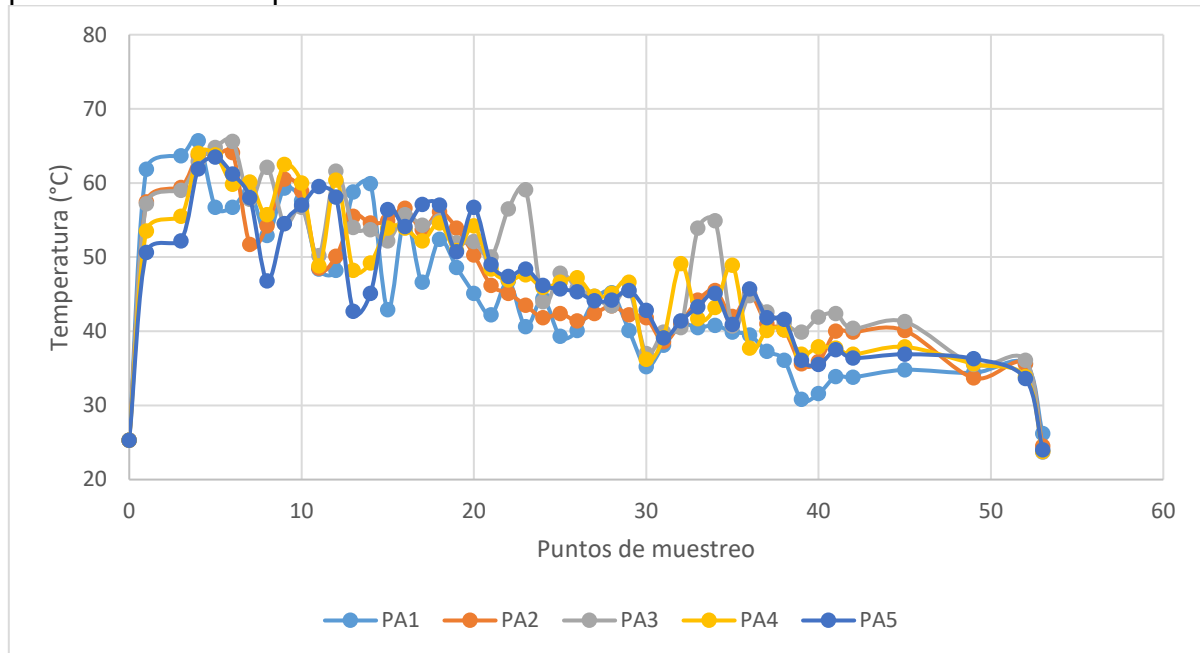
Figura 26. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de pH



Fuente: Elaboración Propia

La temperatura fue un indicador de su funcionamiento, en la Figura 27 se observa como en la fase termofílica cumple con los rangos óptimos para la actividad biológica que generó energía en forma de calor, con una temperatura de 51.1° C - 63.6 °C durante un periodo de veinte (20) días , ya que la fase mesofílica pasa en los primeros dos (2) días con una temperatura de 25.3 °C; al comparar con otros prototipos la etapa termofílica es igual a [51] por el tiempo en que se da. Según la FAO alcanzó la fase termofílica II hasta el día veintiséis (26) con 44.5°C, la cual se da de 2-5 semanas por tanto el tiempo de esta fase estuvo en el rango.

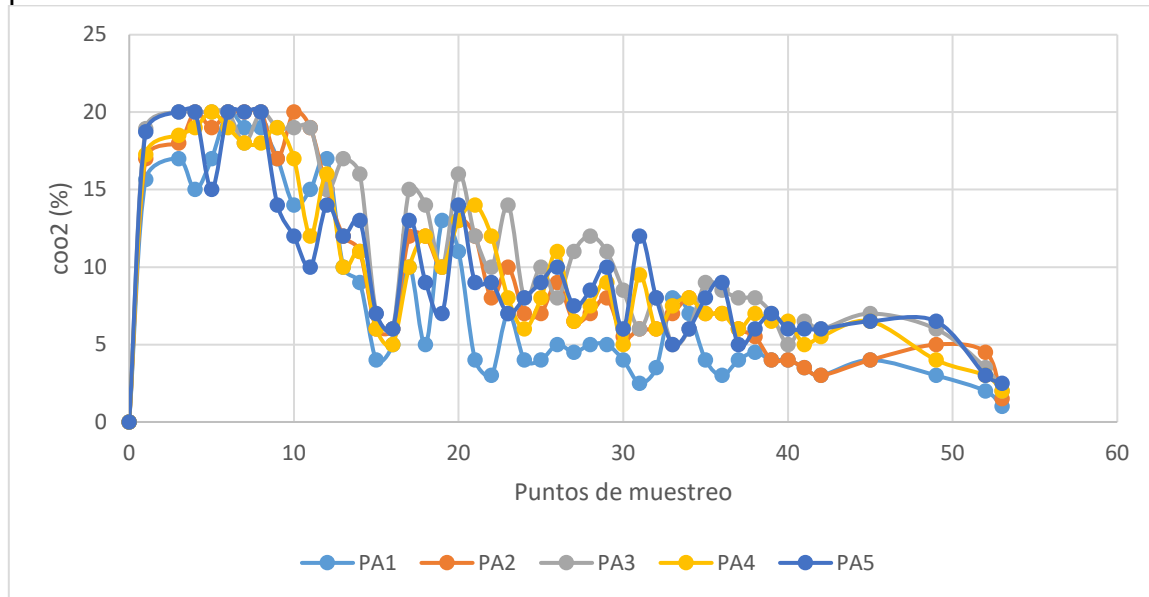
Figura 27. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de Temperatura



Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de dióxido de carbono se dio por la combinación de residuos y estiércol, ya que son ricos en nutrientes, el CO₂ liberado en la degradación de la materia orgánica que realizan los microorganismos sobre el estiércol, requieren humedad, aireación, pH entre otros parámetros químicos que favorecieron la fase termofílica la cual duro 20 días como se evidencia en la Figura 28, produciendo valores de CO₂ en promedio de 9.7% lo que indica una gran actividad microbiológica por la transformación del carbono en CO₂, este porcentaje fue decreciendo después de pasar la fase termofílica hasta un mínimo de 1.8% en la etapa de enfriamiento estabilizándose el producto final. Se resalta que los valores obtenidos de CO₂ de esta pila se pudieron estabilizar al 0%, por ende, este sistema facilita la aireación del producto, mediante el volteo dinámico.

Figura 28. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de CO2

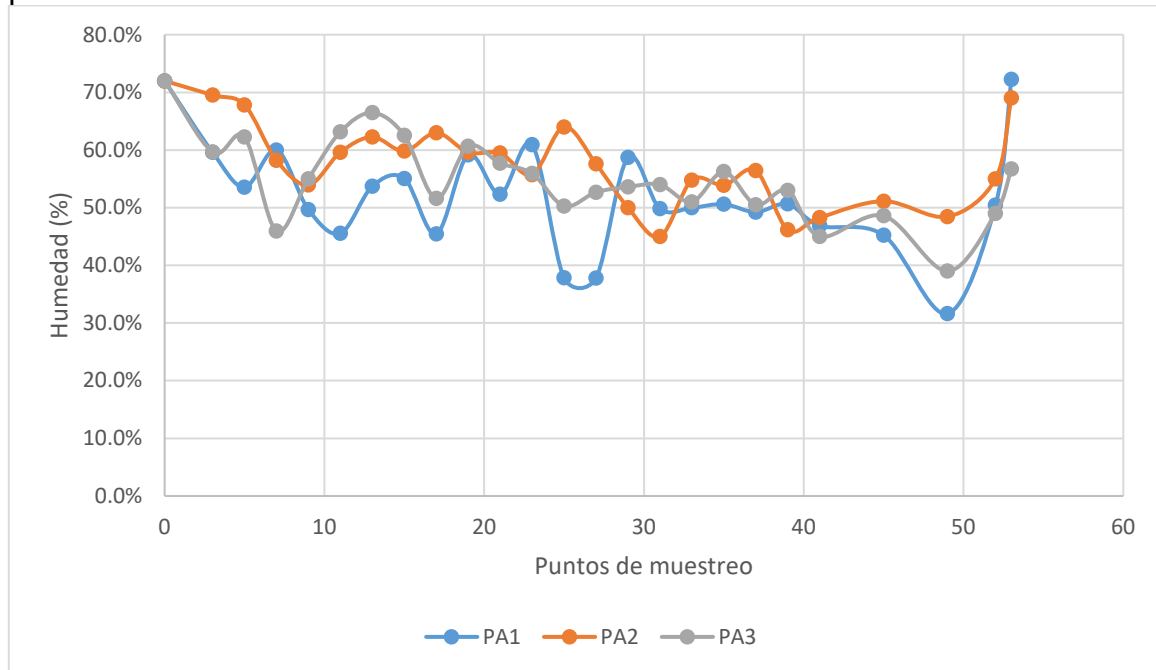


Fuente: Elaboración Propia

El rango óptimo de humedad se encuentra entre un 40-60 %, aunque este rango puede variar en función de la naturaleza del material [57]. En este sistema presenta porcentajes de humedad altos a lo largo del proceso con un promedio de 55%, sin embargo teniendo en cuenta las fases y que la humedad debió disminuir según la Figura 10, una de las razones por la cual no se dio este comportamiento fue debido a que los residuos orgánicos presentan un alto porcentaje de humedad como se evidencia en la Figura 29, es por ello que se necesita más cantidad de material de soporte como restos de poda, restos de jardín, viruta, astillas, para absorber en mayor cantidad de humedad a lo largo del proceso. En cuanto al incremento al final del proceso se pudo dar por un exceso de agua para regular la temperatura del apilamiento estático con volteo dinámico.

Para obtener el valor óptimo de humedad se recomienda realizar un cribado de menor diámetro puesto que esto facilitará el drenaje de exceso de humedad, además de mejorar el contacto con microorganismos y el flujo de aire, otra estrategia es mayor frecuencia en los tiempos de volteo lo que disminuye excesos y favorece la degradación de la materia orgánica (MO). Por último, es importante realizar un proceso de secado de la materia orgánica como el estiércol vacuno disminuyendo el % de humedad y patógenos presentes además de la materia orgánica de las plazas por bioestabilización como se establece en [58] .

Figura 29. Grafica del Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), parámetro de Humedad



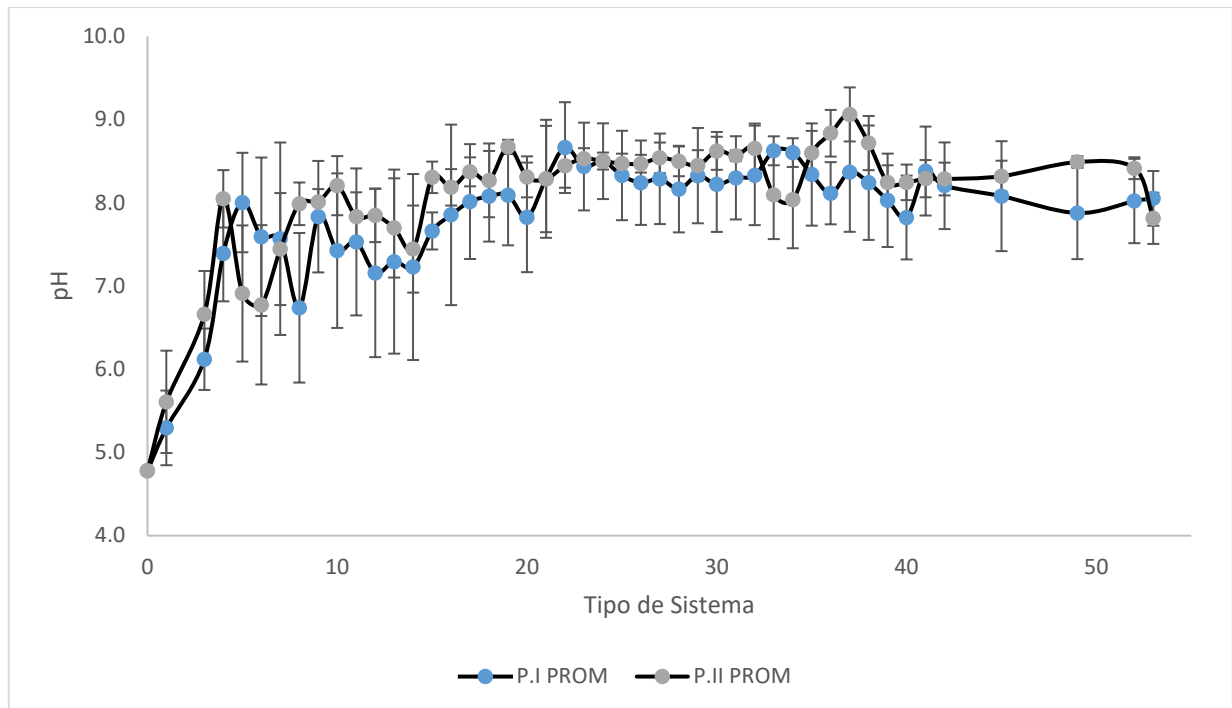
Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Comparación entre los Sistemas de Apilamientos Estáticos con Aireación Forzada y Volteo Dinámico.

El pH es un parámetro esencial para determinar la presencia de microorganismos, al observar el comportamiento de este parámetro en la Pila I y II; se observa que en ambas existe un comportamiento similar, sin embargo, en la Pila I el pH promedio es de 7.83 y el de la Pila II es de 8.03, ambas se encuentran en el rango óptimo para un producto de calidad como se evidencia en la Figura 30. Dando cabida a una buena actividad microbiana fuera según la Figura 10 establecido por la FAO.

En ninguna de las pilas se dio un incremento o disminución brusco referente a este parámetro, sin embargo, la pila II tuvo un pH más alto lo cual pudo darse como consecuencia de un aumento en la concentración del ión amonio, debido a que su pH y temperaturas fueron altas se supone la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco. Además, se necesitó de más aireación al no estabilizarse el CO₂ de la Pila I a comparación de la Pila II.

Figura 30. Grafica del comportamiento del pH, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)

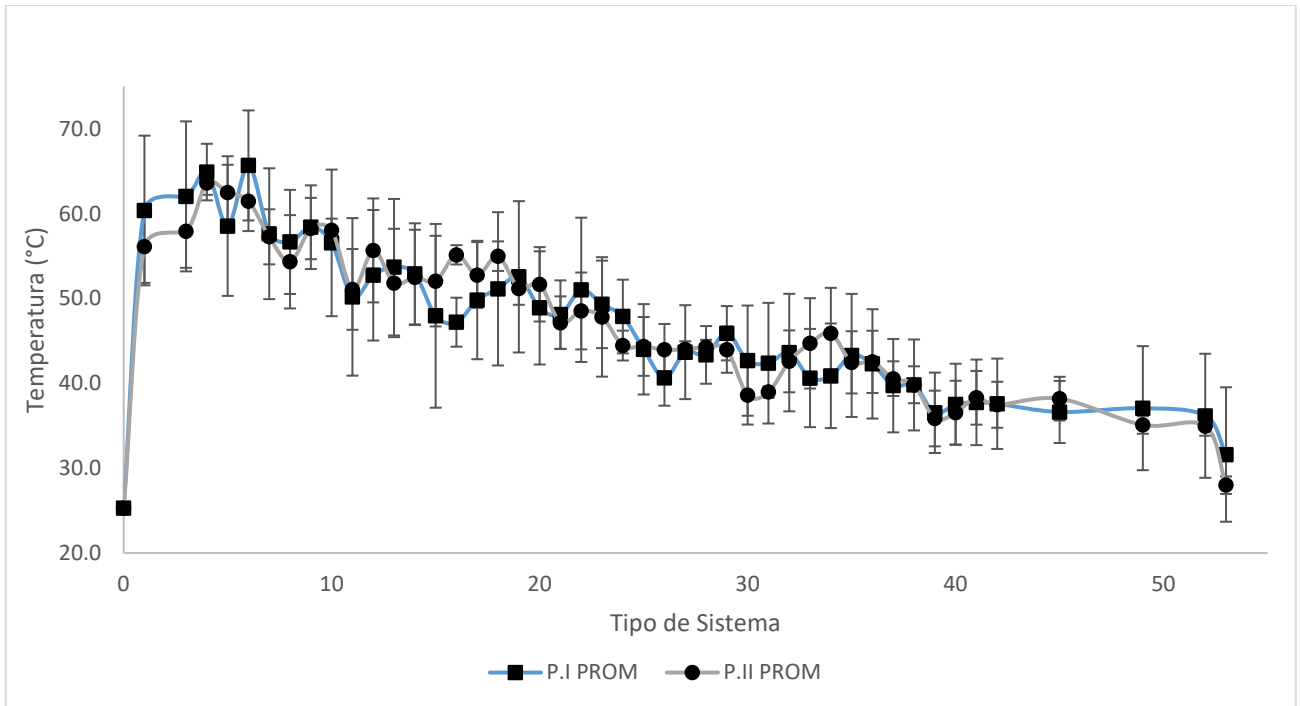


Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a este parámetro la Pila I alcanzo la fase termofílica en 7 días con una temperatura promedio 57.73°C en esta fase a comparación de la Pila II que la mantuvo durante 20 días con una temperatura promedio de 57.36°C, debido a que la actividad biológica genero energía en forma de calor, indicando la presencia de materiales muy degradables con una rápida mineralización en la pila I y en la pila II el tiempo fue más extenso como en [51], aunque sus temperaturas promedio no varían significativamente, como se observa e la Figura 31.

Según la FAO la fase termofílica II se da a los 45°C de 2-5 semanas, en este caso ambas pilas cumplieron con lo establecido en diferentes tiempos. Una vez alcanzada esta fase comienza las fases de enfriamiento y maduración del producto.

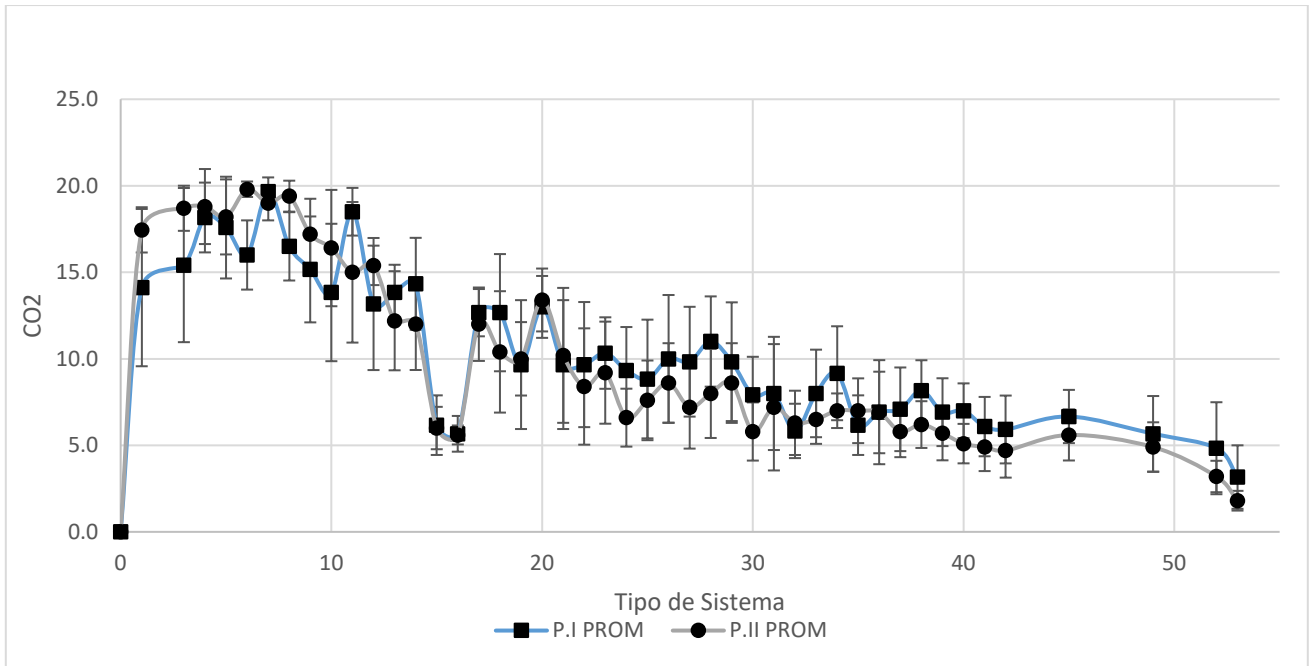
Figura 31. Grafica del comportamiento de la Temperatura, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)



Fuente: Elaboración Propia

El CO₂ liberado por la Pila I y II se dio por la degradación de la materia orgánica que realizan los microorganismos sobre el estiércol y residuos orgánicos, como se puede observar en la Figura 32; los valores de CO₂ de la Pila II fue menor con un 9.7% respecto a la pila I con 10.2%; esto se puede dar a que se manejó una mejor aireación u oxigenación en la Pila II, debido al diámetro de 4" de la tubería PVC a comparación del sistema de la pila I con tubería de 1/2", permitió una mejor estabilización de este parámetro al permitir estabilizar con 0% de CO₂ la pila II y la I con un rango de 2% a 6%; es por ello que se recomienda trabajar con diámetros mayores para un mejor aireación en la composta, estableciendo que diámetro es óptimo para una mejor regulación de los parámetros de monitoreo y calidad. Aunque en ambas existe actividad indica una alta actividad microbiológica por la transformación del carbono en CO₂. Por último, se destaca que la aireación forzada y por volteo dinámico reducen los malos olores generados por la materia orgánica (MO) y una presencia moderada de vectores como moscos y zancudos.

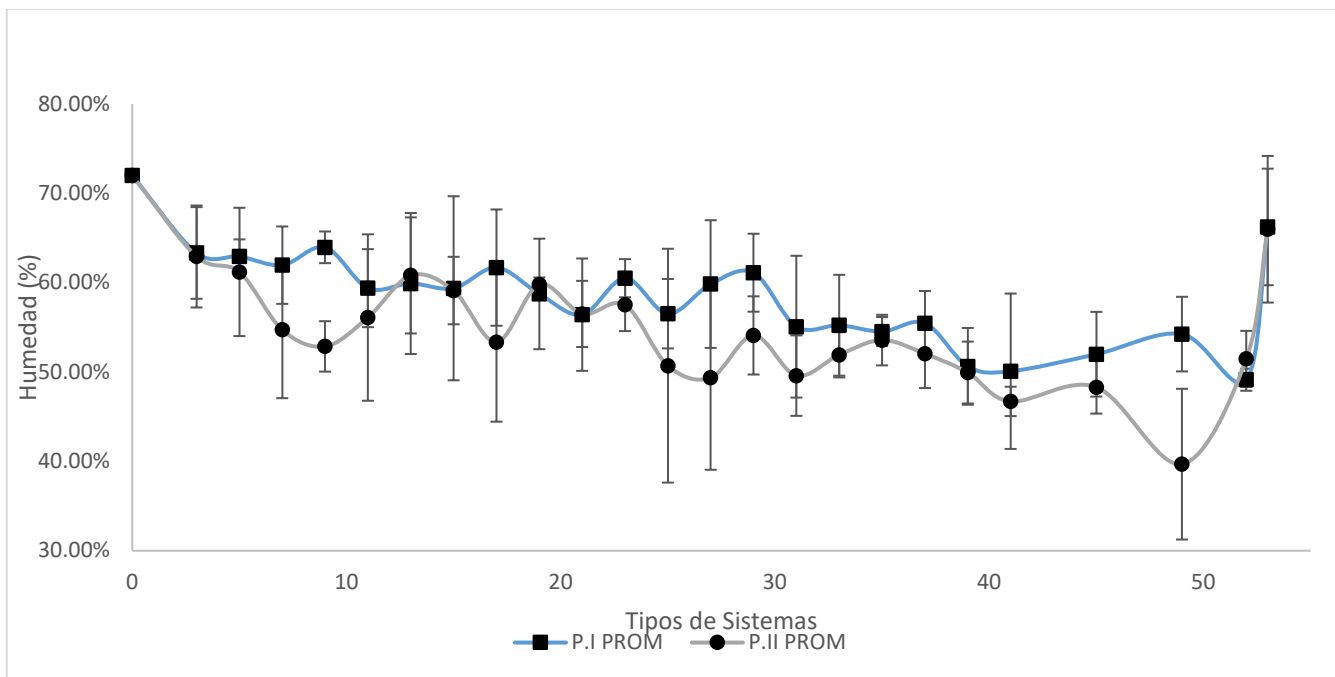
Figura 32. Grafica del comportamiento del Dióxido de Carbono, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)



Fuente: Elaboración Propia

La humedad es un parámetro de gran relevancia ya que de este depende la actividad de los microorganismos, ya que si esta llega a extremos bajos o altos, el proceso de compostaje se altera; el rango óptimo de humedad se encuentra entre un 40-60 % [57]. La pila I tuvo un promedio de 58% de humedad y la pila II de 55%, teniendo comportamientos similares referente a este parámetro como se Observa en la Figura 33, sin embargo, a medida que pasa la fase termófila el porcentaje de humedad no disminuye de forma significativa como se espera, dado que esta se caracteriza por altas temperaturas que nivelan el porcentaje de humedad, es por ello que para ambas pilas se recomienda utilizar mayor porcentaje de material de soporte como restos de poda, restos de jardín, viruta, astillas, para una mayor porosidad y absorber mayor cantidad de humedad, ya que la materia orgánica contiene gran parte y está en una mayor proporción en las pilas I y II.

Figura 33. Grafica del comportamiento de la Humedad, respecto a los Sistemas de Apilamiento Estático de Aireación Forzada (I) y Volteado Dinámico (II)



Fuente: Elaboración Propia

4.4. Comparación cualitativa y cuantitativa del compost producido de forma convencional y el producido por aireación forzada.

Al obtener los análisis de Densidad Aparente Seca, pH en Pasta Saturada, C.E. en Extracto Saturación, Humedad, Cenizas, Residuo Insoluble en Acido, C.I.C, Nitrógeno Total, Potasio Total, Calcio Total, Magnesio Total, Fósforo Total, Silicio Total, Azufre, Boro, Cobre, Manganeso, Hierro, Zinc, Sodio, C. Orgánico Oxidable Total, Rel (C/N), Retención de Humedad, Perdidas por Volatilización; Metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cromo, mercurio, níquel y Plomo) y parámetros microbiológicos (Enterobacterias, Salmonella sp, Coliformes Totales, Huevos de Helminthos, *Usarium sp*, Nematodos Fitopatógenos) realizados en el laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda (Anexo 4), se procedió a realizar los respectivos análisis teniendo en cuenta la NTC 5167, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (Martínez et al 2020) y revisión bibliográfica de otros estudios realizados. Para su análisis se utilizó una matriz con el indicador de cumplimiento respecto a la norma (ver anexo 2) teniendo en cuenta las valoraciones de la Tabla 5 y obteniendo la Tabla 8, la cual contiene 20 parámetros realizados a la pila I y II respecto a las mismas en condiciones óptimas según la NTC con 30% de humedad.

Al obtener los resultados de cumplimiento se determinó que el sistema de apilamientos estático con aireación forzada (Pila I), presento tanto a un porcentaje de mayor humedad que la óptima según la NTC 5167 respecto a los porcentajes de humedad evaluados del 41.84% y 30%, siendo este el porcentaje idóneo para el proceso de compostaje en cuanto a este parámetro, con un total de cumplimiento respecto a todos los parámetros que aplicaron según la norma del 91%, en cuanto al sistema de apilamiento estático con volteo dinámico (Pila II) con una humedad de 51.73% presenta un cumplimiento normativo de 85% a comparación del mismo parámetro con un valor del 30% obteniendo un cumplimiento del 90%. Por lo cual en cuanto a cumplimiento normativo de los parámetros analizados la estructura realizada para la pila I o de cajón, favoreció la calidad del compostaje realizado en ella, sin embargo, se debe tener en cuenta que la pila II en sus dos estados de humedad tuvieron un porcentaje significativo de cumplimiento.

Es de resaltar que ninguno de los cuatro resultados entre la pila I y II cumplieron con un parámetro determinante microbiológico (*Coliformes Totales*), aunque el requisito era <1000 NMP/g, los resultados que se acercaron más a este fueron los de la pila I en las dos tomas de muestras con 2200 NMP/g, en cuanto a la pila II fue el doble de los resultados de la I. Por tanto, se tiene en cuenta las observaciones antes mencionadas como la facilidad de estabilización de la pila I lo que permitió su funcionamiento de una forma más eficiente ya que se podía tener control sobre en estado de la misma.

Debido a lo anteriormente mencionado respecto a los patógenos encontrados en ambas pilas se sugiere realizar un pretratamiento de secado a altas temperaturas 45 °C - 60°C como lo establece la FAO en el manual de abono para agricultores [23]; que permitan neutralizar estos agentes patógenos que provienen de la materia orgánica de origen

vacuno puesto que las temperaturas de las pilas en su fase termófila no son suficientemente altas para cumplir con la norma.

Tabla 8. Tabulación para definir el cumplimiento de los resultados de parámetros de las Pilas

No.	Parámetros	Pila Cajón Cumple (I)	Pila Aire Cumple (II)	Pila Cajón I (30% Cumple H)	Pila Aire II (30% Cumple H)
1	Densidad Aparente Seca	1	1	1	1
2	pH en Pasta Saturada	1	1	1	1
3	Humedad	1	1	1	1
4	Cenizas	1	1	1	1
5	C.I.C	1	1	1	1
6	Silicio Total	1	1	1	1
7	C. Orgánico Oxidable Total	1	0	1	1
8	Silicio Total	1	1	1	1
9	Retención de Humedad	1	1	1	1
10	Arsénico (As) Total	N/A	1	N/A	1
11	Cadmio (Cd) Total	N/A	1	N/A	1
12	Cromo (Cr) Total	N/A	1	N/A	1
13	Mercurio (Hg) Total	N/A	1	N/A	1
14	Níquel (Ni) Total	N/A	1	N/A	1
15	Plomo(Pb) Total	N/A	1	N/A	1
16	Salmonella sp	1	1	1	1
17	Coliformes Totales	0	0	0	0
18	Huevos de Helminfos	N/A	1	N/A	1
19	Fusarium sp.	N/A	0	N/A	0
20	Nematodos Fitopatógenos	N/A	1	N/A	1
Porcentaje de cumplimiento		91%	85%	91%	90%

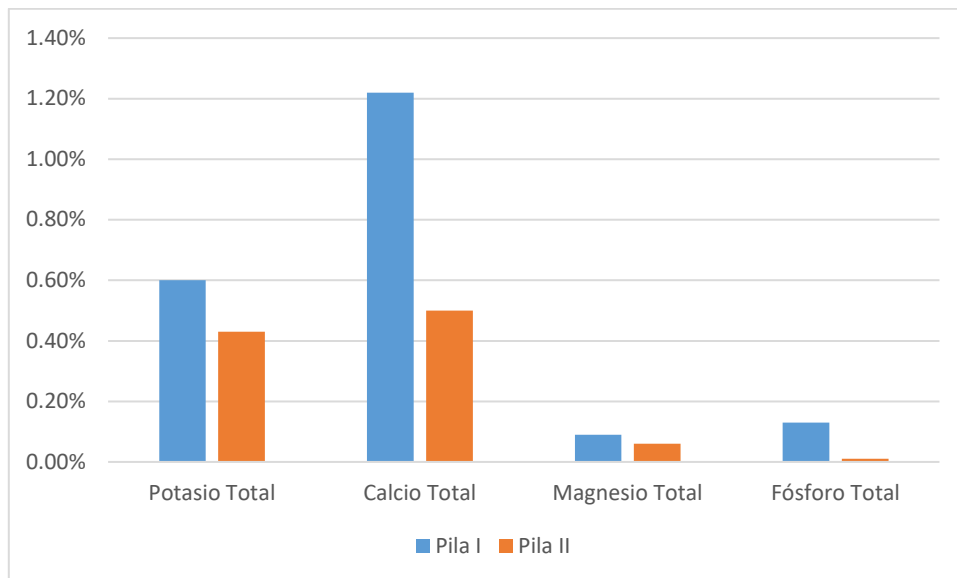
Fuente: Elaboración Propia

Por lo anteriormente mencionado la hipótesis de investigación planteada: El sistema de Apilamientos Estático con Aireación Forzada (Pila I) tiene igual eficiencia para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos que el Sistema de Apilamiento Estático con Volteo Dinámico (Pila II), realizados en la Planta de compostaje de Goleros sede Montebello, en el municipio Popayán, Cauca; se rechaza puesto que conforme al control de parámetros de la pila I en relación a la II se observó un comportamiento constante conforme a la NTC 5167, tales como el carbono oxidable total con 13.74 siendo la única pila que cumplió con la norma debido a que el comportamiento de esta pila permite por su sistema de aireación que los microorganismos efectúen el proceso de compactación de forma más eficiente como se demuestra en la comparación de la eliminación de

patógenos , además que presenta un tiempo más corto en su fase termófila y de maduración.

Por último, se compararon los principales nutrientes del compostaje teniendo en cuenta los resultados de cada pila como se observa en la Figura 34. Dado que el fin de las técnicas de aprovechamiento orgánico es aprovechar estos nutrientes para la preservación de suelos y ecosistemas, haciendo de la agroecología una alternativa de solución sostenible mitigando impactos negativos al ambiente. El contenido de K, Ca, Mg, P fueron significativos puesto que la relación C:N fue óptima según los valores establecidos por la FAO [23], lo que permitió una buena mineralización por los microorganismos como lo indica el comportamiento de otros estudios [59], resaltando que los valores obtenidos en la Pila I tiene mayor valor nutricional a comparación de la Pila II, lo que se puede deber a un mejor control en las pilas en cuanto a los parámetros de humedad, temperatura y los niveles de oxígeno que nivelaron los parámetros de monitoreo lo que se puede atribuir a su infraestructura ya que esta distribuida homogéneamente alrededor de la pila cajón lo que permite una aireación homogénea, sin embargo es necesario aumentar el diámetro de $\frac{1}{2}$ " para una mejor nivelación del CO₂, se destaca que la pila II tiene buenos porcentajes nutricionales que se pueden mejorar por medio de la optimización de su sistema y el control de la misma.

Figura 34. Gráfico comparativo de los nutrientes P, Ca, Mg y P de las pilas de compostaje de estudio



Fuente: Elaboración Propia

5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Al evaluar los sistemas tanto de aireación forzada (Pila I) como de volteo dinámico (Pila II) de la planta de compostaje de Goleros, se procede a rechazar la hipótesis de investigación puesto que la primera mencionada presento mejores resultados en cuanto al manejo de la aireación, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, al igual que en tiempo respecto a su rapidez en la fase termófila y de maduración conforme a la norma y comparación literaria.
- En cuanto a la mezcla optima de residuos sólidos orgánicos se realizó conforme a la oferta con la que se contaba de los residuos, al igual que estudios previos de la Universidad del Cauca, los cuales permitieron cumplir con la mayoría de parámetros establecidos con la norma NTC 5167, la FAO y la literatura.
- Se concluye respecto a los parámetros operativos que la pila I tuvo un comportamiento de mayor eficiencia debido a su estructura, ya que facilito el sistema de aireación para un adecuado manejo de parámetros como temperatura y humedad, a comparación de la pila II que si bien permitió la nivelación de CO₂, los porcentajes de humedad fueron mayores debido a la estructura que posee.
- Finalmente se concluye que los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la pila I es altamente eficiente a diferentes porcentajes de humedad seguido de la pila II, sin embargo, el cumplimiento de la norma respecto a las *Coliformes Totales* y *Fusarium* no se presentó en ninguna de las pruebas, generando un problema de saneamiento puesto que el compostaje se utiliza para cultivos que puede influir en la cadena trófica, es por lo anteriormente mencionado que se rechaza la hipótesis planteada de su igualdad de eficiencia.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere utilizar la estructura del sistema de apilamientos estáticos con aireación forzada (pila I), ya que genere mejores resultados en cuanto a la eficiencia de calidad respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, aumentando el diámetro de la tubería para una mejor nivelación de CO₂.
- Se recomienda para el cumplimiento de la norma respecto a las *Coliformes Totales*, realizar una proporción de estiércol menor ya que este aporta considerablemente patógenos y/o realizar un pretratamiento a este material antes de añadirse a la mezcla homogénea de compost.
- Optimizar las condiciones de proporciones adecuadas de materia seca y materia húmeda, para así conseguir porcentajes de humedad y oxigenación óptimos para el proceso de compostaje en ambas pilas.
- Realizar otro diseño estructural para la pila dinámica (II), para determinar un diseño que permita un mayor control sobre la humedad y los diferentes parámetros que incidan sobre la obtención de un compost de calidad según la norma.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Campos-Rodríguez y S. M. Soto-Córdoba, «Estudio de generación y composición de residuos sólidos en el cantón de Guácimo, Costa Rica, Revista Tecnología en Marcha», sep. 2016, doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2072>.
- [2] W. Bohórquez, *El proceso de compostaje*. Bogotá. Colombia: Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle, 2019. doi: 10.19052/978-958-5486-67-6.
- [3] G. P. Borrero et al, «Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico. Análisis Económico | Revista Tecnología en Marcha», oct. 2016, doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v29i1.2536>.
- [4] A. Sáez, «Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe», p. 16.
- [5] F. Penagos, «Union temporal triple a suroccidente». 2015. [En línea]. Disponible en: <https://aplicaciones.crc.gov.co/docucrc/archivos/RECIBIDA/2015-12/103741.PDF>
- [6] A. Fernández, «LA GESTION INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE LOCAL», n.º 3, p. 6, 2005.
- [7] E. L. R. S.A.S, «El lombricompost representa solo 10% del abono orgánico que se genera en Colombia». <https://www.agronegocios.co/agricultura/el-lombricompost-representa-solo-10-del-abono-organico-que-se-genera-en-colombia-2826079> (accedido sep. 15, 2021).
- [8] M. Ruiz, A. López, y A. Beltrán, «Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional - 2018». Superservicios, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019.
- [9] L. S. Cadavid-Rodríguez y I. V. Bolaños-Valencia, «Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en una ciudad colombiana», p. 7, 2015.
- [10] «Serviaseo Popayan». <http://www.serviaseopopayan.co/> (accedido mar. 31, 2020).
- [11] «Alcaldía Municipal de Popayán | Buscar». <http://www.popayan.gov.co/search/node/aseo> (accedido mar. 31, 2020).
- [12] C. E. para A. L. y el Caribe, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. CEPAL, 2019. Accedido: mar. 31, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>
- [13] Alcaldía Municipal de Popayán, «Entra en funcionamiento 'Planta de Compostaje' para Popayán ubicada en el Vivero Municipal», [En línea]. Disponible en: <http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/sala-de-prensa/noticias/Entra-en-funcionamiento-%E2%80%98Planta-de-Compostaje%E2%80%99-para-Popay%C3%A1n-ubicada-en-el-Vivero-Municipal>
- [14] «Norma Técnica Colombiana 5167 | Fertilizante | Elementos químicos». <https://es.scribd.com/document/227264366/Norma-Tecnica-Colombiana-5167> (accedido feb. 14, 2020).
- [15] S. Cuadros, «Compostaje y biometanización», *Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental*, p. 62, 2007.

- [16] Maríacute, a T. Varnero, K. Galleguillos, y R. Rojas, «Sistemas de compostaje para el tratamiento de alperujo», *Inf. Tecnol.*, vol. 22, n.º 5, pp. 49-56, oct. 2011.
- [17] «SISTEMAS Y TÉCNICAS PARA EL COMPOSTAJE.» [En línea]. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf.
- [18] V. Orozco y V. Hugo, «Diseño y Automatización de un Sistema de Aireación Forzada para el Co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta.», ene. 2016, Accedido: feb. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4861>
- [19] O. Dongo y L. Felipe, «Efecto del tipo de estiércol y frecuencia de aireación (Volteo) en el comportamiento del proceso de compostaje», *Univ. Nac. Agrar. Molina*, 2020, Accedido: feb. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4430>
- [20] C. D. Angulo Lara, J. S. De la Torre Molano, y Y. D. Vargas Caicedo, «Implementación de un sistema integral de compostaje a base de residuos sólidos orgánicos de la Universidad Cooperativa de Colombia campus Cali», *Arrigoni J P 2018 Dentro Compost. Pequeña Escala Desechos Cocina Jardín Rend. Térm. Ef. Estratificación En Contenedores Compost. Verticales Waste Manag.*, 2019, Accedido: feb. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/20178>
- [21] T. Najar Gonzalez, «Evaluación de la eficiencia en la producción de compost convencional con la aplicación de la tecnología em (microorganismos eficaces) a partir de los residuos orgánicos municipales, Carhuaz - 2012», 2014.
- [22] Zenteno y Hernández, «Evaluación del sistema de producción de EM-compost utilizando aireación forzada y residuos de banano.», 2005. Accedido: mar. 31, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=022735>
- [23] K. Berrio, «Manual de compostaje del agricultor». Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- [24] D. Ramos y E. Terry, «Generalidades de los Abonos Orgánicos: Importancia del Bocashi como Alternativa Nutricional para Suelos y Plantas», *Cultivos Tropicales*, vol. 35, pp. 52-59, 2014.
- [25] F. Fitria y Y. Suharsono, «Evaluación de diferentes tiempos de ventilación en compostaje, utilizando un sistema de inyección de aire a presión en la finca La Rejaya, Universidad del Cauca», *Journal of Chemical Information and Modeling.*, vol. 01, 2015, p. 74.
- [26] A. Hernandez, W. Tamayo, y O. Velez, «Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, aplicables en los municipios de la jurisdicción de Cornare.» 2016. Accedido: feb. 14, 2021. [En línea]. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1774/1/Aprovechamiento_residuos%20solidos_organicos.pdf

- [27] «Instituto Colombiano Agropecuario - ICA». <https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/el-ica-emite-cartilla-para-la-elaboracion-de-abono> (accedido feb. 14, 2020).
- [28] «Factores ecológicos y sociales que explican la resiliencia al cambio climático de los sistemas agrícolas en el municipio La Palma, Pinar del Río, Cu».
- [29] B. Hannibal *et al.*, «“Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba”», *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 12, n.º 29, p. 76, oct. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n29p76.
- [30] J. O. López, *Constitución política de Colombia*. Plaza y Janes Editores Colombia s.a., 2004.
- [31] C. M. de D. Económico, *Ley de desarrollo territorial: ley 388 de 1997 : por la cual se modifica la ley 9ª de 1989, y la ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Desarrollo Económico, 1997.
- [32] «0421 - 2000.pdf». Accedido: mar. 31, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/0421%20-%202000.pdf>
- [33] «Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_0142_1994]». http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html (accedido mar. 31, 2020).
- [34] «articles-86098_archivo_pdf.pdf». Accedido: mar. 31, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-86098_archivo_pdf.pdf
- [35] «http://www.superservicios.gov.co/basedoc/docs/resoluciones/r_cr», p. 272.
- [36] «Ficha de documento». <https://tramitesccu.cra.gov.co/normatividad/fichaArchivo.aspx?id=1693> (accedido mar. 31, 2020).
- [37] «Decreto 190 de 2004 | Secretaría Distrital de Planeación». <http://www.sdp.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/decreto-190-de-2004> (accedido mar. 31, 2020).
- [38] «ACUERDO 344 DE 2008». http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_7599204257f3f034e0430a010151f034 (accedido mar. 31, 2020).
- [39] Instituto Colombiano Agropecuario, *RESOLUCIÓN No. 00375 del 2004*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/resoluciones-derogadas/resolucion-375-de-2004.aspx>
- [40] I. C. de N. T. y Certificación (ICONTEC), *Norma Técnica Colombiana NTC 1927: Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC, 2014.
- [41] «Norma técnica colombiana NTC 5167 del 28 de mayo del 2003 Productos para la». <https://www.coursehero.com/file/p6n9njd/Norma-t%C3%A9cnica-colombiana-NTC-5167-del-28-de-mayo-del-2003-Productos-para-la/> (accedido mar. 31, 2020).
- [42] «NTC 40. ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS O ACONDICIONADORES DE SUELO. ETIQUETADO | - LibreriaDeLaU». <https://www.libreriadelaU.com/ntc-40->


abonos-o-fertilizantes-y-enmiendas-o-acondicionadores-de-suelo-etiquetado-
icontec-agropecuario/p (accedido mar. 31, 2020).

- [43] A. Montoya Rendón, «Caracterización de Residuos Sólidos», vol. 4, pp. 67-72, 2012.
- [44] A. Cantanhede, G. Monge, L. Sandoval Alvarado, y C. Caycho Chumpitaz, «Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos», *Rev. AIDIS Ing. Cienc. Ambient. Investig. Desarro. Práctica*, vol. 1, n.º 1, Art. n.º 1, nov. 2009, Accedido: jul. 28, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13553>
- [45] «RVE119_es.pdf». Accedido: feb. 14, 2020. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40395/1/RVE119_es.pdf
- [46] F. Raposo, M. A. de la Rubia, R. Borja, y M. Alaiz, «Assessment of a modified and optimised method for determining chemical oxygen demand of solid substrates and solutions with high suspended solid content», *Talanta*, vol. 76, n.º 2, pp. 448-453, jul. 2008, doi: 10.1016/j.talanta.2008.03.030.
- [47] F. Güelfo y L. Alberto, *Caracterización cinética de la degradación anaerobia termofílica seca de la FORSU. Efecto de diferentes pre-tratamientos sobre la biodegradabilidad del residuo*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2008. Accedido: mar. 31, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/15675>
- [48] S. U. Carmona, «Ingeniería Ecológica: efecto del uso de microorganismos de montaña sobre el suelo con base en dos cultivos agrícolas», p. 54.
- [49] P. C. Mendez, «Evaluación de Microorganismos de Montaña MM como aceleradores de compostaje para la producción de cultivos aromáticos», p. 51.
- [50] V. H. Valverde, «Estudio comparativo medioambiental y económico de sistemas de aireación para el compostaje de residuos vegetales con estiércol de cobaya», p. 32.
- [51] G. C. Isaza-arias, «Comparación de dos Técnicas de Aireación en la Degradación de la Materia Orgánica», *Comparación De Dos Técnicas De Aireación En La Degradación De La Materia Orgánica*, vol. 25, p. 5, 2009.
- [52] Behrentz, E. y Giraldo Reboloso, Esther, «Modelación a escala del proceso de compostaje aerobio, en pila estática y con aireación forzada desarrollo teórico e implementación de laboratorio», vol. 2, p. 7.
- [53] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], «Norma Técnica Colombiana [NTC] 5167: Productos Para La Industria Agrícola. Productos Orgánicos Usados Como Abonos O Fertilizantes Y Enmiendas O Acondicionadores De Suelo», *Icontec Int.*, 2004.
- [54] «Nuestra geografía». <http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia> (accedido jul. 30, 2021).
- [55] Y. T. Gomez, M. González, y S. Chiroles, «Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario», n.º 7, p. 9, 2004.
- [56] Muñoz, James, J. Dorado, y H. Pérez, «SISTEMA DE COMPOSTAJE Y LOMBRICOMPOSTAJE APLICADO EN RESIDUOS ORGÁNICOS DE UNA GALERIA MUNICIPAL». 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.unicauca.edu.co/agroquimica/sites/default/files/5%2045%202%20HR%20SISTEMA%20DE%20COMPOSTAJE%20Y%20LOMBRICOMPOSTAJE....pdf>


- [57] R. B. Gómez, «Compostaje de residuos sólidos orgánicos, aplicación de técnicas respirométricas en el proceso». 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- [58] Gobierno de España, «Sistemas de tratamiento». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Tratamientos-biologicos-compostaje.aspx> (accedido sep. 15, 2021).
- [59] Delgado Arroyo, María Del Mar, Mendoza López, Karla Luz, González, María Isabel, Tadeo Lluch, José Luis, y Martín Sánchez, José Valero, «Assessment of the composting process of poultry manure using different mixtures of substrates», *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 35, n.º 4, pp. 965-977, 2019.

7. ANEXOS

Anexo 1. Laboratorios iniciales de las Pilas I y II de materia prima



Somos su mejor alternativa...



Copia Autorizada
Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.
Fecha: 2021-03-17
Firma Autorizada: *Carl Ortiz*

ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOUJAR
SUELOS
AGUARS

Identificación del documento
FAD 27 - Versión 1

Análisis de Control de Calidad

No. CCF | 27034

Muestreo	2021-02-21
Recepción	2021-03-02
Reporte	2021-03-15
Emisión	2021-03-17
Orden de T. #	69893

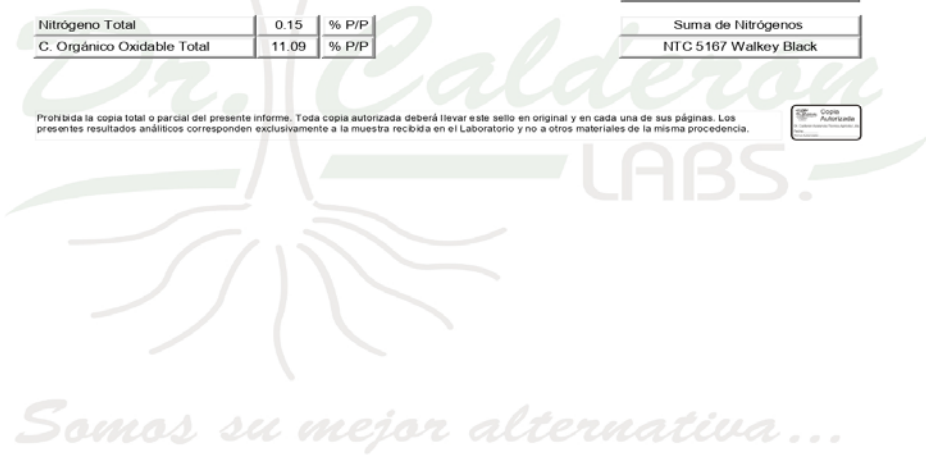
EMPRESA	Asociación de Recicladores de Oficio Goleros -ASOGOLEROS	DESCRIPCION:	Materia Prima
DIRECCION	Cll 2 A No. 29 - 04 Brr. Junin	IDENTIFICACION:	Materia Prima 1 (VIRUTA)
CIUDAD	Popayán - Cauca	CARACTERISTICAS:	Producto color café y amarillo
NIT	901249647-3	OTROS DATOS:	Lugar: Planta de Estabilizacion Providencia
		PROCEDENCIA:	POPAYÁN CAUCA

REPORTE EN BASE HUMEDA

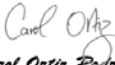
Nitrógeno Total	0.15	% P/P
C. Orgánico Oxidable Total	11.09	% P/P

METODOS ANALITICOS	
Suma de Nitrógenos	
NTC 5167 Walkey Black	


Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Somos su mejor alternativa...



Carol Ortiz Rodríguez
Jefe Control de Calidad; T.P. 20994



Felipe Calderón Sáenz
Director Técnico; T.P. 3186

LABORATORIO y OFICINAS: IV. CRA. 80 No. 87-81 - TELS. 669 6687, 669 5567, 669 4085, 533 1550, 603 2674 - 320 403 6197
E-MAIL: calderon@drvalcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drvalcalderonlabs.com - BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
 CONTROL DE CALIDAD
 FOLIAJ
 SUELOS
 AGUAS

Identificación del documento
EAD 27 - Versión 1

Análisis de Control de Calidad

No. CCF | 27035

Muestreo	2021-02-21
Recepción	2021-03-02
Reporte	2021-03-15
Emisión	2021-03-17
Orden de T. #	69893

EMPRESA	Asociación de Recicladores de Oficio Goleros -ASOGOLEROS
DIRECCION	Cil 2 A No. 29 - 04 Brr. Junin
CIUDAD	Popayán - Cauca
NIT	901249647-3

DESCRIPCION:	Materia Prima
IDENTIFICACION:	Materia Prima 2 (ESTIERCOL)
CARACTERISTICAS:	Producto color verde
OTROS DATOS:	Lugar: Planta de Estabilizacion Providencia
PROCEDENCIA:	POPAYÁN CAUCA

REPORTE EN BASE HUMEDA

METODOS ANALITICOS

Nitrógeno Total	0.25	% P/P
C. Orgánico Oxidable Total	4.78	% P/P

Suma de Nitrógenos
NTC 5167 Walkey Black

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Somos su mejor alternativa...

Carol Ortiz
Carol Ortiz Rodríguez
 Jefe Control de Calidad; T.P. 20994

Felipe Calderón Sáenz
Felipe Calderón Sáenz
 Director Técnico; T.P. 3186



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
CONTROL DE CALIDAD

FOUJAR
SUELOS
AGUAS

Identificación del documento
EAD 27 - Versión 1

Análisis de Control de Calidad

No. CCF 27036

Muestreo	2021-02-21
Recepción	2021-03-02
Reporte	2021-03-15
Emisión	2021-03-17
Orden de T. #	69893

EMPRESA	Asociación de Recicladores de Oficio Goleros -ASOGOLEROS	DESCRIPCION:	Materia Prima
DIRECCION	Cll 2 A No. 29 - 04 Brr. Junin	IDENTIFICACION:	Materia Prima 3 (RSU)
CIUDAD	Popayán - Cauca	CARACTERISTICAS:	Producto color verde oscuro
NIT	901249647-3	OTROS DATOS:	Lugar: Planta de Estabilizacion Providencia
		PROCEDECENCIA:	POPAYÁN CAUCA

REPORTE EN BASE HUMEDA

METODOS ANALITICOS

Nitrógeno Total	0.20	% P/P
C. Orgánico Oxidable Total	3.90	% P/P

Suma de Nitrógenos
NTC 5167 Walkey Black

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Somos su mejor alternativa...

Carol Ortiz Rodríguez
Jefe Control de Calidad; T.P. 20994

Felipe Calderón Sáenz
Director Técnico; T.P. 3186

LABORATORIO Y OFICINAS: AV. CAR. 20 No. 87-81 - TELS.: 622 2687, 622 5567, 622 4985, 533 1559, 623 6576 © 320 493 6197
E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA.

Fuente: Laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda de Bogotá

Anexo 2. Resultados de parámetros para la pila I y II

Parámetro	Pila Aire	Pila Cajón	Pila Aire (30% H)	Pila Cajón (30% H)	Unidad	Requisito	Referencia	Pila Aire Cumple	Pila Cajón Cumple	Pila Aire (30% H) Cumple	Pila Cajón (30% H) Cumple
Densidad Aparente Seca	0,24	0,23	0,24	0,23	g/cm3	< 0,6	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
pH en Pasta Saturada	7,68	7,64	7,68	7,64		4 a 9	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
C.E. en Extracto Saturación	2,06	2,43	2,06	2,43	dS/m	<3	Martinez et al 2020	N/A	N/A	N/A	N/A
Humedad	51,73	41,84	30	30	% P/P	<30	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
Cenizas	6,37	8,07	9.24	9.71	% P/P	<60	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
Residuo Insoluble en Acido	5,89	4,54	8.54	5.46	% P/P			N/A	N/A	N/A	N/A
C.I.C	60,59	76,81	87.87	92.45	meq/100g	>30	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
Nitrógeno Total	0,62	0,93	0.90	1.12	% P/P	≥ 1	FAO	N/A	N/A	N/A	N/A
Potasio Total	0,43	0,60	0.62	0.72	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Calcio Total	0,50	1,22	0.73	1.47	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Magnesio Total	0,06	0,09	0.09	0.11	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Fósforo Total	0,01	0,13	0.01	0.16	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Silicio Total	0,94	1,04	1.36	1.25	% P/P	<50 cenizas	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
Azufre	0,03	0,03	0.04	0.04	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Boro	0,003	0,003	0.00	0.00	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Cobre	0,0002	0,001	0.00	0.00	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Manganeso	0,010	0,009	0.01	0.01	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Hierro	0,02	0,22	0.03	0.26	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A

Zinc	0,005	0,006	0.01	0.01	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
Sodio	0,16	0,18	0.23	0.22	% P/P	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A
C. Orgánico Oxidable Total	13,74	14.51	19.93	17.46	% P/P	>15	NTC 5167	NO	SI	SI	SI
Rel (C/N)	22,24	15,34	22,24	15,34		10 a 15	FAO	N/A	N/A	N/A	N/A
Retención de Humedad	153,64	184,36	222.81	221.89	% P/P	>100	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
Perdidas por Volatilización	41,90	50,09	41,90	50,09	% P/P			N/A	N/A	N/A	N/A
Arsénico (As) Total	0,59		1.74613		mg/kg	41	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Cadmio (Cd) Total	0.05		0.147977		mg/kg	39	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Cromo (Cr) Total	3,05		9.026606		mg/kg	1200	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Mercurio (Hg) Total	5		14.79772		mg/kg	14	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Níquel (Ni) Total	0,90		2.663589		mg/kg	420	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Plomo(Pb) Total	1,56		4.616887		mg/kg	300	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Enterobacterias	7E+06	5E+06	7300000	4900000	UFC/g			N/A	N/A	N/A	N/A
Salmonella sp	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	en 25g	Ausente	NTC 5167	SI	SI	SI	SI
Coliformes Totales	4400	2200	4400	2200	NMP/g	< 1000	NTC 5167	NO	NO	NO	NO
Huevos de Helmintos	< 1		< 1		Huevos/4g	< 1	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A
Fusarium sp.	100		100		UFC/g	Ausente	NTC 5167	NO	N/A	NO	N/A
Nematodos Fitopatógenos	< 1		< 1		Ind/250 cm3	Ausente	NTC 5167	SI	N/A	SI	N/A

Fuente: Resultados del laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda