

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TIEMPO DE COMPOST ESTABILIZADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE, SAN MARTIN.**

**Tesis**

**Para optar el grado de**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por**

**BENITES VASQUEZ LIZ MIRELLA**

**Tingo María**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°059-2026-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 12 de diciembre de 2025, a horas 08:10 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“TIEMPO DE COMPOST ESTABILIZADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE, SAN MARTIN”**

Presentado por la Bachiller: **BENITES VAQUEZ, LIZ MIRELLA** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“EXCELENTE”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 18 de mayo de 2026

  
Ing. MSc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO  
PRESIDENTE

  
Dra. ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR  
MIEMBRO

  
Ing. MSc. PATRICIA PILAR ROMERO USHÑAHUA  
MIEMBRO



  
Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARA  
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE  
CIENTÍFICO  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 164 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

### Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

### Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
TIEMPO DE COMPOST ESTABILIZADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE, SAN MARTIN.	BENITES VASQUEZ LIZ MIRELLA	09 % Nueve	Menor a 20 %

Tingo María, 01 de junio de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



<b>Universidad</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Facultad</b>	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
<b>Escuela profesional</b>	: Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
<b>Título de la Tesis</b>	: Tiempo de compost estabilizado de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín.
<b>Objetivo General</b>	: Evaluar el tiempo de compost estabilizado de los residuos sólidos orgánicos en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín.
<b>Autor de la Tesis</b>	: Benites Vasquez Liz Mirella
<b>DNI</b>	: 75145012
<b>Correo Electrónico</b>	: liz.benites@unas.edu.pe
<b>Asesor de la Tesis</b>	: Dr. Beteta Alvarado Víctor Manuel
<b>Área de Investigación</b>	: Ciencia y tecnología ambiental- PIBIOT
<b>Grupo de Investigación</b>	: Ciencia y tecnología Ambiental
<b>Línea de investigación</b>	: Tecnologías para reducir la contaminación
<b>Lugar de Ejecución</b>	: Centro poblado de Pucayacu, Tocache, San Martín
<b>Fecha Inicio</b>	: 08 enero de 2024
<b>Fecha Terminó</b>	: 08 julio de 2024
<b>Presupuesto</b>	: S/. 3,180.45
<b>Financiamiento</b>	: Propio

**Según:** Resolución: N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con todo mi amor y gratitud, a mis padres, María Miguelina e Inocente, pilares fundamentales de mi vida, cuyo esfuerzo y dedicación me han permitido llegar hasta aquí.

A mis hermanos y hermana, Luis, Kevin y Lizeth, por ser mi apoyo incondicional y por motivarme a seguir creciendo cada día.

A mi sobrina, Yaritza Brigitt, a quien deseo inspirar con mi ejemplo para que siempre luche por sus sueños.

Esta tesis es el reflejo de todo lo que me han enseñado con amor, esfuerzo y fe. Gracias por ser parte de cada logro en mi camino.

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, la salud y la fuerza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, María Miguelina Vasquez Tocas, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de fortaleza y perseverancia, y por estar siempre a mi lado incluso en los momentos más difíciles. A mi padre, Inocente Benites Viera, por sus enseñanzas, su apoyo silencioso y por enseñarme el valor del esfuerzo honesto.

A mis hermanos, Luis Barrios Vasquez y Kevin Bayron Benites Vasquez, por su compañía, sus palabras de aliento y su confianza en mí. A mi hermana, Liseth Yackeline Barrios Vasquez, por ser una presencia constante, por sus gestos de cariño y su comprensión en los momentos de mayor exigencia.

A mi sobrina, Yaritza Brigitt Carlos Barrios, por ser una luz que me inspira a seguir adelante, y a toda mi familia, por su amor, su paciencia y su fe en que este objetivo era posible.

## INDICE

### Página

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.1. Objetivo general.....	2
	1.2. Objetivos específicos .....	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
	2.1. Antecedentes .....	3
	2.2. Marco teórico .....	7
	2.3. Marco conceptual.....	16
III.	MATERIALES Y METODOS.....	17
	3.1. Lugar de ejecución.....	17
	3.2. Materiales y equipos .....	18
	3.3. Criterio y análisis de estudio.....	19
	3.4. Metodología .....	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
	4.1. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos que ingresan a Planta de Valorización.....	31
	4.2. Determinación el tiempo de la estabilidad térmica, peso, volumen y actividad respiratoria del compost.....	42
	4.3. Determinación de las propiedades física, química y biológica del compost. ....	54
V.	CONCLUSIÓN .....	76
VI.	PROPUESTAS A FUTURO .....	77
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
VIII.	ANEXOS .....	84
	8.1. Matriz de consistencia.....	84
	8.2. Fichas de los instrumentos de medición para recolección de datos.....	86
	8.3. Panel fotográfico .....	103
	8.4. Permisos y medios probatorios de la investigación .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
1. Parámetros físicos y químicos según la NTP 201.208 2021 .....	14
2. Parámetros y valor de contenido de nutrientes según la NTP 201.208 2021 .....	15
3. Contenido de metales pesados según la NTP 201.208 2021 .....	15
4. Actividad respiratoria máximas, según la Norma Austriaca (1991) .....	15
5. Operacionalización de variables del proyecto de tesis. ....	20
6. Análisis de Varianza del pH de las diferentes camas de compost. ....	55
7. Análisis de Varianza de la CE de las diferentes camas de compost. ....	57
8. Análisis de Varianza de la Materia orgánica de las diferentes camas de compost. ....	59
9. Análisis de Varianza de Nitrógeno de las diferentes camas de compost. ....	61
10. Análisis de varianza de relación C/N de las diferentes camas de compost. ....	63
11. Análisis de varianza de Calcio de las diferentes camas de compost. ....	65
12. Análisis de varianza de Magnesio de las diferentes camas de compost. ....	68
13. Análisis de varianza del Potasio de las diferentes camas de compost. ....	70
14. Análisis de varianza del Zinc de las diferentes camas de compost. ....	72
15. Análisis de varianza del Cobre de las diferentes camas de compost. ....	74
16. Propiedades biológicas de las camas de compostaje .....	74
17. Matriz de consistencia del proyecto de investigación .....	84
18. Ficha de registro de pesos para el análisis de composición de residuos orgánicos. ....	86
19. Resumen de la Composición de residuos orgánicos domiciliarios. ....	92
20. Base de datos de peso y volumen de residuos en cada cama de compostaje. ....	93
21. Base de datos de la temperatura en el proceso de compostaje. ....	94
22. Base de datos fisicoquímicos del compost. ....	100
23. Ficha de parámetros biológicos del compost. ....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos.....	17
2. Esquema del diseño de investigación. ....	21
3. Composición porcentual de las camas sin microorganismos .....	31
4. Composición porcentual de las camas sin microorganismos .....	32
5. Camas de composta sin microorganismos.....	33
6. Cantidad porcentual de las camas de composta sin microorganismos .....	34
7. Camas de composta con microorganismos.....	35
8. Cantidad Porcentual de las Camas de composta con microorganismos.....	36
9. Densidad de los residuos orgánicos de las camas de compost sin microorganismos.....	37
10. Densidad de los residuos orgánicos de las camas de compost con microorganismos.....	39
11. Humedad de los residuos sólidos orgánicos en las diferentes camas de estudio.....	41
12. Comportamiento de la temperatura del compost con microorganismos. ....	42
13. Comportamiento de la temperatura del compost sin microorganismos. ....	43
14. Estabilización del peso en las camas de compost.....	45
15. Estabilización del Volumen en las camas de compost. ....	46
16. Reactividad del compost sin microorganismos de la cama 1 .....	48
17. Reactividad del compost con microorganismos de la cama 1 .....	48
18. Reactividad del compost sin microorganismos de la cama 2 .....	50
19. Reactividad del compost con microorganismos de la cama 2 .....	50
20. Reactividad del compost sin microorganismos de la cama 3 .....	52
21. Reactividad del compost con microorganismos de la cama 3 .....	52
22. pH obtenido de las camas de compost.....	54
23. Conductividad eléctrica (dS/m) obtenido de las camas de compost. ....	56
24. Materia orgánica (%) obtenido de las camas de compost. ....	58
25. Nitrógeno (%) obtenido de las camas de compost. ....	60
26. Relación C/N obtenido de las camas de compost.....	63
27. Calcio (%) obtenido de las camas de compost. ....	65
28. Magnesio (%) obtenido de las camas de compost.....	67
29. Potasio (%) obtenido de las camas de compost.....	69
30. Zinc(ppm) obtenido de las camas de compost. ....	71
31. Cu (ppm) obtenido de las camas de compost. ....	73
32. Residuos sólidos orgánicos generados en el Distrito de Tocache. ....	103

33. Método de cuarteo para determinar densidad de los residuos sólidos orgánicos. ....	103
34. Medición de altura libre del cilindro para la el calculo de la densidad .....	104
35. Segregación de residuos sólidos orgánicos para determinar su composición. ....	104
36. Pesado de los residuos sólidos orgánicos generados. ....	105
37. Recolección de muestra de residuos sólidos previo al proceso de compostaje. ....	105
38. Picado de muestra de residuos sólidos orgánicos antes del proceso de compostaje. ....	106
39. Muestra de residuos sólidos orgánicos en laboratorio.....	106
40. Pesado de muestra de residuos para determinar su composición. ....	107
41. Muestras colocadas a 105°C durante 24 horas para determinar la humedad .....	107
42. Triturado de residuos sólidos orgánicos para su respectivo análisis. ....	108
43. Preparación de muestras de los residuos sólidos para su respectivo análisis. ....	108
44. Medición de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de la UNAS. ....	109
45. Medición de temperatura de cada una de las camas composteras. ....	109
46. Temperatura de los residuos sólidos orgánicos en su proceso de descomposición.....	110
47. Realizando el proceso de volteo de compost.....	110
48. Realizando la medición del largo de la cama de composta para determinar su volumen.	111
49. Cu (ppm) obtenido de las camas de compost. ....	111
50. Medición de los laterales de la cama de composta para determinar su volumen. ....	112
51. Agregado de microorganismos eficiente a la cama de compost.....	112
52. Recolección de muestra de compost.....	113
53. Humedeciendo muestra de compost para análisis de actividad respiratoria. ....	113
54. Pesado de muestras de compost antes de ingresar al horno. ....	114
55. Muestras colocadas en el horno a 105°C durante 24 horas .....	114
56. Muestras colocadas en el horno a 105°C por 24 horas.....	115
57. Determinación de la actividad respiratoria del compost mediante Oxitop.....	115
58. Frascos de oxitop en la incubadora durante 7 días. ....	116
59. Tamizado de compost finalizado.....	116
60. Pesado de solución de Ec Broth para determinar coliformes termotolerantes. ....	117
61. Filtrado de solución con la muestra de compost para posterior análisis. ....	117
62. Muestras de compost diluida en caldo peptona para posterior análisis.....	118
63. Incubación de muestras por 24 horas. ....	118
64. Solución con Ec Broth para determinar coliformes termotolerantes.....	119
65. Solución diluida de compost para determinar el recuento fúngico y bacteriano.....	119
66. Solución diluida de compost para determinar coliformes termotolerantes. ....	120

67. Incubación de muestras por 24 horas para determinar coliformes termotolerantes. ....	120
68. Lectura de resultados de recuento fúngico y bacteriano.....	121
69. Lectura de resultados de coliformes termotolerantes. ....	121
70. Carta de culminación de ejecución de tesis presentada al Municipio. ....	122
71. Carta de aceptación del uso de Laboratorio de calidad de suelos. ....	123
72. Permiso para el uso del laboratorio de Microbiología.....	124
73. Invitación para la supervisión de ejecución de la investigación.....	125
74. Análisis de las muestras del compost de la cama 1 sin microorganismo. ....	126
75. Análisis de las muestras del compost de la cama 2 sin microorganismo. ....	127
76. Análisis de las muestras del compost de la cama 3 sin microorganismo. ....	128
77. Análisis de las muestras del compost de la cama 1 con macroorganismo ....	129
78. Análisis de las muestras del compost de la cama 2 con macroorganismo. ....	130
79. Análisis de las muestras del compost de la cama 3 con macroorganismo. ....	131

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, mediante la comparación de camas con y sin adición de microorganismos eficientes, con el propósito de determinar el tiempo de maduración y la calidad del compost obtenido. Para ello, se establecieron seis camas experimentales, donde se monitorearon variables físicas (temperatura, peso, volumen, densidad), químicas (pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica y potasio) y biológicas (actividad respiratoria, coliformes termotolerantes, recuento bacteriano y fúngico) durante un periodo de 150 días. Los resultados indicaron que las camas tratadas con microorganismos alcanzaron condiciones de madurez en aproximadamente 90 días, presentando mayor retención de nutrientes, menor proliferación de hongos y una descomposición más eficiente en comparación con las camas sin inoculación. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre tratamientos, especialmente en indicadores clave como pH, conductividad eléctrica y actividad respiratoria, demostrando que el uso de microorganismos eficientes mejora la estabilidad, inocuidad y valor agronómico del compost final. En conclusión, la incorporación de microorganismos eficientes representa una estrategia técnica efectiva para optimizar el compostaje de residuos orgánicos municipales, contribuyendo así a la gestión sostenible de residuos, la recuperación de nutrientes y el fortalecimiento de prácticas de economía circular.

**Palabras clave:** Compostaje, residuos sólidos orgánicos, microorganismos eficientes, calidad del compost, valorización de residuos.

## **Time for Stabilized Compost from the Household Organic Solid Waste in the Valorization Tocache Province Municipality's Recycling Plant in San Martin**

### **Abstract**

The objective of the research was to evaluate the composting process for household organic solid waste at the Tocache province municipality's valorization plant [in Peru], through a comparison of beds with and without efficient microorganisms, with the goal of determining the time for maturity and the quality of the compost that was obtained. For this, six experimental beds were established where the physical (temperature, weight, volume, [and] density), chemical (pH, electrical conductivity, organic matter content, and potassium) and biological (respiratory activity, thermotolerant coliforms [and] bacterial and fungal count) variables were monitored during a period of 150 days. The results indicated that the beds that were treated with microorganisms reached conditions of maturity in approximately ninety days, presenting greater nutrient retention, a lower proliferation of fungus and a more efficient decomposition, in comparison to the beds without inoculation. The statistical analysis evidenced significant differences between treatments, especially for key indicators such as the pH, electrical conductivity and respiratory activity, demonstrating that the use of efficient microorganisms improved the stability, safety and agronomic value of the final compost. In conclusion, the incorporation of efficient microorganisms represented an effective technical strategy for optimizing the composting of municipal organic waste, contributing to the sustainable management of waste, the recuperation of nutrients and the strengthening of circular economic practices.

**Keywords:** compost, organic solid waste, efficient microorganisms, compost quality, recycling of waste

## I. INTRODUCCIÓN

El compostaje se ha convertido en un tema de gran interés a nivel mundial, ya que permite el reciclaje eficaz de los residuos sólidos orgánicos. Este proceso bioquímico se basa en la acción secuencial de diversos microorganismos aeróbicos que descomponen la materia orgánica original con el paso del tiempo. Sin embargo, la eficiencia del ciclo de compostaje puede verse afectada por varios factores, que suelen clasificarse en dos categorías principales: los parámetros de control operativo y los parámetros relacionados directamente con las propiedades físicas y químicas del sustrato.

Actualmente en el Perú las técnicas de compostaje están muy difundidas, sin embargo, el requerimiento del tiempo que tarda en estabilizarse y los recursos que se emplean son reducidos. Debido a que no siempre se conserva el potencial nutritivo del compost por la falta de control en el proceso, lo cual provoca que no se logre estabilizar el compost, ni cumplir con los parámetros establecidos en la NTP 201.208 2021. Por lo cual, en el Departamento de San Martín se han implementado prácticas ambientalmente responsables, incluyendo métodos de compostaje controlados, tales como: compostaje en camas, compostaje por fosas, vermicompost y compostaje biodinámica, lo cual se convierte en una alternativa viable de solución, reduciendo la cantidad de residuos orgánicos en los vertederos. Sin embargo, pueden existir ciertos factores

Por consiguiente, el compostaje constituye una alternativa sostenible desde el punto de vista medioambiental para la gestión de los residuos sólidos orgánicos, ya que reduce eficazmente su volumen total. Sin embargo, la mera reducción del volumen no garantiza la seguridad ni la aplicabilidad práctica del producto final. Para garantizar el éxito de su aplicación en el suelo, es esencial caracterizar la composición inicial de los residuos sin tratar, evaluar el tiempo que tarda en estabilizarse y con ello determinar la composición final del derivado biodegradado.

El tiempo que tarda el compost de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en estabilizarse mediante el proceso que se realiza en la Planta de Valorización va a representar un aspecto importante debido a las diferentes condiciones que pueden afectar el proceso de compostaje, así mismo, si se realiza un inadecuado proceso de compostaje va a traer consigo la liberación de contaminantes, malos olores, liberación de gases de efecto invernadero, problemas operativos y sobre todo la pérdida de los recursos orgánicos empleados.

Es por ello que la presente investigación busca sentar antecedentes de la calidad de compost producido, evaluando el tiempo que tarda en estabilizarse el compost producido en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios, lo cual hace referencia al

período necesario que llevará el proceso de descomposición y maduración de los materiales orgánicos hasta obtener un compost estable y apto para su posterior uso el cual se comparará con la NTP 201.208 2021. Así mismo se describirán los factores que pueden influir en el tiempo de compost, la tecnología utilizada, las condiciones ambientales locales y las prácticas de manejo aplicadas por el personal encargado del proceso.

En efecto el problema planteado de este trabajo radica en torno a la siguiente interrogante: ¿Cuál es el tiempo de compost estabilizado de los Residuos Sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valoración de la Municipalidad Provincial de Tocache, además si esto cumple con la NTP 201.208 2021?

Con relación al problema planteado, se fórmula la siguiente hipótesis: “El tiempo de compost estabilizado de los Residuos Sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valoración de la Municipalidad Provincial de Tocache es de 150 días y cumple con la NTP 201.208 2021”.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el tiempo de compost estabilizado de los residuos sólidos orgánicos en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martin.

### **1.2. Objetivos específicos**

Caracterizar los residuos sólidos orgánicos que ingresan a Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martin.

Determinar el tiempo de la estabilidad térmica, peso, volumen y actividad respiratoria del compost producido en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martin.

Determinar las propiedades física, química y biológica del compost producido en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martin.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacional

Policastro y Cesaro (2023), en su investigación titulada “*Composting of Organic Solid Waste of Municipal Origin: The Role of Research in Enhancing Its Sustainability*”, tuvieron como objetivo identificar los principales desafíos técnicos y ambientales del compostaje de residuos sólidos orgánicos municipales, y analizar el papel de la investigación científica para mejorar la sostenibilidad del proceso. Para ello, realizaron una revisión crítica de estudios recientes sobre compostaje industrial, centrándose en aspectos como la calidad del compost, la presencia de contaminantes físicos (como microplásticos) y químicos (como hidrocarburos, pesticidas y ftalatos), así como en la emisión de gases de efecto invernadero. Los resultados evidenciaron que, aunque el compostaje sigue siendo la tecnología más aplicada en Europa para el tratamiento de residuos orgánicos, enfrenta importantes limitaciones que afectan su sostenibilidad y la seguridad del producto final. Los autores concluyeron que es necesario adoptar enfoques multidisciplinarios en la investigación, que permitan desarrollar estrategias más eficientes y ambientalmente seguras, promoviendo así la optimización del proceso y el cumplimiento de los principios de la economía circular.

Martinez y Martinez (2022), en su proyecto de investigación evaluaron siete tratamientos de compostaje utilizando diversos residuos orgánicos de cultivos del departamento de Córdoba para analizar la dinámica fisicoquímica que determina la calidad final del compost. El seguimiento experimental abarcó variables del sustrato entre ellas la concentración de iones de hidrógeno (pH), el potencial de oxidación reducción (ORP), la conductividad eléctrica (CE) y la temperatura de la matriz junto con factores microclimáticos como la intensidad luminosa (Lux), la temperatura ambiente, la humedad relativa (%HR) y la velocidad del viento (km/h). Los resultados empíricos indicaron que la mayoría de los tratamientos se ajustaban a los estándares de referencia en cuanto a la relación carbono-nitrógeno (C/N), la densidad, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el pH, con la única excepción del sustrato de residuos de plátano. Por el contrario, todas las matrices experimentales mostraron perfiles químicos subóptimos, caracterizados por concentraciones deficientes de nitrógeno y fósforo, junto con un contenido de humedad excesivo (57% a 70%) que superaba los umbrales reglamentarios convencionales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura elaboró el Manual sobre compostaje municipal con el objetivo de brindar lineamientos técnicos y

operativos para implementar sistemas de compostaje en contextos urbanos y rurales, especialmente en países en desarrollo. Esta publicación recopila experiencias internacionales y fundamentos científicos sobre la transformación de residuos orgánicos, proponiendo rangos ideales de temperatura, humedad y relación C/N para lograr un compost maduro y sanitario. El manual destaca que la higienización del compost se alcanza al mantener temperaturas superiores a 55 °C durante al menos tres días, y que la calidad del producto final puede verse afectada por desequilibrios en el pH o la conductividad eléctrica. Además, promueve el compostaje como una estrategia de valorización de residuos y recuperación de nutrientes, siempre que se aplique una gestión técnica adecuada (FAO, 2020).

Mejía, et al. (2022), investigadores colombianos, desarrollaron el estudio titulado Evaluación del proceso de compostaje mediante parámetros fisicoquímicos y respiración, publicado en la Revista de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Cartagena. El objetivo principal de la investigación fue analizar el comportamiento de indicadores clave del compostaje, con énfasis en la respiración microbiana como herramienta para evaluar la madurez del compost. Para ello, se instalaron camas de compost a base de residuos vegetales y estiércol bovino, que fueron monitoreadas durante un periodo de 90 días bajo condiciones semicontroladas. Las variables medidas incluyeron temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica, relación C/N y respiración basal (mg O<sub>2</sub>/g de materia seca). Los resultados mostraron una elevada actividad respiratoria al inicio, que fue disminuyendo progresivamente conforme se estabilizaba la materia orgánica. Se observó que, al llegar a valores de respiración inferiores a 2 mg O<sub>2</sub>/g MS, el compost podía considerarse maduro. Los autores concluyen que la respiración microbiana es un indicador sensible y complementario a los parámetros fisicoquímicos tradicionales, recomendando su uso conjunto para una evaluación integral de la estabilidad del compost antes de su aplicación agrícola.

Siles (2021), en su investigación de evaluación comparativa de la transformación de residuos biológicos industriales, se llevó a cabo un estudio en múltiples emplazamientos en 15 instalaciones de compostaje industrial con el fin de evaluar la dinámica de procesamiento de cinco sustratos orgánicos distintos: residuos vegetales, residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora, residuos agroalimentarios y orujo de aceituna (n= 3 plantas por categoría de residuos). Se llevó a cabo un muestreo sistemático en matriz a lo largo de hitos operativos clave, dividiendo específicamente el análisis en materias primas, la fase mesofílica, el enfriamiento, la maduración y el producto final estabilizado. El protocolo experimental incluyó una caracterización fisicoquímica y biológica exhaustiva, con el seguimiento de las variables principales de monitorización del proceso junto con índices de biodegradabilidad, estabilidad

biológica, madurez y eficiencia en la eliminación de patógenos. Para validar la seguridad y la madurez del producto final, se modeló la evolución temporal de la fitotoxicidad del sustrato a lo largo del ciclo industrial, lo que confirmó que el índice de germinación de semillas sirve como un indicador analítico preciso y de baja complejidad para la optimización rutinaria del proceso y el control de calidad del producto final.

Huamanta (2020), en su proyecto de investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del compost orgánico en el rendimiento del “Zea mays”. Cada análisis de compost mostro un pH de 7.7, materia orgánica 21.93%, nitrógeno 1.70% - fosforo 0.15%, potasio 1.11%, calcio 0.21%, sodio 0.05%, magnesio 0.14%, micronutrientes (cobre, zinc, boro, hierro) y también contiene otros macronutrientes esenciales. De igual manera el procesamiento de datos de las variables también se realizó mediante el análisis de varianza de Tukey y comparaciones múltiples con un 95% de confianza, esto quiere decir que los 375 gramos del compost incorporado para el rendimiento del “Zea mays” afecto significativamente en el desarrollo fenológico del maíz, lo cual menciona que el rendimiento obtenido fue de 4.51 ton/ha.

### **2.1.2. Nacional**

Aguirre (2023) En el marco de la valorización de los residuos sólidos urbanos evaluó la calidad del compost obtenido a partir de las fracciones orgánicas urbanas en la planta de recuperación de recursos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. El diseño experimental se estructuró utilizando un diseño completamente aleatorio (DCA) con cinco repeticiones para monitorizar parámetros fisicoquímicos críticos, entre los que se incluyen el pH, conductividad eléctrica (CE), humedad, materia orgánica (MO), contenido de cenizas, macronutrientes (N), potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cobre (Cu), y zinc (Zn) y metales pesados/oligoelementos (Na, Cu, Zn). El análisis comparativo con los marcos normativos de Chile (NCh2880) y Colombia (NTC5167) reveló diferencias estadísticamente significativas en el pH, N, Ca, K,Cu y Zn, mientras que parámetros como la MO, el contenido de cenizas, la CE, Na y P mostraron homogeneidad estadística. Además, la matriz final mostró un perfil marcadamente alcalino ( $\text{pH} > 9$ ) y fue clasificada como «Clase B» según la norma chilena (NCh2880). El autor concluyó que los elevados niveles de pH representan una limitación agronómica, restringiendo así el uso directo.

Beteta (2021), realizó una investigación con la finalidad de determinar el potencial de aprovechamiento de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca. sp*) a través del compostaje como descomposición aeróbica y así compararla con la biodegradación anaeróbica. Se composto la

casaca de plátano y se midió los cambios de temperatura durante un período de 100 días, y luego se evaluaron los cambios de peso, volumen y reactividad, de la misma manera que se evalúa una muestra de casaca de plátano mediante digestión anaeróbica para determinar su capacidad de generación de metano. Los resultados mostraron que las cáscaras de plátano se degradaron un 93,43% por aerovía y un 11,5%, mientras que sus productos y subproductos por degradación aerobia presentaron toxicidad. En esta investigación se concluye que empleando el método anaeróbico se puede reutilizar hasta el 98,61% y por método aeróbico solo el 11,39% del carbono presente en la cáscara de plátano.

Maldonado (2020) comparó la calidad del compost producido a partir de microorganismos eficientes comerciales (MEC) y naturales (MEN), aplicados a residuos sólidos orgánicos generados en el distrito de Jepelacio (Moyobamba, San Martín). El estudio se desarrolló en cinco fases: preparación de los microorganismos (con 15 días de reposo), recolección de residuos domiciliarios, armado de las camas de compost, aplicación de MEC y MEN, y monitoreo constante de temperatura, humedad y tiempo de descomposición. Los resultados mostraron que el compost con MEC maduró en 28 días, mientras que el elaborado con MEN lo hizo en 31 días, evidenciando una ligera mayor eficiencia temporal de los MEC. En comparación, el tratamiento testigo (sin microorganismos) alcanzó la maduración en 36 días, un tiempo atípicamente corto si se considera que los procesos naturales suelen demorar entre 60 y 90 días.

Suárez (2020), desarrolló una investigación con el propósito de aprovechar los residuos orgánicos del mercado y parada municipal de la ciudad de Bagua mediante la producción de compost mejorado, para reducir la cantidad de desechos dispuestos en el relleno sanitario. Empleó el método experimental “Compost Bagua”, utilizando microorganismos nativos y fermentativos aplicados en rumas controladas, donde se registraron los parámetros de humedad, cenizas, carbono orgánico total, nitrógeno, relación C/N, pH y conductividad eléctrica. Los resultados obtenidos evidenciaron que la producción total de residuos alcanzó 139.104 toneladas por año, de las cuales 8.29 toneladas (5.96%) fueron transformadas en compost, mostrando valores finales de pH alcalino (9.72) y relación C/N adecuada (19.65), que indican un material en etapa avanzada de maduración. El autor concluyó que el método aplicado permitió minimizar los residuos orgánicos y obtener un producto estable y aprovechable para el mejoramiento de suelos agrícolas, contribuyendo a la gestión sostenible de los residuos municipales en Bagua.

Damián (2018) realizó un estudio en el mercado “Los Cedros” (Chorrillos, Lima), donde aplicó tres tratamientos aceleradores para producir compost a partir de residuos orgánicos. El

objetivo fue evaluar la calidad del compost generado, analizando parámetros físicos, químicos, contenido de nutrientes y niveles de micronutrientes como magnesio, calcio y sodio. El compostaje se realizó en cajas de madera. El tratamiento testigo solo utilizó residuos orgánicos; el primer tratamiento incluyó levadura, el segundo aplicó bacterias del género *Lactobacillus* y el tercero empleó estiércol de cuy. Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA y la prueba de Duncan para comparar los resultados entre tratamientos. El análisis mostró que el compost de mayor calidad se obtuvo con el uso de estiércol de cuy como acelerador.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Residuos sólidos**

Según el MINAM (2022), se entiende por residuos sólidos cualquier material, sustancia o subproducto en estado sólido o semisólido que se desecha una vez finalizada su vida útil principal. Según este marco taxonómico, los residuos se clasifican, según su origen, como residuos domésticos municipales cuando se generan directamente a partir del consumo doméstico y las actividades antropogénicas cotidianas. Esta fracción específica comprende sustratos orgánicos como residuos vegetales, recortes de jardinería lignocelulósicos y restos de alimentos que se caracterizan por un alto potencial de recuperación energética y agronómica. En consecuencia, la reintroducción sistemática de estas matrices orgánicas en el ciclo productivo constituye un mecanismo fundamental para mitigar la degradación ambiental y mejorar la calidad de los ecosistemas a escala nacional.

La otra clasificación son los residuos o residuos sólidos urbanos generados directamente durante las actividades comerciales y de servicios, incluidos los procedentes de restaurantes, comercios minoristas, entidades financieras, oficinas administrativas y establecimientos comerciales. Del mismo modo, los residuos de barrido de espacios públicos y calles comprenden los materiales recogidos durante el mantenimiento de las infraestructuras públicas, y presentan una composición heterogénea que abarca desde materia orgánica altamente biodegradable hasta polímeros sintéticos no biodegradables.

Los residuos industriales, se clasifican por sector productivo; los residuos industriales incluyen subproductos derivados de actividades de procesamiento y extracción, como las operaciones mineras, la pesca comercial y la producción de energía. Además, los residuos de construcción y demolición (RCD) se definen como materiales inertes generados por proyectos de infraestructura de ingeniería civil y de edificación. Por último, los residuos agrícolas constituyen biomasa y subproductos orgánicos resultantes específicamente de la gestión ganadera y las actividades de cultivo agronómico.

## **2.2.2. Por su peligrosidad**

### **2.2.2.1. Residuos Peligrosos y no Peligrosos**

Los residuos sólidos peligrosos son aquellos que por su naturaleza y manejo al que son sometidos representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente (Montes 2023).

### **2.2.2.2. Residuos no Peligrosos**

Se consideran no peligrosos si sus propiedades y su manipulación al que son sometidos no representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente (Suárez 2020).

## **2.2.3. Por su Naturaleza**

### **2.2.3.1. Orgánicos**

Residuos de origen vegetal o animal que se descomponen naturalmente, produciendo gases como metano, dióxido de carbono, otros. Así mismo si se maneja adecuadamente estos residuos se pueden reutilizar como fertilizantes orgánicos (compost, humus) o como acondicionador del suelo. (Ahmed, 2022).

### **2.2.3.2. Inorgánicos**

Residuos no biodegradables producidos por el hombre, sin embargo, estos pueden ser reutilizados mediante procesos de reciclaje. (Suárez 2020).

## **2.2.4. Clasificación de los residuos orgánicos**

### **2.2.4.1. Residuos Agrícolas**

Desechos generados en una instalación agrícola, generalmente son reutilizables y considerados como un recurso de materia prima para procesos de compostaje, siendo estos los restos de cosechas, podas, huertos, pasto, césped, otros. (Valderrama, 2013).

Son residuos orgánicos aquellos restos de cosecha, plantas del huerto o jardín, ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos, heno y hierba segada, césped o pasto (preferiblemente en capas finas y previamente desecado), virutas de aserrín (en capas finas). (FAO, 2020)

### **2.2.4.2. Residuos de Animales**

Son residuos producidos por los animales, incluidos los excrementos sólidos, semisólidos y líquidos, los residuos del procesamiento en mataderos y los subproductos de la industria láctea. Estos residuos de animales se caracterizan por ser matrices orgánicas complejas compuestas por heces, orina y componentes estructurales lignocelulósicos derivados de restos de forraje, paja o materiales de cama para animales. Desde una perspectiva nutricional, el estiércol presenta altas concentraciones de macronutrientes esenciales, concretamente

nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), cuyas proporciones estequiométricas exactas varían en función de la especie ganadera, la composición de la dieta y los regímenes específicos de gestión de la explotación (Mejía et al., 2022).

#### **2.2.4.3. Residuos Domiciliarios**

Los residuos sólidos domésticos están compuestos por materiales, objetos o sustancias generados en los hogares como resultado del consumo y las actividades cotidianas de las personas. Dentro de esta categoría, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) incluye oficialmente los restos orgánicos de cocina, tales como restos de frutas y verduras, alimentos en mal estado o caducados, cáscaras de huevo, cáscaras de frutos secos, posos de café, hojas de té y cáscaras de cítricos o piña. Del mismo modo, los tubérculos en mal estado o germinados, junto con los aceites y grasas de cocina usados, se consideran parte de este grupo, lo que representa una fracción significativa con un alto potencial para los procesos de reciclaje y recuperación.

#### **2.2.5. Impactos ambientales de los residuos sólidos domiciliarios**

##### **2.2.5.1. Impactos negativos del inadecuado manejo de segregación de los residuos sólidos domiciliarios**

El inadecuado manejo de los residuos domiciliarios afecta la condición de salud de la población, lo cual se debe principalmente a que los materiales que son reciclables no se diferencian del tipo de material y con ello dificulta la selección de residuos sólidos ya sea para su venta o un nuevo uso como materia prima, estos residuos presentan un alto incidencia de contaminación ambiental (Rivasplata, 2021).

##### **- Ambientales**

La gestión inadecuada de los residuos sólidos provoca problemas globales graves, como la pérdida de espacios públicos y la degradación progresiva de los ecosistemas terrestres y acuáticos debido a la contaminación del agua, el aire y el suelo. Además, la descomposición de los residuos no gestionados acelera el calentamiento global, mientras que la dependencia persistente de las materias primas vírgenes aumenta la extracción de recursos naturales para fabricar nuevos productos.

##### **- Sociales**

Afecta la salud pública, con el incremento la tasa de morbilidad y mortalidad por enfermedades asociadas al inadecuado manejo de residuos sólidos, la exposición constante a condiciones insalubres, olores desagradables y entornos contaminados provoca un grave deterioro de la calidad de vida general de la población local.

### **2.2.5.2. Impactos positivos del adecuado manejo de segregación de los residuos sólidos domiciliarios**

Una gestión adecuada de los residuos sólidos domésticos reporta beneficios directos a las personas gracias al ahorro de costes, además de tener repercusiones positivas en el medio ambiente, la salud y la economía. También, la optimización de la gestión de residuos a nivel doméstico reduce considerablemente la contaminación ambiental y protege la salud pública, al eliminar los focos de reproducción de enfermedades y prevenir las fuentes habituales de infección.

### **2.2.6. Normas nacionales que influyen en la gestión de residuos sólidos**

#### **2.2.6.1. Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente**

Es la norma base del marco legal de gestión ambiental. Establece principios y reglas esenciales para garantizar el derecho a un ambiente sano y equilibrado, promover la protección del entorno y sus componentes, y asegurar una gestión ambiental efectiva orientada al desarrollo sostenible y a mejorar la calidad de vida de la población.

#### **2.2.6.2. D.L. N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y su reglamento**

Esta ley regula la gestión integral y el tratamiento de los residuos sólidos en todas las fases operativas, desde su generación inicial hasta su eliminación final. Abarca todos los flujos de residuos generados en los sectores económico, social y residencial, al tiempo que regula el almacenamiento y el transporte normalizados de los residuos sólidos en todo el territorio nacional.

### **2.2.7. Compostaje**

El compostaje es un método que se emplea para transformar materiales biodegradables en las enmiendas del suelo (abono orgánico), así mismo la conversión de residuos orgánicos en compost, permite mejorar la fertilidad y la salud del suelo, ya que debido a la sobreexplotación de terrenos para cultivos agrícolas ha generado la pérdida de este. Esta técnica va a permitir la biodegradación regulada de residuos y productos secundarios orgánicos, transformándolo en materia orgánica (compost) apta para el uso en jardines, suelos degradados, entre otros, lo cual va a mejorar las condiciones edáficas y a la vez aumentando su productividad del cultivo (Ahmed, 2022).

#### **2.2.7.1. Respiración Aerobia**

Es la presencia de cantidad suficiente de oxígeno y nutrientes para inducir una serie de reacciones y con ello lograr la transformación de los residuos orgánicos hasta que se estabilice. Asimismo, los microorganismos presentes van a oxidar la materia orgánica y liberar energía, que sirve de alimento a nuevos microorganismos, dando lugar a una nueva transformación del sustrato. (AIMPLAS. 2020).

### 2.2.7.2. Fases del compostaje

**Fase mesófila:** El compostaje comienza a temperatura ambiente y en poco tiempo esta aumenta hasta unos 45 °C debido a la actividad de microorganismos que generan calor al consumir carbono y nitrógeno. En esta fase se forman ácidos orgánicos y se descomponen compuestos solubles como los azúcares, lo que puede reducir el pH hasta alrededor de 4. Su duración varía entre dos y ocho días.

**Fase termófila o de higienización:** En esta etapa la temperatura supera los 45 °C por acción de bacterias termófilas que reemplazan a las mesófilas. Estas bacterias degradan compuestos más complejos como la celulosa y la lignina, facilitando la transformación de la materia orgánica. El pH aumenta debido a la formación de amoníaco. Cuando se alcanzan los 60 °C, se activan microorganismos capaces de descomponer sustancias como hemicelulosas y ceras. La fase puede durar desde varios días hasta algunos meses.

**Fase de enfriamiento:** La temperatura disminuye a entre 40 y 45 °C y reaparecen los microorganismos mesófilos, lo que provoca una leve baja en el pH, aunque este se mantiene en niveles alcalinos. Continúa la descomposición de polímeros y se hacen visibles algunos hongos. Esta fase suele durar varias semanas y puede confundirse con la etapa final del compostaje.

**Fase de maduración:** Durante esta última etapa, que puede extenderse por varios meses, la temperatura se estabiliza a nivel ambiente y se generan compuestos orgánicos estables como los ácidos húmicos y fúlvicos, indicativos de un compost completamente maduro.

### 2.2.7.3. Tiempo de estabilidad del compost

El tiempo que tarda en estabilizarse el compost puede variar según diferentes factores, como la temperatura, la humedad, los materiales utilizados y el proceso de compost. Sin embargo, en condiciones óptimas, el compost ingresa a la fase de maduración en la cual puede estabilizarse en aproximadamente 8 semanas. (Montes, 2023)

## 2.2.8. Factores durante el proceso de compostaje

### 2.2.8.1. Temperatura

Parámetro útil en el proceso de descomposición, ya que presenta influencia en crecimiento y actividad de biotransformación que está presente en compost, así mismo este

indicador servirá para determinar en qué fase se encuentra el compost. El aumento de temperatura indica presencia de microorganismos el cual contribuye a la degradación de materia orgánica contenida en el compost. (Mejía, et. al., 2022).

#### **2.2.8.2. Humedad**

El contenido de humedad optimo está en torno 35% a 50%, aunque varía en función de la circunstancia física del compost, dimensión de su partícula y método empleado de compost. El contenido de humedad es menor de 45% su actividad microbiana se reducirá, mientras que el contenido de humedad es mayor a 60% se va a saturar los poros lo cual va a interferir en la oxidación del compost. (FAO, 2013). Por otra parte (Ansorena, J., et.al., 2015), en su investigación menciona que la humedad optima del compost es (25,1%-82,4%), siendo un indicador de combinaciones que se encuentran proporcionada y adecuadas para el desarrollo del proceso de compostaje.

#### **2.2.8.3. pH**

El valor óptimo para los abonos orgánicos está comprendido entre 6.2% a 10%, sin embargo, pueden estar sujetos a una variabilidad de parámetros (Ansorena, J., et.al., 2015). El valor óptimo para el compost esta entre 5.8 y 7.2 respectivamente, sin embargo, si la descomposición es insuficiente, el pH desciende a un valor inferior a 4 va a ralentizar el proceso de compost. Así mismo, si el valor se encuentra por debajo del 5.5 significa que es ácido mientras que si está por encima de 9.5 ser alcalino. (FAO, 2013).

#### **2.2.8.4. Relación C/N**

El carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo vivo, y deben estar presentes en proporciones adecuadas para garantizar un proceso de compostaje eficaz. La relación carbono-nitrógeno (C:N) varía en función del material de partida, y su valor numérico se obtiene dividiendo el contenido total de carbono (% C total) por el contenido total de nitrógeno (% N total) de los materiales que se van a compostar. Mantener un equilibrio adecuado entre estos dos elementos es fundamental, ya que garantiza la degradación eficiente de la materia orgánica por parte de la comunidad microbiana (Panduro y Rengifo, 2021).

#### **2.2.8.5. Color**

El compost tendrá un color oscuro y los ingredientes utilizados serán irreconocibles, ya que, si se logra reconocer a estos ingredientes en el proceso de compost aun este fresco, sin embargo, si en el proceso se presenta un color blanco o gris significa que el compost esta con hongos. Así mismo si se aplica un método diferente al compostaje y que posea tierra vegetal

como un componente, éste le va a proporcionar un color característico de marrón claro, que indica un compost maduro. (Mahongnao et al., 2023).

#### **2.2.8.6. Olor**

Debe percibirse olor a tierra de bosque, ya que este es un indicador de que el compostaje está avanzando y se podría emplearlo sin problema. Sin embargo, si huele a amoníaco es recomendable que se vuelva a re-compostar, agregado material seco rico en nitrógeno, así mismo se debe airear la pila que se está compostando. Si el compost no presenta ningún olor se debe a que se descompuso demasiado. (Huamaní, 2020).

#### **2.2.8.7. Densidad**

El rango para los primeros 5 días es de  $200 - 400 \text{ kg/m}^3$ , por lo que durante los meses es recomendable mantener este por debajo de los  $700 \text{ kg/m}^3$ , sin embargo, si esto supera el rango se debe a que hay mucha humedad en el compost, lo cual indica su descomposición y la capacidad de MO presente. (FAO, 2020)

#### **2.2.8.8. Carbono**

El carbono es utilizado para la captura de energía metabólica, obteniendo como resultado emisiones de  $\text{CO}_2$ , sin embargo, el resto de carbono es incorporado a su propia estructura alcanzando un equilibrio a favor del cultivo a aplicar el compost. (Tortosa, 2018). Así mismo, la relación C/N que es obtenida del compost va a indicar si la incorporación de esta al suelo no generara inconvenientes en la movilización de nitrógeno. Así mismo el contenido total de carbono orgánico del compost no tiene que ser inferior a 14% en peso, así mismo promueve la estructura del suelo con una excelente estabilidad, mejorando la aireación y retención de agua en el suelo, evitando la lixiviación de nutrientes y la erosión. (Mahongnao, 2023)

#### **2.2.8.9. Nitrógeno**

Varia con la madurez del compost, el porcentaje del contenido de nitrógeno varía del 1% al 2% en un periodo de madurez de 5 meses. En el compost fresco el nitrógeno se encuentra principalmente como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) lo cual presenta menor absorción por parte de las plantas, así mismo un fertilizante óptimo presenta un alto porcentaje de nitrógeno como nitrato. (Puente, 2017). Por otra parte (Viteri, R., et al., 2016), en su investigación menciona que los valores óptimos de nitrógeno es 1% lo cual es obtenido en el producto final de compost, se debe al material orgánico empleado inicialmente el cual fue rico en nitrógeno, haciéndolo un indicador de mucha utilidad para valorar la calidad del compost.

#### **2.2.8.10. Fosforo**

Su proporción oscila entre el 0.8% y 2.5%, principalmente se encuentra como óxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) y va a variar según el tipo de residuo que proviene el compost. (Puente, 2017). El aumento de la concentración de fósforo en abono orgánico es resultado de pérdida de MO mineralizada así mismo su concentración ayuda en el proceso de fertilizar el suelo y mejorar el rendimiento de cultivos agrícola ya que absorbe este elemento mediante fosfatos. (Viteri, et. al., 2016)

#### **2.2.8.11. Potasio**

Según Puente (2017), el compost debe contener entre 1 % y 1.5 % de potasio, principalmente en forma de óxido de potasio ( $K_2O$ ), que las plantas absorben en forma elemental o combinada (como cloruro, fosfato o nitrato). Puede enriquecerse con cenizas, estiércol o hojas de plátano. Al igual que el fósforo, el vermicompost de residuos de cocina aporta suficiente potasio para corregir suelos pobres en este nutriente.

#### **2.2.8.12. Materia orgánica**

Se presenta durante los primeros 5 días es de 50% a 70%, si el compost se encuentra entre 3 y 6 meses la materia orgánica presente será de >20%. (FAO, 2020). Por otra parte (Ansorena, J., et.al., 2019), en su investigación menciona que MO óptima es de (9,54%-85,3%), siendo un indicador útil para evaluar la calidad del compost. La pérdida de MO es significativa en etapa de biooxidación, ya que en esta etapa la actividad microbiana de degradación es mayor. Sin embargo, la mineralización de MO es menor en la fase de madurez esto se da por el material compostable ya que se mantuvo estable.

#### **2.2.8.13. Conductividad eléctrica**

Los valores bajos en un sustrato permiten poder manejar concentraciones de nutrientes minerales según el tipo de requerimiento del cultivo, sin embargo, los valores mayores a 1 dSm<sup>-1</sup> (1+5 v/v), disminuyen el crecimiento de las plantas ya que ocasiona desbalances en su nutrición y consecuencias fitotóxicos. (Bárbaro, 2019)

### **2.2.9. Normativa para calidad de compost**

#### **2.2.9.1. Norma técnica peruana 201.208 2021**

**Tabla 1.** Parámetros físicos y químicos según la NTP 201.208 2021

Parámetro	Valor
pH	>6.5 y <8.5
Humedad	>35% y <50%
Densidad aparente	550 a 850 kg/m <sup>3</sup>

Materia orgánica	>20%
Conductividad eléctrica	2 a 4 dS/m

Fuente: INACAL, 2021

**Tabla 2.** Parámetros y valor de contenido de nutrientes según la NTP 201.208 2021

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
Fosforo	0.1	1
Potasio	0.3	1
Nitrógeno	0.3	1.5
Calcio	2	6
Magnesio	0.2	0.7

Fuente: INACAL, 2021

**Tabla 3.** Contenido de metales pesados según la NTP 201.208 2021

Parámetro	Máximo contenido (ppm)
Zinc	1000
Mercurio	2
Níquel	50
Cadmio	2.5
Cromo	200
Plomo	150
Arsénico	15
Cobre	250

Fuente: INACAL, 2021

### 2.2.9.1. Norma Austriaca (Respiración del suelo)

**Tabla 4.** Actividad respiratoria máximas, según la Norma Austriaca (1991)

Parámetro	Valor máximo
Actividad de respiración en 4 días (AT4) en mg O <sub>2</sub> / g MS	7

Fuente: Norma Austriaca (1991)

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Residuos orgánicos**

Abarca todos los residuos de origen biológico, es decir, materiales que en su día estuvieron vivos o formaron parte de un organismo vivo y que no han sufrido ninguna transformación industrial significativa. Se caracterizan fundamentalmente por ser biodegradables, lo que les permite descomponerse de forma natural con el paso del tiempo gracias a la acción metabólica de diversos microorganismos (Jimenes, 2017).

### **2.3.2. Compost**

Producto obtenido por diversas materias primas de origen orgánico, lo cual ha sido sometido a procesos del compost. El compost es utilizado como acondicionante del suelo, control de erosión del suelo, revestimiento y remediación de este. (Damián 2018).

### **2.3.3. Estabilidad del compost**

Esta referida a la temperatura constante dentro del rango óptimo durante un período de tiempo adecuado, lo que resultará en la descomposición completa de los materiales orgánicos y en un compost maduro (Rivasplata, 2021)

### **2.3.4. Medición con OxiTop**

Barrales et al (s.f) mencionan que el OxiTop es un instrumento de laboratorio diseñado con un propósito diferente de medir la evolución de CO<sub>2</sub> del suelo, porque es un respirómetro desarrollado por la empresa WTW para cuantificar la demanda biológica de oxígeno (DBO) necesaria para la degradación de la materia orgánica.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política de la zona de estudio

La ubicación política de la zona de estudio está ubicada en el departamento de San Martín, provincia de Tocache, distrito de Tocache, centro poblado de Pucayacu, en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Tocache, donde se desarrollaron las actividades de campo.

Asimismo, el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se llevaron a cabo respectivamente en el Laboratorio de Calidad de Suelos, en el Laboratorio de Calidad de Aire y el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.



**Figura 1.** Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica de la zona de estudio

La zona de estudio está ubicada geográficamente en las coordenadas UTM Este 328950 y Norte 9094029, a una altitud de 535 metros sobre el nivel del mar (msnm). Asimismo, los análisis de laboratorio se realizaron en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, cuyas

coordenadas geográficas en el sistema UTM son Este 390241 y Norte 8970842, con una altitud de 660 (msnm) aproximadamente.

### **3.1.3. Características generales de la zona**

#### **3.1.3.1. Clima**

La planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Tocache la municipalidad Provincial de Tocache se encuentra en el Centro Poblado de Pucayacu, distrito de Tocache, el cual según (SENAMHI, 2025) presenta veranos cálidos y parcialmente nublados e inviernos calurosos, húmedos, mojados y mayormente nublados.

#### **3.1.3.2. Temperatura**

La temperatura mínima anual es 20 °C, en los en los meses de junio y julio, la temperatura media anual alcanza los 26 °C y la temperatura máximo anual alcanza los 33 °C, mayormente en los meses de agosto a octubre. (SENAMHI; 2025)

#### **3.1.3.3. Precipitación**

Presenta precipitaciones fluviales con mayor frecuencia en los meses de febrero y diciembre, llegando a presentar un valor de 80.7 mm/día. (SENAMHI; 2025)

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

Materiales de campo: Guantes de látex, bolsas herméticas, carretilla, balanza, rotulador y cuaderno de campo.

Materiales de laboratorio: placa Petri, agua destilada, bandeja de aluminio, frascos de 2L, cabezas de OxiTop, probetas, recipientes pírrex, crisol

### **3.2.2. Equipos**

Balanza analítica marca cp digital, estufa marca P-SELECTA multiparámetro portátil y laptop Lenovo 10 TH GEN.

### **3.2.3. Insumos**

Residuos orgánicos domiciliarios.

### **3.2.4. Programas**

Software Microsoft office 365 v.2301, Google Earth Pro y ArcGIS 10.8.2.

### **3.3. Criterio y análisis de estudio**

#### **3.3.1. Nivel de investigación**

La presente investigación es de nivel descriptivo, porque el objetivo general es Evaluar el Tiempo de Compost estabilizado en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín y como lo define (Hernández et al,2014), los estudios descriptivos, buscan especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

#### **3.3.2. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo básica, ya que busca obtener nuevos conocimientos sobre los fundamentos de fenómenos y hechos observables, siendo este el tipo de investigación que favoreció el proceso de Evaluar el tiempo de compost estabilizado en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín, lo cual al mismo tiempo contribuyó al desarrollo de las teorías científicas y al avance del conocimiento en un campo específico.

#### **3.3.3. Método de investigación**

Se aplicó el método observacional, (Hernández et al, 2014). lo define como el método de recolección de aspectos, características, propiedades válidos y confiables al observar un fenómeno, con el objetivo de demostrar la hipótesis, precisando el objeto, magnitud, variable a observar, tiempo de duración y el resultado esperado.

La presente investigación se realizó mediante el método de observación en el cual se va a comprobar la hipótesis de que el tiempo adecuado del compost de los residuos orgánicos en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín de 150 días y cumple con la NTP 201.208 2020.

### 3.3.4. Operacionalización de variables

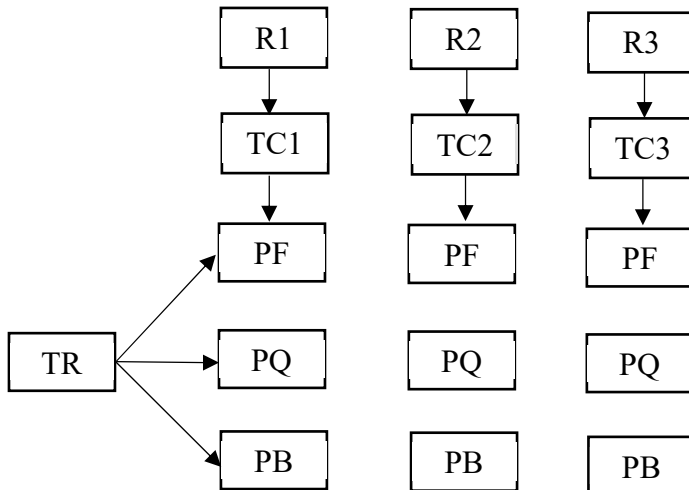
**Tabla 5.** Operacionalización de variables del proyecto de tesis.

Variable	Dimensión	Operacionalización	Indicador
Independiente: Residuos Sólidos Orgánicos domiciliarios	Residuos orgánicos	Se va a realizar un proceso de caracterización de los residuos orgánicos que ingresan a la planta de compost.	- Humedad (%)
			- Peso (Kg)
			- Temperatura (°C)
	Tiempo de estabilización la temperatura, peso, volumen del compost	Estabilidad degradativa aerobia	- Peso (kg)
			- Tiempo (días)
			- Volumen (cm <sup>3</sup> )
	Tiempo de estabilización de la Actividad respiratoria (AT4) del compost	Lectura de datos mediante Test AT4.	- Actividad respiratoria en cuatro días (mg O <sub>2</sub> /g Ms)
Dependiente: Tiempo de compost estabilizado	Características físicas, químicas y biológicas del compost	Se va a determinar la calidad de compost, para ello se va a comparar con la Norma Técnica Peruana 201.208 2021	- Humedad (%)
			- Temperatura (°C)
			- Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )
			- Conductividad eléctrica
			- pH
			- Materia orgánica (%)
			- Relacion C/N
			- Nitrógeno (N)
			- Potasio (K)
			- Fósforo (P)
			- Recuento Bacteriano
			- Recuento Fúngico

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación que presenta es de tipo no experimental transversal en 3 intervalos de tiempo (90, 120, 150) días, ya que no se manipulan las variables de estudio, simplemente se analizarán.



**Figura 2.** Esquema del diseño de investigación.

Donde:

R1=TC1=90 Días

R2=TC2=120 Días

R3=TC3=150 Días

TR: Tipo de residuo

TC: Tiempo de compost

R: Repetición

PF: Parámetros físicos

PQ: Parámetros químicos

PB: Parámetros biológicos

R1=TC1=90 Días

R2=TC2=120 Días

R3=TC3=150 Días

### 3.3.6. Población y muestra

La población de la presente investigación estuvo conformada por 15 camas de compost producidos en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de la Municipalidad Provincial de Tocache, donde las muestras fueron 06 camas de compost producidos siendo estas monitoreadas, de las cuales se tomó 01 kg de compost de cada cama para su respectivo análisis en laboratorio.

### **3.3.7. Técnicas e de Recolección de Datos**

#### **Técnicas**

Para la presente investigación se usaron técnicas bibliográficas (análisis de contenidos) y técnicas de campo (observación)

### **3.3.8. Análisis de Datos**

Para el análisis de los datos se realizó un Análisis de Varianza para la prueba de hipótesis al nivel de significancia del 5%, análisis de supuesto de forma gráfica y se evaluó las series temporales de los parámetros.

## **3.4. Metodología**

### **3.4.1. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos que ingresan.**

#### **3.4.1.1. Composición física los residuos sólidos orgánicos**

Previa coordinación con las autoridades encargadas de la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos, se obtuvo el permiso correspondiente para la manipulación de los residuos sólidos orgánicos entrantes.

La caracterización de los residuos sólidos orgánicos consistió en la identificación y cuantificación de sus componentes, a través de la determinación de sus principales propiedades físicas, con la finalidad de conocer su composición y comportamiento durante el proceso de valorización. Para ello, se adaptaron y aplicaron los criterios establecidos en la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales (2019).

Siguiendo los lineamientos de la guía, la presente investigación se centró exclusivamente en residuos sólidos orgánicos, donde la composición física y el pesaje se llevó a cabo en el mismo lugar. Para ello se garantizaron la disponibilidad y uso de los equipos de protección personal; posteriormente, se realizó la segregación de los residuos sólidos orgánicos por tipo y se efectuó el pesaje individual de cada tipo de residuos segregados. Finalmente, los datos obtenidos fueron registrados en la Ficha de registro de pesos, conforme se detalla en la tabla 18 del Anexo.

El período de evaluación se realizó en la etapa inicial del proceso, específicamente el primer día de instalación de la cama de compost.

#### **3.4.1.2. Densidad de los residuos sólidos orgánicos**

Se colocaron los residuos orgánicos de forma homogénea en el cilindro, dejando libre 10 cm para facilitar su manipulación. Luego, se elevó el cilindro entre 10 cm y 15 cm y se dejó

caer tres veces. Finalmente, se procedió a medir la altura libre y el peso de los residuos en la hoja correspondiente.

### **3.4.1.3. Humedad de los residuos sólidos orgánicos**

Al tercer día de instalación de cada una de las camas se tomó una muestra de residuos orgánicos, donde se trituraron para su respectivo análisis en laboratorio.

## **3.4.2. Determinación de tiempo de estabilidad térmica, peso, volumen y actividad respiratoria del compost.**

### **3.4.2.1. Estabilidad térmica del compost**

Se realizó el registro de la temperatura desde el primer día de la instalación de cada cama de compost, para lo cual se hizo uso de un termómetro digital de medición, donde fue introducido en 3 partes, inicio, centro y final de la cama de compost. Así mismo se tuvo en consideración tener introducido el termómetro hasta que se estabilice, adicionalmente se midió los valores de temperatura ambiente.

El período de evaluación se realizó de manera diaria desde el día de instalación hasta los 150 días.

### **3.4.2.2. Estabilidad del peso y volumen del compost.**

Se llevo un registro de los cambios en el peso y volumen del compost como se ve en la tabla 20 del anexo, lo cual implica medir el peso inicial y luego se estimará cada 25 días hasta que este peso se vuelva constante. Respecto al volumen se va a medir mediante la siguiente formula:

$$\text{Volumen} = \text{Área del rectángulo} \times \text{Altura} + \text{Área triángulo} \times \text{Longitud} \dots\dots\dots (1)$$

El período de evaluación se realizó a los 25,50,75,100, 125 y 150 días posteriormente a la instalación de cada cama de compost.

### **3.4.2.3. Actividad respiratoria del compost estabilizado en peso, temperatura y volumen.**

Para determinar la capacidad de retención de agua (CRA) del compost, se dividió una muestra de 500 g de compost saturado en dos partes iguales. La mitad de esta muestra se secó en un horno a 105 °C durante 24 horas para establecer su valor de referencia en seco, mientras que la parte restante se dejó escurrir en una bandeja de aluminio durante 6 a 8 horas. Tras el escurrido, se extrajo y se pesó una submuestra de 100 ml. Para la prueba de respiración y estabilidad, la incubación se llevó a cabo en matraces de 2,5 l equipados con cabezales OxiTop, cada uno de los cuales contenía 20 ml de una solución absorbente de carbonato de sodio. A continuación, estos matraces se mantuvieron en una cámara climática a una temperatura de 20

°C durante 7 días. Se registraron las lecturas de presión cada 2 días; cada vez que un valor superaba los 150 hPa, se abrían brevemente los matracos para airearlos y evitar el agotamiento del oxígeno. Todo este procedimiento de medición se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad del Aire de la Universidad Agraria Nacional de la Selva.

Para determinar la actividad respiratoria en cuatro días se aplicará las siguientes fórmulas:

$$Ms = \frac{PH \times CRA}{100\%} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

*Ms* = Masa seca en gramos de la muestra de compost (g)

PH = Peso de la muestra húmeda a volumen constante (g)

CRA = Capacidad de retención de agua de la muestra húmeda (%)

Luego, determinar el volumen de gas libre en el frasco de reacción:

$$V_{glf} = V_{tf} - V_a - V_m \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

*V<sub>glf</sub>* = Volumen de gas libre en el frasco de reacción (L)

*V<sub>tf</sub>* = Volumen total del frasco de reacción (L)

*V<sub>a</sub>* = Volumen del absorbente en litros (L)

*V<sub>m</sub>* = Volumen de muestra que se colocó en el frasco de reacción (L)

$$AT4 = \frac{MO_2 \times V_{glf} \times \sum_{x=1}^{96h} |\Delta p|}{R \times T \times Ms} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

*AT4* = Actividad respiratoria en cuatro días (mg O<sub>2</sub>/g Ms)

MO<sub>2</sub> = Peso molecular del oxígeno

*V<sub>glf</sub>* = Volumen de gas libre en el frasco de reacción (L)

*|\Delta p|* = Diferencia parcial de presión por consumo de oxígeno (hPa)

R = Constante del gas ideal

T = Temperatura

El período de evaluación se realizó a los 90, 120 y 150 días posteriormente a la instalación de cada cama de compost.

### 3.4.3. Determinación de propiedades física, química y biológicas del compost.

Una vez tomada cada una de las muestras de compost se procedió a determinar los parámetros que posee el compost como se ve en la tabla 22 del anexo, con su respectivo método el cual se describe de la siguiente manera:

### - Temperatura

Se registraron los valores de la temperatura desde el primer día de la instalación de cada cama de compost. Así mismo se hizo uso de un termómetro digital de medición, el cual se introdujo en 3 partes, inicio, medio y final de la cama de compost, la medición se realizó hasta que el termómetro se estabilice, adicionalmente se midió los valores de la temperatura ambiente

### - Humedad relativa y masa seca

Se aplicó el método gravimétrico, donde se pesó en una balanza un recipiente pírrex con el contenido de la muestra de compost, para luego llevar la muestra a la estufa a 105°C durante 24 horas, cumplida las horas se procedió a sacar la muestra de la estufa y dejar enfriar. Una vez frío se procedió a pesar la muestra seca, pero teniendo en cuenta el peso del recipiente de pírrex, para poder restar ese peso.

El porcentaje de humedad del compost se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$HR(\%) = \frac{(P_0 - P_f)}{(P_0)} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

HR% = Contenido de humedad (%)

P<sub>0</sub> = Peso inicial de la muestra (g)

P<sub>f</sub> = Peso final

Se determinó el porcentaje de masa seca (MS) mediante la siguiente ecuación:

$$MS(\%) = 100 - HR\% \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

MS (%) = Masa seca (%)

HR = Humedad relativa

### - Densidad aparente

Se aplicó el método de la probeta, el cual consistió en llenar una probeta de 100 mL con el material a caracterizar, donde posteriormente se determinó su peso y con ello calcular su densidad mediante la formula siguiente:

$$Pa = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

Pa = Densidad aparente en g/mL

M = Peso (g)

V = Volumen (mL)

#### - Conductividad eléctrica:

Se realizó la dilución de la muestra de compost en agua desionizada (relación 1:10) y se agitó durante 2 horas para luego ser filtrado. En este extracto acuoso producto del filtrado se introdujo el multiparámetro portátil y con ello se obtuvo el valor de la conductividad eléctrica del compost.

#### - pH

Para determinar este parámetro, en un vaso precipitado se diluyó una muestra de 10g de compost en 100 ml de agua desionizada y se agitó durante una hora, finalmente se realizó la lectura con el multiparámetro portátil.

#### - Materia orgánica (MO)

Para determinar el contenido de materia orgánica, la muestra recogida se sometió a un tratamiento previo mediante secado en un horno a 105 °C durante 24 horas, con el fin de eliminar completamente la humedad. A partir de esta matriz seca, se pesó una porción específica y se introdujo en un horno de mufla a 550 °C durante dos horas y media para provocar la calcinación. Tras este periodo, la muestra se enfrió dentro de un desecador antes de registrar su peso final, que representa el contenido de cenizas residuales. La pérdida de masa registrada durante este proceso térmico se corresponde directamente con el contenido de materia orgánica de la biomasa evaluada, calculado mediante las siguientes fórmulas:

$$MO\% = \frac{(Pi - Pf)}{(Pi)} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

$$Cn\% = Pi - MO\% \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

MO%: Materia orgánica (%)

Cn%: Cenizas (%)

Pi: Peso inicial (g)

Pf: Peso final (g)

#### - Carbono Orgánico Total (C)

Este parámetro se determinó mediante el método de Walkley-Black, en el que el contenido de carbono orgánico se calcula matemáticamente a partir del valor de la materia orgánica aplicando el factor de Van Bemmelen, que es de 1,724. Esta constante se basa en el supuesto estructural de que la materia orgánica contiene aproximadamente un 58 % de carbono orgánico y de que el proceso de oxidación en húmedo recupera una media del 77 % del carbono total presente en la muestra. Para calcular la concentración final, se aplica la siguiente ecuación:

$$Cot = Mo - 1.724 \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

COT: Carbono orgánico total (g)

MO: Materia orgánica (g)

1.724: Factor de Van Bemmelen

#### - **Nitrógeno Total (N)**

Para determinar este parámetro se empleó el método Kjeldahl. Se digirió 1 g de compost con 3 mL de ácido sulfúrico concentrado en un matraz de 100 mL hasta que la muestra se aclaró. Luego, tras enfriar, se añadió agua destilada y fenolftaleína, y se tituló con hidróxido de sodio hasta obtener un tono rojo claro. El destilado se recogió en ácido bórico y se tituló con ácido sulfúrico hasta alcanzar un color rojo violeta. Finalmente, se aplicó la fórmula correspondiente para el cálculo.

$$N = \text{Miliequivalente de N} \times 0.014 \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

N = Porcentaje de nitrógeno en la muestra.

Miliequivalente de N = mL de ácido gastado en la titulación x normalidad del ácido.

#### - **Relación Carbono Nitrógeno:**

Se calculó en función a los valores obtenidos de Materia Orgánica y Nitrógeno, mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$\text{Relacion C/N} = \frac{Mo}{N} \times 0.58 \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

Mo: Materia orgánica en %

N: Nitrógeno en %

0.58: Constante propuesta por Jackson

#### - **Potasio total**

Se extrajo el potasio utilizando ácido clorhídrico y nítrico, así mismo se realizó la lectura del potasio en el extracto mediante espectrofotometría de absorción atómica, para ello se realizó una previa preparación de una curva de calibración.

Para el cálculo de potasio se aplicó la siguiente ecuación:

$$K (\%) = \frac{(C - Cb) \times Vt \times F}{1000 \times Va \times G} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

$C$  = mg/L de K en la alícuota de muestra analizada

$C_b$  = mg/L de K en el blanco

$V_t$  = Volumen total del extracto (mL)

$V_a$  = Volumen de la alícuota (mL)

$F$  = Factor de dilución, en caso de que la hubiese

$G$  = Peso de la muestra (g)

#### - **Fósforo disponible**

Se aplicó el método de Olsen. Primero se colocó 2g de muestra al cual se le adicionó 100 mg de carbón activado, con 20 mL de solución extractante ( $\text{NaHCO}_3$  0.5M, pH 8.5), luego se agitó durante 30 minutos y se procedió a filtrar. Así mismo en un tubo de ensayo se colocó 3m, para luego agregar 10 mL de solución de trabajo de desarrollo de color y esta se homogenizó por 10 minutos, luego se leyeron los resultados en un espectrofotómetro. Así mismo se realizó una curva patrón para el fósforo, que se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P = LC \times FD \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

$P$  = miligramos de P por Kg de suelo

$LC$  = Lectura en curva de calibración

$FD$  = Factor de dilución

Para calcular el factor de dilución se aplica la siguiente ecuación:

$$FD = \frac{\text{Volumen del extractante (mL)}}{\text{Peso del compost (g)}} \times \frac{\text{Volumen de reaccion de color (mL)}}{\text{Volumen de alicuota (mL)}} \dots\dots\dots (15)$$

#### - **Recuento bacteriano**

En 100 mL de caldo manitol se diluyó 10 gr de compost y se dejó reposar por un lapso de 2 horas, posterior a esto se filtró y se tomó una alícuota de 1 mililitro, la cual luego se vertió con la ayuda de una pipeta a un tubo con 9 mL de caldo peptona al 1%, esta operación se repitió cuatro veces más hasta conseguir una dilución de  $10^{-5}$ , luego se tomó un mililitro de la última dilución y se procedió a sembrarlo por profundidad en Agar Plate count por triplicado, finalmente las muestras fueron colocadas en la estufa a 37 °C por 24 horas, y con ello realizar el conteo con la ayuda de un cuenta colonias.

Para los cálculos se realizaron con la siguiente ecuación:

$$\text{Ufc/g de muestra} = \frac{\text{Numero de colonias contadas} \times \text{Dilucion}^{-1}}{\text{Gramos de compost diluido}} \dots\dots\dots (16)$$

El período de evaluación se realizó a los 90, 120 y 150 días posteriormente a la instalación de cada cama de compost.

#### - **Recuento fúngico**

En 100 mL de caldo manitol se diluyó 10 gr de compost, dejándolo reposar por un lapso de 2 horas, posterior a esto se filtró, luego se tomó una alícuota de 1 mililitro para ser vertida con la ayuda de una pipeta en un tuvo con 9 mL de caldo peptona al 1%, esta operación se realizó cuatro veces más hasta conseguir una dilución de  $10^{-5}$ , luego se tomó 1 ml de la última dilución y se procedió a sembrarlo por profundidad en Agar Sabouraud por triplicado, se puso en la estufa a temperatura ambiente por 4 días, para finalmente realizar el conteo con la ayuda de un cuenta colonias.

Los cálculos se realizaron con la ecuación siguiente:

$$\text{Ufc/g de muestra} = \frac{\text{Numero de colonias contadas} \times \text{Dilucion}^{-1}}{\text{Gramos de compost diluido}} \dots\dots\dots (17)$$

El período de evaluación se realizó a los 90, 120 y 150 días posteriormente a la instalación de cada cama de compost.

#### - **Enumeración de Coliformes Termotolerantes**

Se realizo mediante el método del Número Más Probable (NMP), se inició con la preparación de la muestra orgánica. Para las muestras líquidas, se tomó un volumen de 10 mL y se transfirió a un matraz con 90 mL de caldo peptona, obteniendo así una dilución inicial  $10^{-1}$ . Para muestras sólidas, se pesaron 10 g de muestra, que posteriormente fueron homogenizados en 90 mL de caldo peptona, alcanzando la misma dilución  $10^{-1}$ . A partir de esta dilución inicial, se prepararon diluciones sucesivas:  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ , transfiriendo 1 mL de cada una a los tubos correspondientes. Posteriormente se realizó la prueba presuntiva, inoculando alícuotas de cada dilución en tubos que contenían 9 mL de Caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (BRILA) o Caldo Triptosa Lauril Sulfato, cada uno con un tubito Durham invertido para la detección de gas. Los tubos se incubaron a 35–37 °C durante 24 a 48 horas y se verificó la producción de gas, indicador de fermentación de lactosa. Los tubos presuntivos positivos se utilizaron para realizar una siembra secundaria en Caldo EC, utilizando un asa bacteriológica esterilizada.

Luego se procedió con la prueba confirmativa, inoculando los tubos de Caldo EC, también provistos de tubitos Durham. Estos se incubaron a 44.5–45.5 °C durante 24 a 48 horas, temperatura selectiva para coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*). Se observó nuevamente la producción de gas. Con base en el número de tubos positivos en cada serie de

diluciones, se consultó la tabla estándar del NMP y se calculó el resultado final mediante la fórmula:

$$\text{NMP}/100 \text{ mL} = \frac{\text{Índice NMP (tabla)} \times \text{disolución intermedio}}{100} \dots\dots\dots (18)$$

Finalmente, se realizó la prueba completada para confirmar la presencia de E. coli. Para ello, los tubos positivos se sembraron en medios selectivos y diferenciales como EMB, Endo o MacConkey, incubándose a 37 °C durante 24 horas. Las colonias típicas generalmente de brillo metálico en EMB se repicaron en medios bioquímicos como IMViC y TSI. Si los resultados mostraban la combinación característica Indol +, Rojo de Metilo +, Voges Proskauer, Citrato, además de A/A con gas y sin producción de H<sub>2</sub>S, se confirmaba la presencia de Escherichia coli.

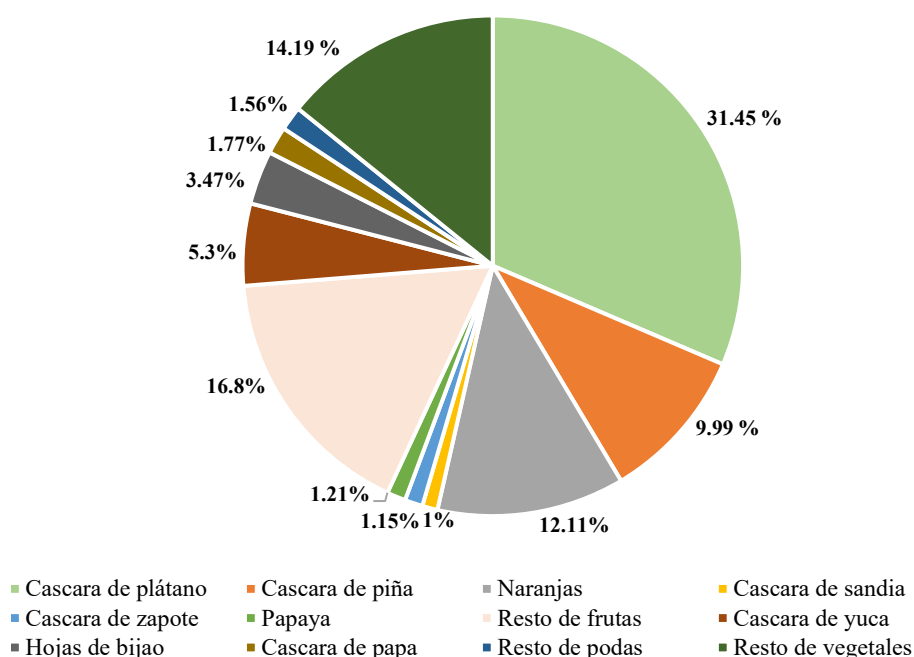
El período de evaluación se realizó a los 90, 120 y 150 días posteriormente a la instalación de cada cama de compost.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

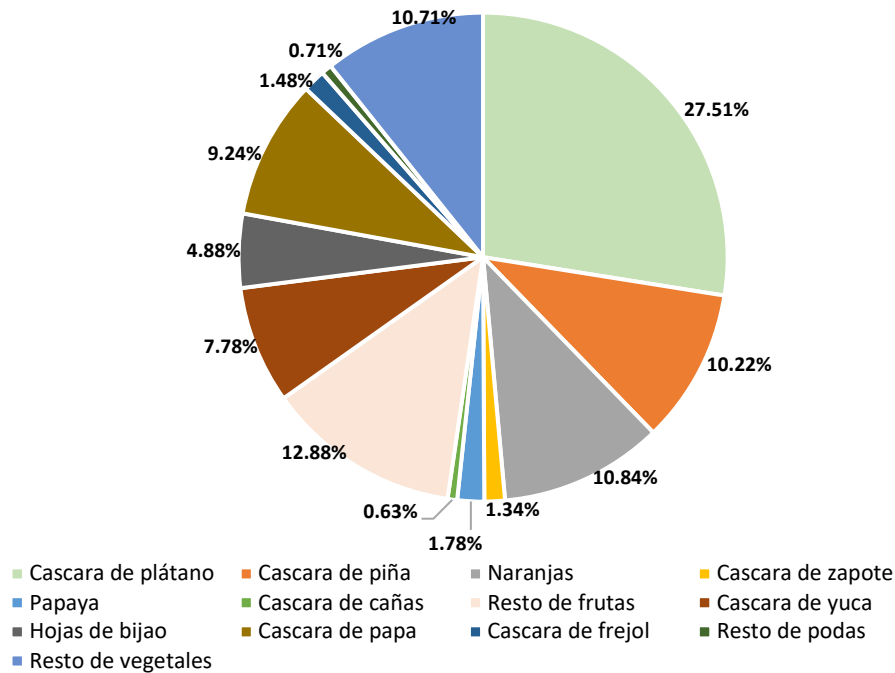
### 4.1. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos que ingresan a Planta de Valorización.

#### 4.1.1. Composición física de los residuos orgánicos

La composición física de los residuos orgánicos domiciliarios que ingresan a la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín, diferenciando la cantidad en kilogramos entre camas con microorganismos y camas sin microorganismos, con tres mediciones en cada caso. Los residuos más representativos en ambas condiciones son la cáscara de plátano, con 31.45 % y 27.51 %, respectivamente, seguido por la cáscara de piña y las naranjas, con valores superiores al 10 % en ambas categorías. Se observa una mayor acumulación total de residuos en las camas con microorganismos (5302.5 kg en la cama 1) en comparación con las camas sin microorganismos (2625.5 kg cama 1), lo que sugiere que ciertos residuos pueden degradarse más eficientemente con la presencia de microorganismos, favoreciendo su aprovechamiento en procesos de valorización como la producción de compost o biofertilizantes.



**Figura 3.** Composición porcentual de las camas sin microorganismos



**Figura 4.** Composición porcentual de las camas sin microorganismos

La elevada proporción de residuos frutales y vegetales, particularmente de cáscaras de plátano y restos de frutas, concuerda con lo reportado por Ortega Díaz et al. (2022), quienes identificaron que en zonas urbanas de América Latina los residuos de frutas superan el 50 % del total de la fracción orgánica. Este patrón se relaciona con una dieta predominantemente frutal y la baja valorización de subproductos comestibles. Por otro lado, estudios como el de Martínez Fuentes y Martínez Salgado (2022) resaltan que las cáscaras de plátano representan una fuente abundante de residuos debido a su alto consumo diario, pero también poseen un potencial valioso en procesos de compost por su contenido en almidón y materia fibrosa.

La cama con microorganismos no se alteró significativamente en su composición de residuos, aunque las camas presentaron la proporción de cáscara de plátano y aumentó la distribución entre otros tipos como la cáscara de yuca y el resto de podas. Según Delgado et al. (2023), la adición de microorganismos eficaces favorece una degradación más homogénea, lo cual podría explicar esta redistribución. Asimismo, autores como Núñez et al. (2020) sugieren que la acción microbiana acelera la descomposición de residuos con alto contenido de almidón, como las cáscaras de papa y yuca, promoviendo su incorporación al compost final.

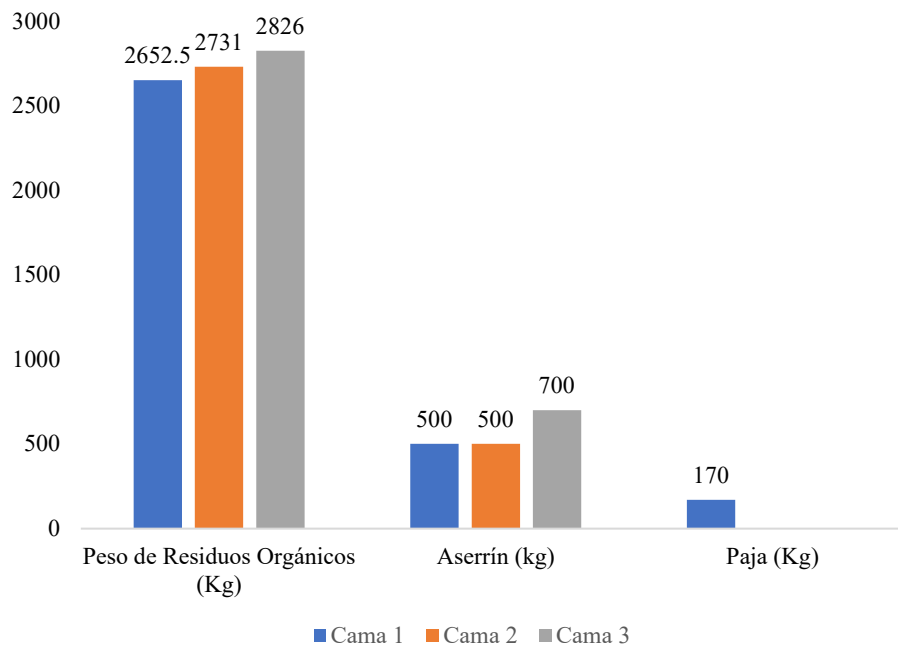
Cabe destacar que, aunque residuos como la cáscara de frijol o el zapote aparecen en cantidades mínimas, su presencia puntual podría estar asociada a hábitos alimentarios específicos o a una baja estacionalidad. Tal como lo menciona FAO (2020), la caracterización

detallada de los residuos permite identificar oportunidades de valorización diferenciada, especialmente en regiones con producción frutal diversa como Huánuco.

En suma, los resultados evidencian una alta generación de residuos orgánicos fácilmente compostable, lo que representa una oportunidad relevante para programas de compost domiciliario. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de integrar estrategias de educación ambiental y separación en origen, como proponen Montes de Oca et al. (2021), para optimizar la gestión de residuos orgánicos a nivel local.

#### 4.1.2. Composición de las diferentes camas a compostar.

Para la Caracterización realizada en el proceso de compost y en diferentes camas que utilizan y no utilizan microorganismos, se determinaron las siguientes proporciones.



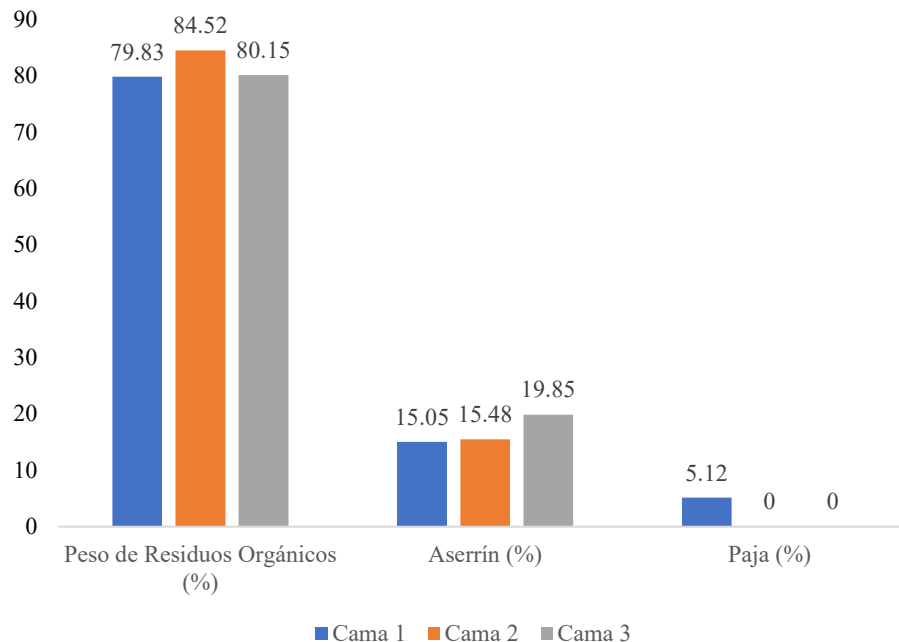
*Nota.* Cama 1: 2652.5 kg de peso, 500 kg de aserrín y 170 kg de paja; Cama 2: 2731 kg de peso y 500 kg de aserrín; Cama 3: 2826 kg de peso y 700 kg de aserrín.

**Figura 5.** Camas de compost sin microorganismos

La figura 5 detalla la composición inicial de tres camas de compost sin incorporación de microorganismos en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache. Esta información corresponde a la fase previa al proceso de compost, es decir, al estado físico del material tal como fue dispuesto en las camas antes de cualquier intervención biológica o técnica. Los pesos totales varían entre 2652.5 kg y 2826 kg, diferenciándose además por la proporción de materiales estructurantes: aserrín y paja. El aserrín está presente en las tres camas, en cantidades que oscilan entre 500 y 700 kg, este material lignocelulósico es ampliamente

utilizado como fuente de carbono y agente estructurante, debido a su capacidad para mejorar la aireación y retener humedad, condiciones críticas para la descomposición aeróbica (Aguirre Illatopa et al., 2024).

Cohelia et al. (2021) destacan que su uso también favorece la proliferación de microflora nativa, incluso en condiciones sin inoculación externa, lo que puede dar lugar a una degradación espontánea lenta. En cuanto a la paja, solo se registra en la cama 1 con un aporte de 170 kg. Este material, también rico en carbono y de estructura porosa, suele emplearse para incrementar la relación carbono/nitrógeno (C/N) y facilitar el ingreso de oxígeno entre las capas Rincones et al. (2023). La ausencia de paja en las camas 2 y 3 podría condicionar una menor eficiencia en la oxigenación natural, lo que, en compost posteriores, puede prolongar los tiempos de estabilización y afectar la calidad del compost final (Domínguez et al., 2022).

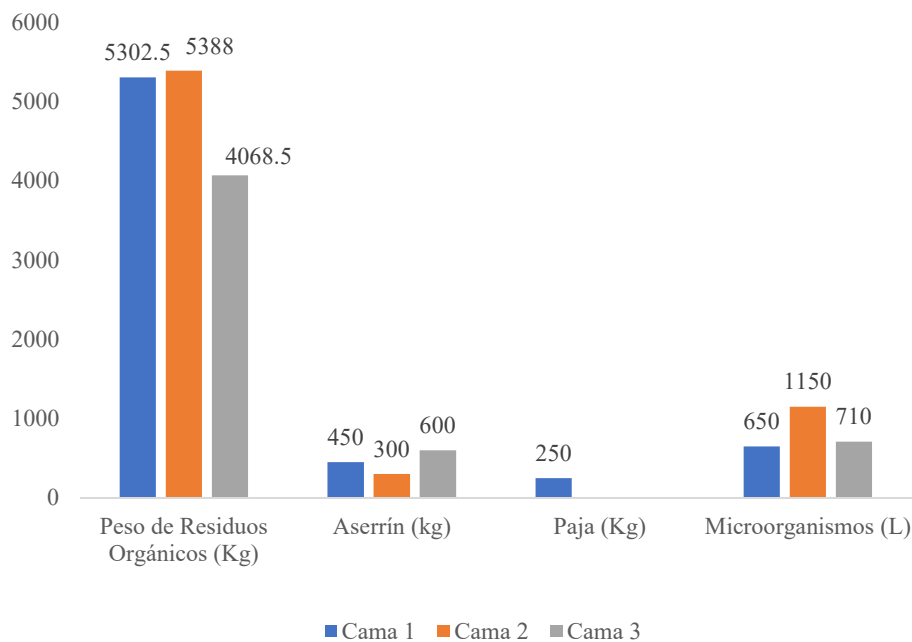


*Nota.* Cama 1: 79.83 % de residuos orgánicos, 15.05 % de aserrín y 5.12 % de paja, con un peso total de 83.5 kg, 500 kg de aserrín y 170 kg de paja. Cama 2: 84.52 % de residuos orgánicos y 15.48 % de aserrín, con un peso total de 2731 kg y 500 kg de aserrín. Cama 3: 80.15 % de residuos orgánicos y 19.85 % de aserrín, con un peso total de 2826 kg y 700 kg de aserrín.

**Figura 6.** Cantidad porcentual de las camas de compost sin microorganismos

La figura 6 muestra cómo estaba compuesta cada cama antes de comenzar el proceso de compostaje, expresando los datos en términos porcentuales. En esta etapa inicial, se observa que el mayor peso corresponde al material húmedo de cama (entre un 79.83% y un 84.52%), seguido por el aserrín (entre 15.05% y 19.85%). La paja, en cambio, solo se utilizó en la primera cama, representando un 5.12%.

Estos valores reflejan una clara predominancia de residuos húmedos frente a materiales secos y estructurantes, lo cual es importante considerar antes de iniciar el compost. Aunque la cantidad de aserrín utilizada entra dentro de rangos aceptables, podría resultar insuficiente si se busca un equilibrio adecuado de carbono y nitrógeno desde el inicio. Como señala Damián (2018), una proporción equilibrada de materiales secos y ricos en carbono es clave para evitar problemas como lixiviados ácidos o condiciones anaeróbicas. La poca presencia de paja, sobre todo su ausencia en dos de las tres camas posiblemente haya influido en una menor eficiencia del proceso biológico durante el compostaje.

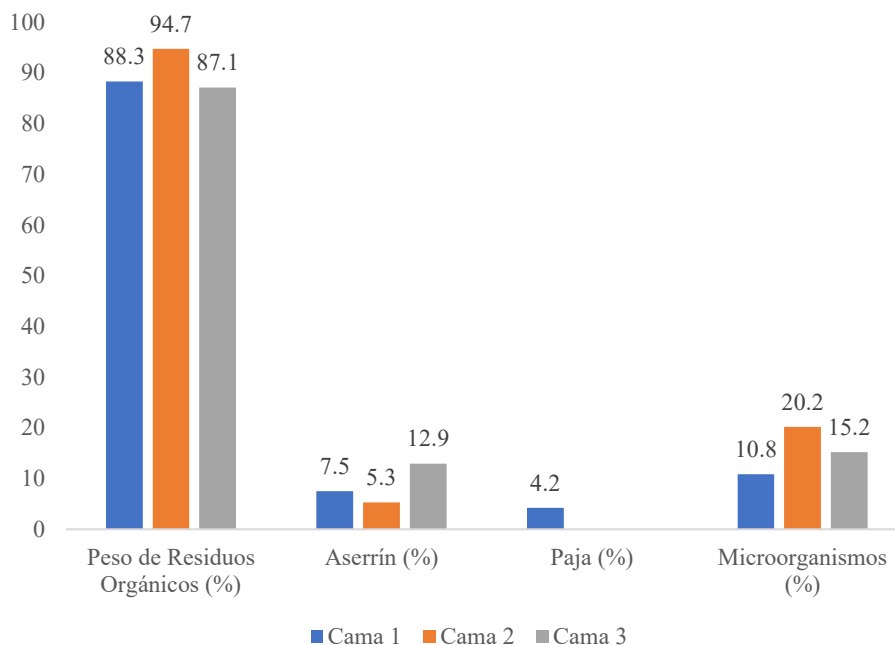


*Nota.* Cama 1: 5302.5 kg de residuos orgánicos, 450 kg de aserrín, 250 kg de paja y 650 L de microorganismos. Cama 2: 5388 kg de residuos orgánicos, 300 kg de aserrín y 1150 L de microorganismos. Cama 3: 4068.5 kg de residuos orgánicos, 600 kg de aserrín y 710 L de microorganismos.

**Figura 7.** Camas de compost con microorganismos

La Figura 7 recoge los datos de las camas preparadas para el compostaje con la incorporación de microorganismos. En esta etapa previa al proceso, se observa que el peso total de las camas es elevado, con valores que van desde los 4068.5 kg hasta los 5388 kg. El aserrín se utilizó en diferentes proporciones (entre 300 y 600 kg), mientras que la paja solo está presente en la primera cama, con 250 kg. Un aspecto distintivo de estas camas es la adición de microorganismos eficientes, en volúmenes que van de 650 a 1150 litros.

Estos datos reflejan la estrategia diferente en la preparación del compost, donde no solo se utilizaron materiales estructurantes como el aserrín y la paja, sino que además se incorporaron microorganismos con el fin de favorecer una descomposición más rápida y eficiente. El uso de estos inoculantes busca potenciar el proceso desde el inicio, aprovechando su capacidad para acelerar la degradación de la materia orgánica. Investigaciones como la de Maldonado (2020) han mostrado que los microorganismos eficientes pueden reducir notablemente los tiempos del compostaje, mientras que Ahmed et al. (2022) destacan su rol en mejorar la calidad final del compost, tanto en términos de estabilización como de contenido nutricional.



**Figura 8.** Cantidad Porcentual de las Camas de compost con microorganismos

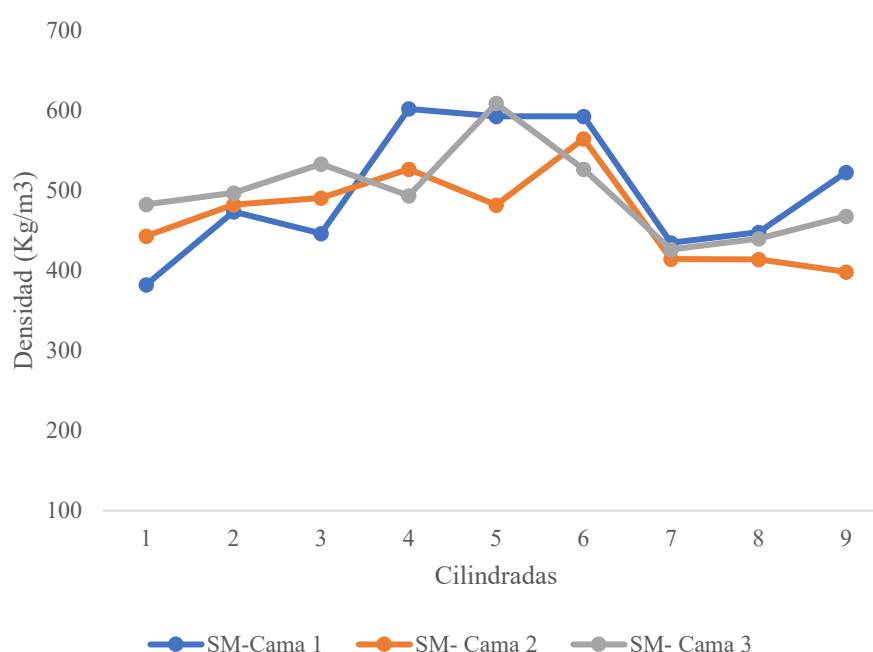
*Nota.* Cama 1: 88.3 % de residuos orgánicos, 7.5 % de aserrín, 4.2 % de paja y 10.8 % de microorganismos. Cama 2: 94.7 % de residuos orgánicos, 5.3 % de aserrín y 20.2 % de microorganismos. Cama 3: 87.1 % de residuos orgánicos, 12.9 % de aserrín y 15.2 % de microorganismos.

En la figura 8 muestra la composición porcentual de las camas de compost con microorganismos, considerando las variables peso, aserrín, paja y microorganismos. La cama 2 presenta el mayor peso (94.7%) y también la mayor concentración de microorganismos (20.2%), pero con menor contenido de aserrín (5.3%), mientras que la cama 3 posee el mayor porcentaje de aserrín (12.9%) y un nivel intermedio de microorganismos (15.2%). Por otro lado, la cama 1 muestra una distribución equilibrada con 88.3% de peso, 7.5% de aserrín, 4.2% de paja y la menor cantidad de microorganismos (10.8%).

Estas proporciones corresponden a la etapa previa al proceso de compost y reflejan un predominio aún mayor de residuos húmedos (entre 87.1% y 94.7%) en comparación con los materiales estructurantes. La incorporación de microorganismos eficientes en volúmenes variables, junto con proporciones más bajas de aserrín, responde a una lógica de preparación inicial orientada a la activación del proceso biológico. La cama 2 destaca por su alta concentración de Microorganismos Eficientes (20.2%), lo cual puede favorecer a una mayor eficiencia de degradación. Este patrón se alinea con los hallazgos de Mahongnao et al. (2023), quienes observaron que una dosificación adecuada de microorganismos eficientes permite una mayor conversión de la materia orgánica sin necesidad de grandes volúmenes de estructurantes. La distribución estratégica de los insumos en estas camas sugiere un conocimiento técnico aplicado, orientado a optimizar la relación C/N y acelerar la madurez del compost. La distribución estratégica de los insumos en estas camas sugiere un conocimiento técnico aplicado, orientado a optimizar la relación C/N y acelerar la madurez del compost.

#### 4.1.3. Densidad de los residuos orgánicos

##### 4.1.3.1. Sin Microorganismos



Nota: SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3.

**Figura 9.** Densidad de los residuos orgánicos de las camas de compost sin microorganismos

La Figura 9 presentó la variación de la densidad de los residuos orgánicos domiciliarios durante el proceso de armado de tres camas de compost sin microorganismos en la Planta de

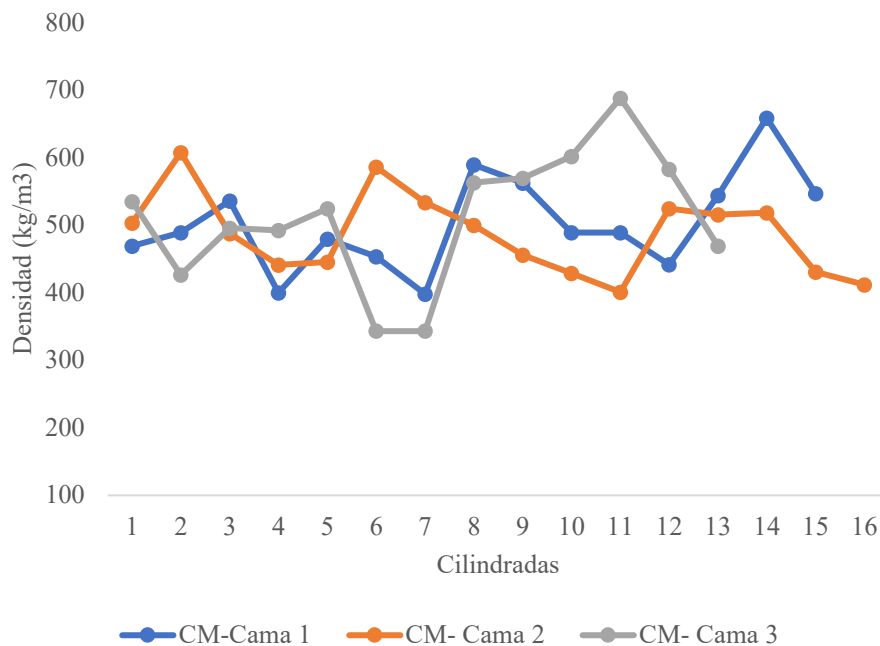
Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache. Estas mediciones se llevaron a cabo mediante el método del cilindro, evaluando la evolución de la densidad conforme se añadieron nuevas capas de residuos, referidas como cilindradas.

En las tres camas sin microorganismos se observó un incremento progresivo de la densidad durante las primeras cilindradas, alcanzando valores máximos cercanos a los 600 kg/m<sup>3</sup> entre la cuarta y la sexta. Este patrón indicó que, a medida que se acumuló mayor cantidad de residuos, el peso ejercido por las capas superiores favoreció una compactación natural del material dispuesto en los niveles inferiores. Sin embargo, a partir de la séptima cilindrada, la densidad disminuyó en todas las camas y se mantuvo relativamente estable en las mediciones finales. Esta tendencia pudo deberse a variaciones en la composición y humedad de los residuos ingresados o a una reducción en el ritmo y la regularidad del flujo de carga por parte del personal operativo (Aguirre Illatopa et al., 2024; Domínguez et al., 2022).

Desde una perspectiva metodológica, el comportamiento registrado evidenció diferencias importantes entre las camas respecto a la eficiencia del proceso de acondicionamiento. Por ejemplo, la Cama 1 presentó una mayor variabilidad en las primeras cilindradas, mientras que la Cama 3 mostró un patrón más estable hasta la sexta medición. Estas diferencias revelaron que no se siguió una estandarización precisa en la forma de carga, lo cual pudo haber afectado la uniformidad de la compactación. Tal como lo señalaron Español et al. (2022), una disposición adecuada de residuos debía mantener una relación balanceada entre compactación, aireación y humedad, incluso en las etapas previas al compost.

Aunque estas camas estuvieron destinadas a un tratamiento sin microorganismos eficientes, la fase representada en la figura correspondió exclusivamente al armado inicial. Por tanto, los resultados obtenidos reflejaron únicamente el efecto físico del peso acumulado y del flujo de ingreso de los residuos sólidos. En ese sentido, se consideró fundamental que la planta contara con un protocolo de acondicionamiento claro, especialmente en lo referido al número de cilindradas y a la proporción de estructurantes incorporados. Una preparación más homogénea podría haber asegurado mejores condiciones físicas para el futuro proceso de estabilización, particularmente en lo que respecta a la aireación natural y a la distribución de humedad en el interior de la masa (Flores Márquez y Sánchez Vega, 2023)

#### 4.1.3.2. Con Microorganismos



Nota: CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

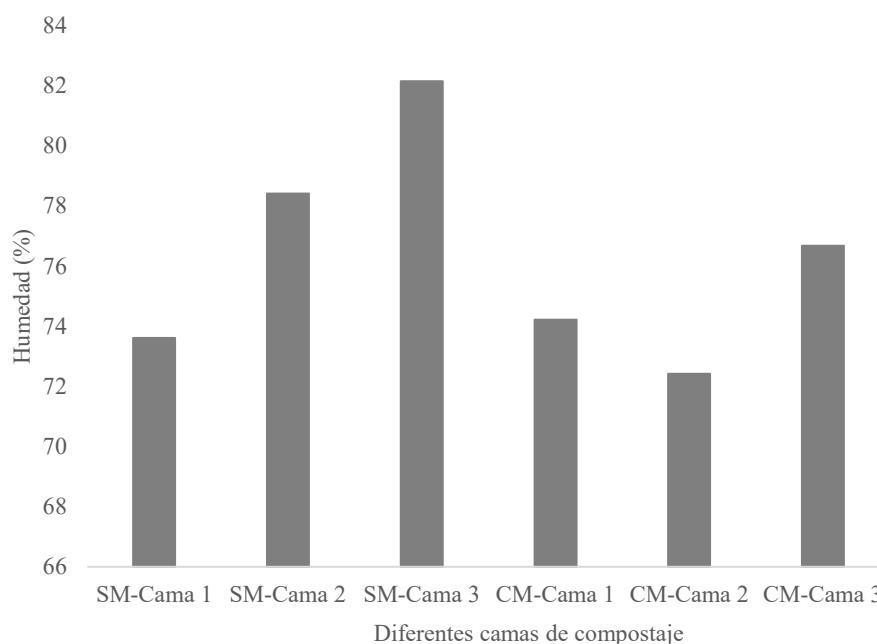
#### Figura 10. Densidad de los residuos orgánicos de las camas de compost con microorganismos

La Figura 10 presentó la evolución de la densidad de los residuos orgánicos en tres camas acondicionadas para compost con aplicación futura de microorganismos eficientes, durante el proceso de armado en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache. Las mediciones se realizaron mediante el método del cilindro, en cada una de las 16 cilindradas que conformaron el llenado progresivo de las camas. Esta información correspondió a la etapa previa a la inoculación microbiana, por lo que los resultados reflejaron únicamente el comportamiento físico del material durante su disposición inicial. A diferencia de las camas sin microorganismos, las camas CM se caracterizaron por una mayor cantidad de cilindradas, lo que permitió analizar con más detalle el patrón de densificación. Se registraron valores de densidad que oscilaron entre 350 y 700 kg/m<sup>3</sup>, con una distribución más dispersa y variable a lo largo del proceso. En la Cama 3, por ejemplo, se observó un incremento sostenido en la densidad entre la cilindrada 6 y la 11, alcanzando el valor más alto (700 kg/m<sup>3</sup>) en esta última. En contraste, la Cama 2 presentó una disminución progresiva a partir de la cilindrada 7, mientras que la Cama 1 mostró un comportamiento más irregular, con picos de densidad en las cilindradas 2, 8 y 15.

Desde un enfoque metodológico, esta variabilidad entre camas reveló que el proceso de acondicionamiento no se ejecutó de manera homogénea, lo cual evidenció debilidades en la estandarización del protocolo operativo. Tal como lo indicaron Aguirre Illatopa et al. (2024) y Domínguez et al. (2022), la falta de uniformidad en el flujo de carga, en la proporción de residuos húmedos y secos, así como en la aplicación de estructurantes, puede alterar la distribución interna del material y generar zonas con compactaciones dispares. Esta situación afecta directamente la eficiencia del compost posterior, especialmente si se pretende inocular microorganismos, los cuales requieren condiciones físicas controladas para una colonización efectiva. Cabe resaltar que, al tratarse de la fase inicial, la densidad observada fue producto del peso acumulado del material y de la forma en que se ejecutó el llenado de las camas, sin intervención de procesos biológicos activos. En este contexto, la cama 3 reflejó un acondicionamiento más progresivo y consistente, mientras que las otras dos camas presentaron mayores fluctuaciones, posiblemente relacionadas con variaciones en la calidad del residuo ingresado o en la frecuencia de carga. Españó et al. (2022) afirmaron que una adecuada preparación física mejora la eficiencia de la aireación y la retención de humedad, lo cual es determinante para el éxito del tratamiento biológico que se aplicará posteriormente.

Por ello, se consideró necesario que la planta de valorización ajustara su protocolo de armado, priorizando la regularidad del flujo de ingreso, el equilibrio en la mezcla de residuos y la incorporación controlada de materiales estructurantes. De esa forma, se habría garantizado una base física más homogénea para la aplicación eficiente de los microorganismos en la etapa de compost activo (Flores Márquez y Sánchez Vega, 2023).

#### 4.1.4. Humedad de los residuos sólidos orgánicos



Nota: SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

#### Figura 11. Humedad de los residuos sólidos orgánicos en las diferentes camas de estudio

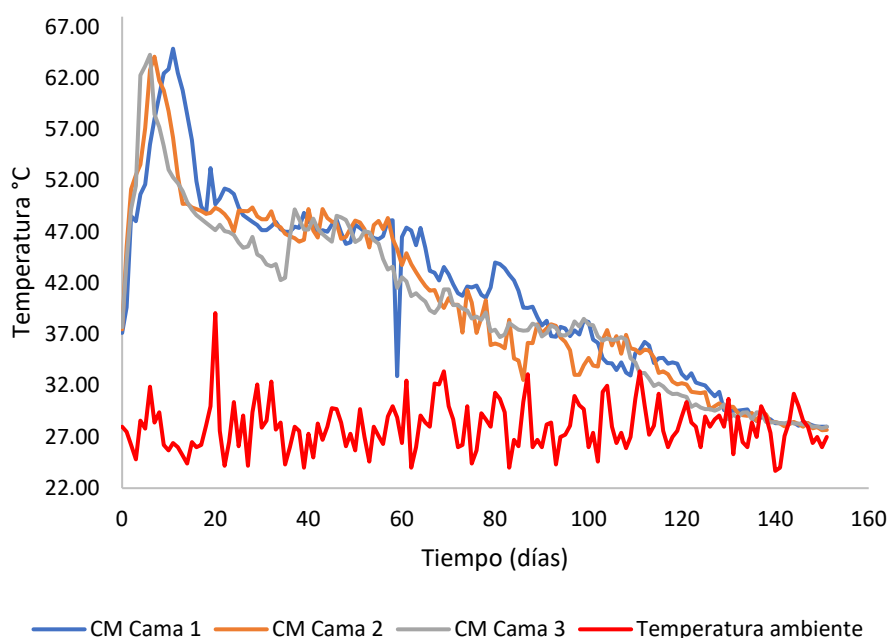
La Figura 11 mostró los valores de humedad de seis camas de compost al momento de su acondicionamiento inicial en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache. Las tres camas sin microorganismos registraron valores de 73.611 % (SM-Cama 1), 78.412 % (SM-Cama 2) y 82.149 % (SM-Cama 3). Las tres camas con microorganismos alcanzaron 74.216 % (CM-Cama 1), 72.414 % (CM-Cama 2) y 76.678 % (CM-Cama 3). Las camas sin microorganismos presentaron una humedad más elevada y dispersa. La Cama SM3 superó el 82 %, lo cual implicó un riesgo de saturación del sustrato. Este valor excedió el rango recomendado para compost eficiente, que se encuentra entre 50 % y 70 % (Aguirre Illatopa et al., 2024). Humedades excesivas disminuyeron la porosidad del material y limitaron la disponibilidad de oxígeno. Las camas con microorganismos mostraron valores más próximos entre sí, aunque la Cama CM2 registró el nivel más bajo (72.414 %), lo cual pudo haber afectado la actividad microbiana futura.

Las diferencias entre camas indicaron una falta de uniformidad en la mezcla de residuos húmedos y secos, así como en la dosificación de agua durante el armado. La Cama SM3 reflejó un exceso de residuos acuosos. La Cama CM2 evidenció un acondicionamiento deficiente en términos de humedad disponible. Domínguez et al. (2022) señalaron que una humedad

inadecuada puede limitar el desarrollo de los procesos biológicos al inicio del compost. El acondicionamiento no respondió a criterios estandarizados. No se aplicaron controles precisos de humedad en tiempo real. Esta variabilidad comprometió las condiciones iniciales del proceso. Se recomendó establecer un protocolo de verificación de humedad y una dosificación controlada de estructurantes para asegurar condiciones homogéneas entre camas (Flores Márquez y Sánchez Vega, 2023).

## 4.2. Determinación el tiempo de la estabilidad térmica, peso, volumen y actividad respiratoria del compost.

### 4.2.1. Estabilidad térmica del compost



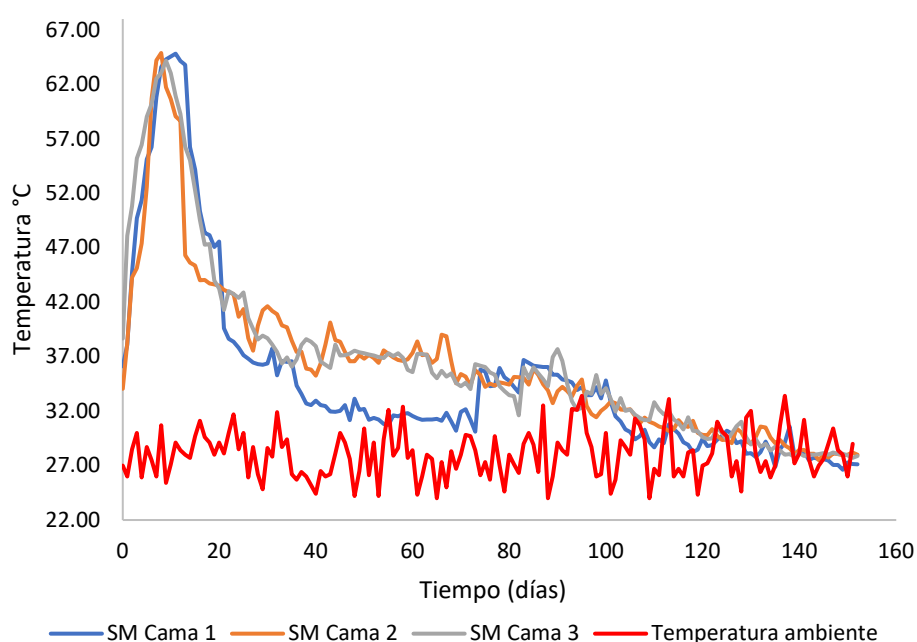
Nota: CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 12.** Comportamiento de la temperatura del compost con microorganismos.

La Figura 12 presentó la evolución térmica de tres camas con microorganismos eficientes (CM Cama 1, CM Cama 2 y CM Cama 3) durante 150 días, en comparación con la temperatura ambiente. A partir del análisis se identificaron las fases del compost según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021. Durante la fase mesófila inicial (días 0 a 2), las tres camas superaron los 45 °C debido a la actividad microbiana sobre compuestos fácilmente degradables. Desde el día 2 hasta el día 20, se desarrolló la fase termófila o de higienización, en la cual las temperaturas alcanzaron picos de 65.8 °C en CM1, 65.6 °C en CM2 y 61.2 °C en CM3. Este rango térmico favoreció la descomposición de compuestos complejos como celulosa

y lignina, y aseguró la eliminación de patógenos, huevos de helmintos y semillas viables, tal como lo estableció la NTP 201.208:2021 y lo indicaron Mejía et al. (2022) y Ahmed et al. (2022).

Posteriormente, desde el día 20 hasta aproximadamente el día 80, se observó un descenso gradual de la temperatura, correspondiente a la fase de enfriamiento, con valores entre 35 °C y 45 °C. La Cama CM3 mostró una transición más temprana a esta fase, mientras que las camas CM1 y CM2 mantuvieron temperaturas elevadas por más tiempo, probablemente por una mayor carga orgánica. La fase de maduración se inició a partir del día 80. En esta etapa, la temperatura se estabilizó en valores cercanos a la temperatura ambiente. La cama CM3 alcanzó dicha estabilización entre los días 82 y 90, mientras que CM1 y CM2 lo hicieron entre los días 95 y 105. Desde el día 110 hasta el día 150, las tres camas mantuvieron temperaturas entre 27 °C y 30 °C, similares a la temperatura ambiente, lo que indicó el cierre del proceso activo y el inicio de la humificación, como lo describieron Siles (2021) y Montes (2023). La tendencia térmica permitió confirmar que el proceso se desarrolló adecuadamente. Las diferencias entre camas fueron mínimas y reflejaron variaciones en la dinámica de degradación donde el uso de microorganismos aceleró la fase inicial, garantizó la higienización y permitió una maduración rápida del compost.



Nota: SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3.

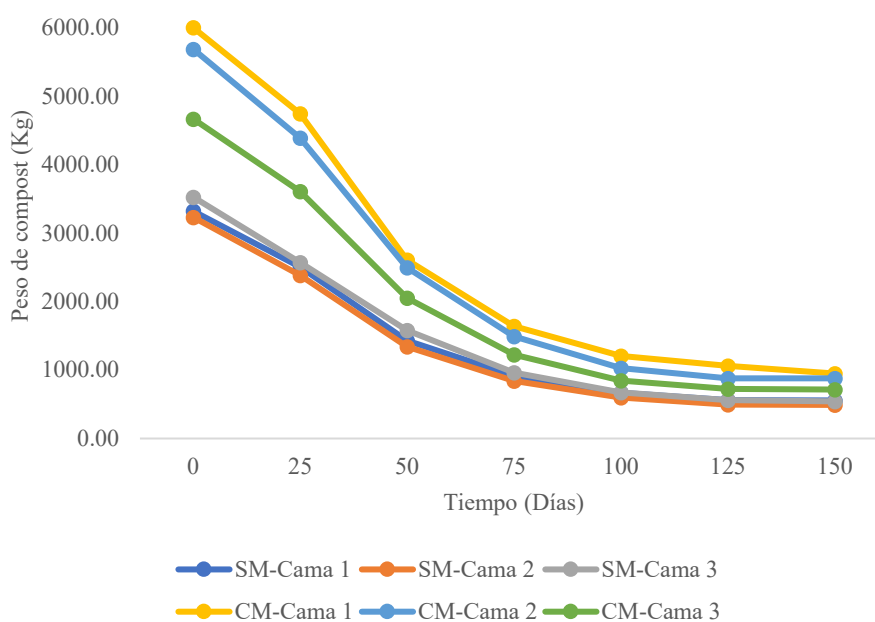
**Figura 13.** Comportamiento de la temperatura del compost sin microorganismos.

La Figura 13 presentó la evolución térmica de tres camas sin microorganismos eficientes (SM Cama 1, SM Cama 2 y SM Cama 3) durante 150 días, en comparación con la temperatura ambiente. A partir del análisis se identificaron las fases del compost según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021. Durante la fase mesófila inicial (días 0 a 2), las tres camas superaron los 45 °C debido a la actividad microbiana sobre compuestos fácilmente degradables. Desde el día 2 hasta el día 15, se desarrolló la fase termófila o de higienización, en la cual las temperaturas alcanzaron picos de 65.7 °C en SM1, 64.8 °C en SM2 y 64.1 °C en SM3. Este rango térmico favoreció la descomposición de compuestos complejos como celulosa y lignina, y aseguró la eliminación de patógenos, huevos de helmintos y semillas viables, tal como lo estableció la NTP 201.208:2021 y lo indicaron Mejía et al. (2022) y Ahmed et al. (2022).

Posteriormente, desde el día 15 hasta aproximadamente el día 70, se observó un descenso gradual de la temperatura, correspondiente a la fase de enfriamiento, con valores entre 35 °C y 40 °C. Las tres camas presentaron una disminución más rápida en comparación con las camas tratadas con microorganismos. La Cama SM3 mostró un enfriamiento ligeramente más prolongado, mientras que SM1 y SM2 alcanzaron valores intermedios de forma anticipada. La fase de maduración se inició a partir del día 70. En esta etapa, la temperatura se estabilizó en valores cercanos a la temperatura ambiente. La cama SM3 alcanzó dicha estabilización entre los días 80 y 90, mientras que SM1 y SM2 lo hicieron entre los días 90 y 100. Desde el día 105 hasta el día 150, las tres camas mantuvieron temperaturas entre 27 °C y 30 °C, similares a la temperatura ambiente, lo que indicó el cierre del proceso activo y el inicio de la humificación, como lo describieron Siles (2021) y Rivasplata (2023). Al comparar las curvas térmicas de las camas con y sin microorganismos, se observó que las camas tratadas con microorganismos eficientes mantuvieron temperaturas elevadas durante un periodo más prolongado, alcanzaron su estabilización térmica más tarde y presentaron una degradación más sostenida. En cambio, las camas sin microorganismos mostraron una fase termófila más corta y una estabilización temprana, lo que indicó una menor actividad biológica. Estas diferencias reflejaron la influencia positiva de los microorganismos eficientes en la higienización, mineralización y maduración del compost.

## 4.2.2. Estabilidad del peso y volumen del compost

### 4.2.2.1. Peso de las camas sin microorganismos



Nota: SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 14.** Estabilización del peso en las camas de compost.

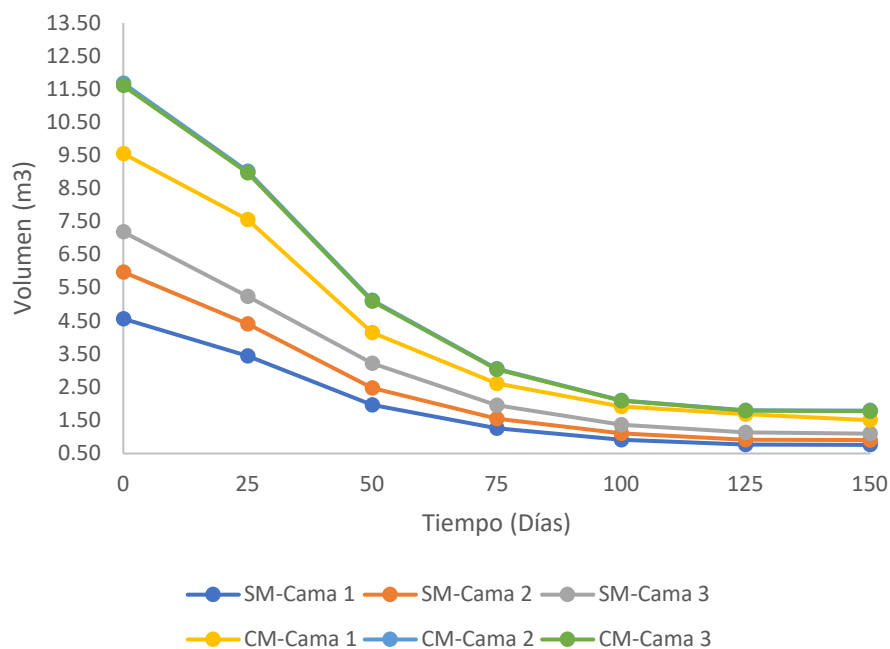
La Figura 14 presentó la evolución del peso del compost en seis camas (tres con microorganismos eficientes y tres sin ellos) a lo largo de 150 días. Al inicio del proceso, el peso del material varió entre 3,200 y 6,000 kg, y se redujo de manera progresiva en todas las camas hasta alcanzar valores de estabilización entre 489 y 580 kg al finalizar el proceso. Durante las primeras 40 días, las camas tratadas con microorganismos (CM1, CM2 y CM3) mostraron una reducción más rápida y pronunciada del peso, en comparación con las camas sin microorganismos (SM1, SM2 y SM3), las cuales reflejaron una pérdida más gradual. Las curvas correspondientes a las camas CM evidenciaron un descenso constante desde el inicio, mientras que las camas SM mostraron una pendiente más atenuada durante las primeras mediciones.

Las camas con microorganismos alcanzaron la estabilización del peso entre los días 100 y 110. En cambio, las camas sin microorganismos estabilizaron su peso entre los 120 y 130 días. Esta diferencia temporal reflejó una mayor eficiencia en la transformación de la biomasa en las camas tratadas con microorganismos. Entre las camas con microorganismos, la Cama CM1 inició con el mayor peso (más de 6,000 kg) y presentó la caída más pronunciada, estabilizándose en aproximadamente 570 kg. CM2 y CM3, con pesos iniciales menores,

mostraron un patrón similar, pero con pendientes más moderadas. En las camas sin microorganismos, los pesos iniciales fueron más homogéneos (alrededor de 3,200 a 3,600 kg), y la pérdida de masa ocurrió a un ritmo más constante. SM2 fue la que presentó la menor variación relativa, lo que podría deberse a una composición más estable del residuo o menor actividad microbiana espontánea.

Según Ahmed et al. (2022), la inoculación con microorganismos eficientes intensifica la actividad microbiana, acelerando la degradación de compuestos orgánicos. Siles (2021) afirmó que una pérdida de masa sustancial en las primeras etapas del compost indica una mayor mineralización de compuestos volátiles. Mejía et al. (2022) destacaron que una reducción sostenida seguida de estabilización representa un indicador clave de madurez del compost. Los resultados evidenciaron que el uso de microorganismos eficientes no solo aceleró la pérdida de peso, sino que permitió alcanzar la estabilidad en menos mediciones. Las diferencias observadas entre camas confirmaron que, incluso dentro de un mismo tratamiento, influyen factores como el peso inicial, la composición de los residuos y la eficiencia de la mezcla y aireación. En conjunto, se favoreció la obtención de un compost más maduro y en menor tiempo, tal como lo respaldó Huamaní (2020).

#### 4.2.2.2. Volumen de la cama con microorganismos



Nota: SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 15.** Estabilización del Volumen en las camas de compost.

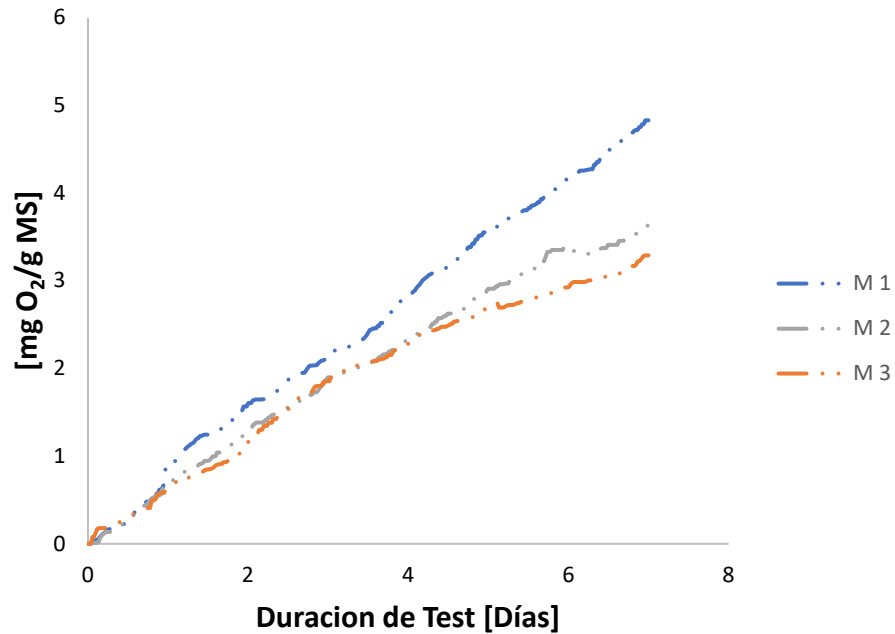
La Figura 15 presentó la evolución del volumen del compost en seis camas, tres con microorganismos eficientes y tres sin ellos, a lo largo de 150 días las camas con microorganismos (CM1, CM2 y CM3) iniciaron con volúmenes entre 10 y 12 m<sup>3</sup>, mientras que las camas sin microorganismos (SM1, SM2 y SM3) iniciaron entre 4.5 y 7.5 m<sup>3</sup>. En todas las camas se observó una reducción progresiva del volumen, pero con una mayor rapidez y profundidad en las camas de compost con microorganismos. Durante los 50 primeros días, las camas tratadas con microorganismos registraron una disminución más acelerada del volumen, lo cual reflejó una mayor tasa de degradación de la materia orgánica. Las curvas de las camas con microorganismos presentaron pendientes más pronunciadas y alcanzaron su estabilización entre los 100 y 110 días, con volúmenes finales entre 1.5 y 2.5 m<sup>3</sup>. En contraste, las camas SM redujeron su volumen a un ritmo más lento y alcanzaron la estabilización entre los 120 y 130 días, con valores finales ligeramente superiores a los observados en las camas con microorganismos.

Entre las camas con microorganismos, la cama 3 inició con el volumen más alto y mostró la reducción más constante. La cama 1, con un volumen inicial ligeramente menor, presentó una pérdida más acelerada en los primeros 75 días. La cama 2 se mantuvo con una pendiente intermedia. En el caso de las camas sin microorganismos, la cama 1 mostró la menor variación, mientras que las camas 2 y 3 que redujeron su volumen de forma más gradual, alcanzando estabilizaciones por encima de los 2.0 m<sup>3</sup>.

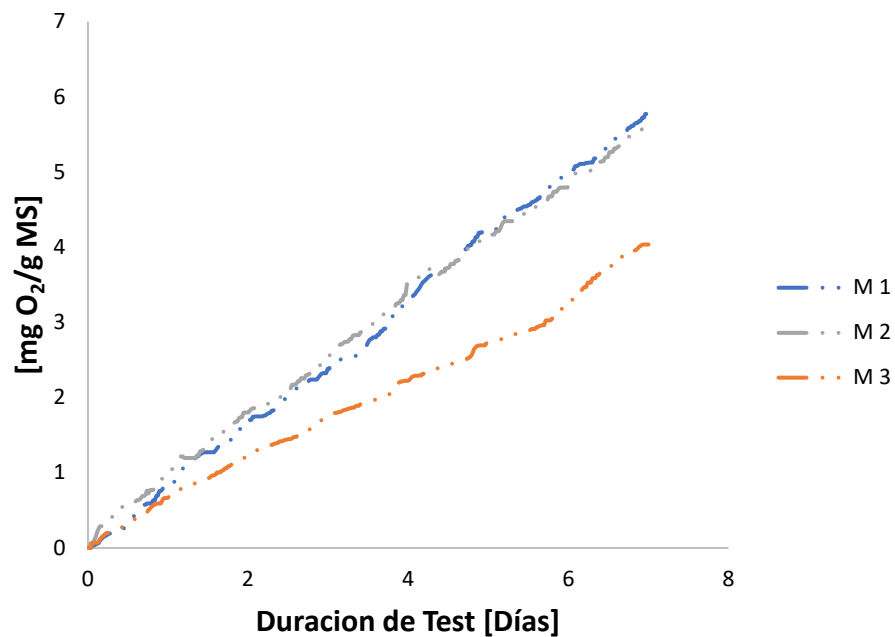
Santos et al. (2021) indicaron que la inoculación microbiana incrementa la actividad metabólica, lo que favorece la transformación de los residuos orgánicos. García González et al. (2023) concluyeron que una pérdida de volumen significativa en las primeras etapas del compost representa un indicador de mayor eficiencia del proceso. Torres Mendoza et al. (2022) señalaron que la falta de inoculación puede limitar la disponibilidad del sustrato y extender el tiempo de estabilización. Delgado et al. (2021) observaron que los compost con microorganismos eficientes presentaron una mayor pérdida de volumen y una mejor calidad estructural. Los resultados respaldan que el uso de microorganismos eficientes permitió una descomposición más efectiva de la biomasa, redujo el volumen final en menor tiempo y optimizó la eficiencia del proceso. Las diferencias entre camas evidenciaron el impacto de la inoculación y la influencia del volumen inicial en la dinámica de estabilización

### 4.2.3. Actividad respiratoria del compost

#### 4.2.3.1. Con microorganismos y sin microorganismos



**Figura 16.** Reactividad del compost sin microorganismos de la cama 1



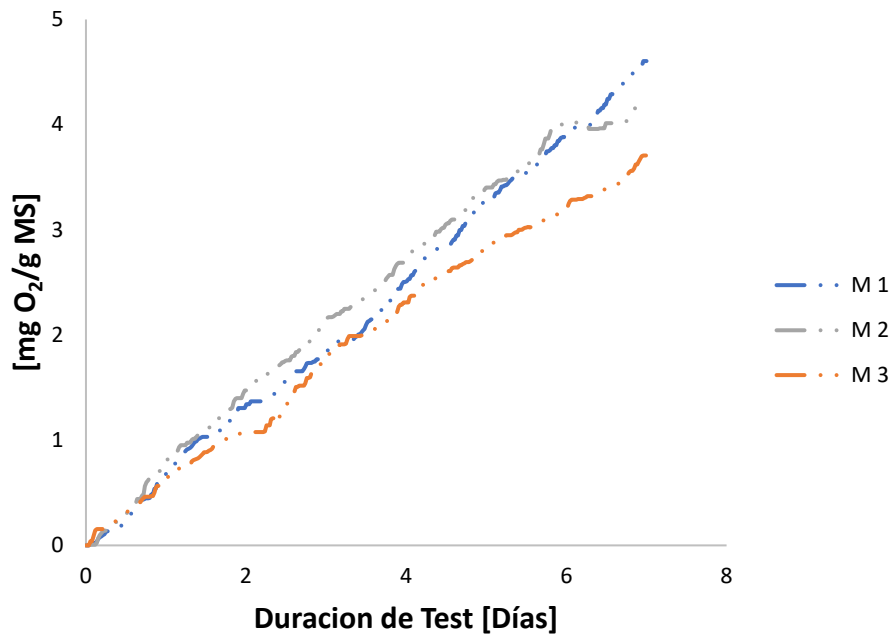
**Figura 17.** Reactividad del compost con microorganismos de la cama 1

La Figura 16 y la Figura 17 muestran la evolución de la actividad respiratoria del compost sin y con adición de microorganismos eficientes (EM) en la cama 1, evaluada mediante

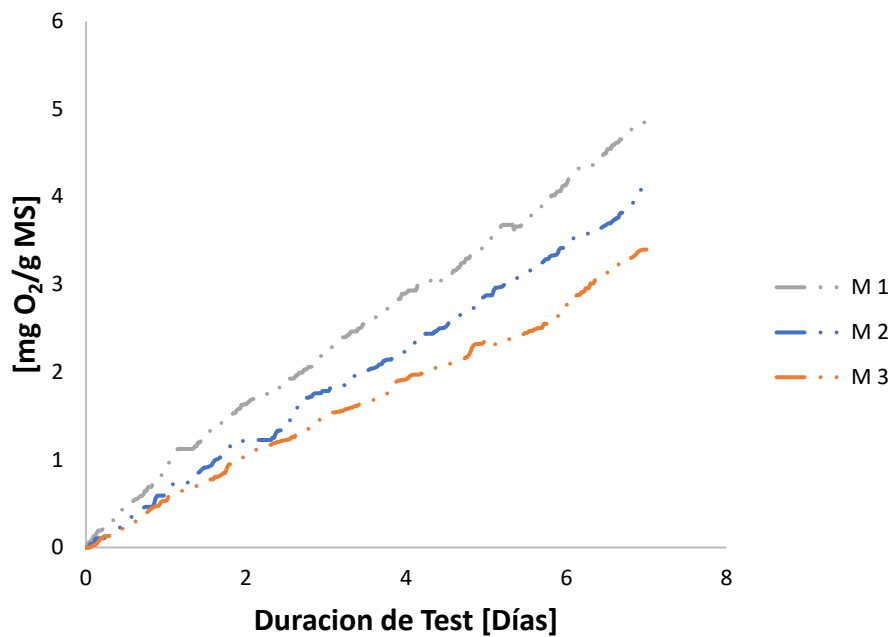
el método Oxitop durante un periodo de siete días. En ambos tratamientos se analizaron tres muestras correspondientes a los días 90, 120 y 150 del proceso de compost.

En el compost sin adición de microorganismos, la muestra del día 90 alcanzó una actividad respiratoria de 4.831 mg O<sub>2</sub>/g de materia seca, valor inferior al umbral de 7 mg O<sub>2</sub>/g MS establecido por la Norma Técnica Austriaca ÖNORM S 2206-1, lo cual indica una alta actividad microbiana y un proceso de descomposición aún activo (Mejía et al., 2022). A los 120 días, la actividad se redujo a 3.627 mg O<sub>2</sub>/g MS, situándose ya por debajo del límite técnico, lo que, según Siles (2021) y García González et al. (2023), representa un compost con estabilidad intermedia y actividad residual propia de la transición hacia la madurez. Finalmente, a los 150 días, el valor descendió a 3.288 mg O<sub>2</sub>/g MS, confirmando que el compost alcanzó una estabilización respiratoria adecuada, siendo técnicamente apto para su aplicación agrícola.

Por otro lado, el compost con adición de microorganismos eficientes presentó valores superiores en las fases iniciales del proceso. La muestra del día 90 registró 5.774 mg O<sub>2</sub>/g MS y la del día 120 alcanzó 5.603 mg O<sub>2</sub>/g MS, lo que reflejó una intensa actividad microbiana asociada a una fase activa de mineralización. Este comportamiento concuerda con Mejía et al. (2022), quienes señalan que valores mayores a 4 mg O<sub>2</sub>/g MS representan una descomposición en curso impulsada por una elevada biomasa microbiana. Al día 150, la actividad se redujo a 4.036 mg O<sub>2</sub>/g MS, valor mínimo al umbral técnico, pero que indicó un compost en fase avanzada de estabilización, aún dentro del rango permitido por la Norma Técnica Austriaca (máximo 7 mg O<sub>2</sub>/g MS). La comparación entre ambos tratamientos reveló que la adición de microorganismos eficientes incrementó la intensidad del proceso respiratorio en las etapas iniciales, promoviendo una degradación más acelerada de los compuestos orgánicos. Sin embargo, hacia el final del proceso, ambos tratamientos mostraron una tendencia decreciente en el consumo de oxígeno, reflejando una disminución de la biomasa microbiana activa y un avance hacia la madurez estructural del compost. Este patrón de reducción sostenida en la actividad respiratoria coincide con lo descrito por Siles (2021) y García González et al. (2023), quienes sostienen que la estabilización del compost puede verificarse por la disminución progresiva del consumo de oxígeno, indicador confiable de la finalización de los procesos biológicos intensos.



**Figura 18.** Reactividad del compost sin microorganismos de la cama 2



**Figura 19.** Reactividad del compost con microorganismos de la cama 2

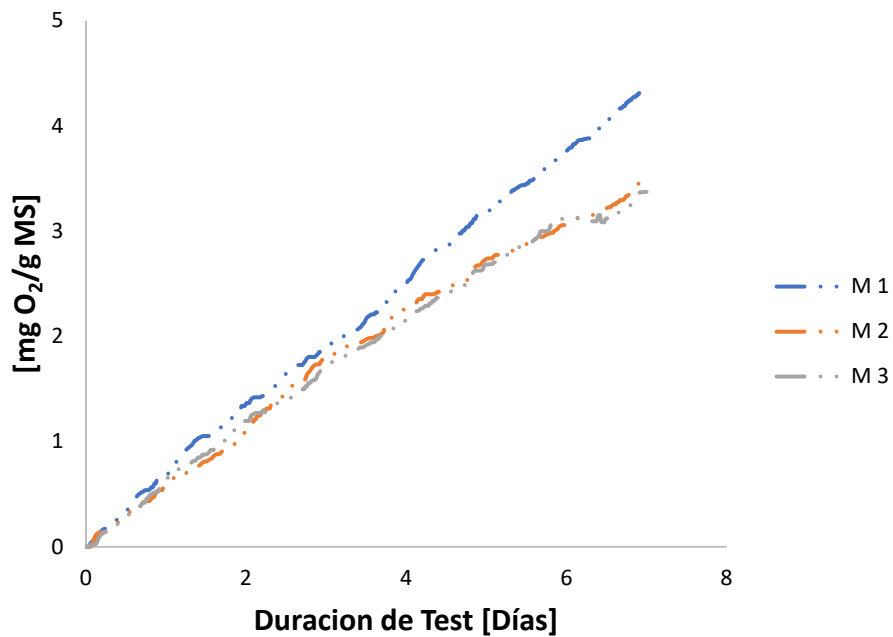
Las Figuras 18 y 19 muestran la evolución de la actividad respiratoria del compost sin y con adición de microorganismos eficientes (EM) en la cama 2, evaluada mediante el método Oxitop durante un periodo de siete días. En ambos tratamientos se analizaron tres muestras representativas tomadas a los 90, 120 y 150 días del proceso de compost.

En el compost sin adición de microorganismos, la muestra correspondiente al día 90 presentó una actividad respiratoria de 4.602 mg O<sub>2</sub>/g de materia seca, valor que no superó el umbral técnico de 7 mg O<sub>2</sub>/g establecido por la literatura científica, lo cual indicó una fase aún activa de descomposición biológica (Mejía et al., 2022). A los 120 días, la actividad respiratoria se redujo a 4.232 mg O<sub>2</sub>/g, permaneciendo levemente por encima del límite técnico, lo que evidenció una transición hacia la estabilización, aunque con presencia residual de biomasa activa. Finalmente, al día 150, el valor descendió a 3.705 mg O<sub>2</sub>/g, situándose por debajo del umbral de 7 mg O<sub>2</sub>/g y dentro del rango aceptable definido por la Norma Técnica Austriaca ÖNORM S 2206-1 ( $\leq 7$  mg O<sub>2</sub>/g), lo que confirmó la estabilización respiratoria del compost. Esta reducción progresiva reflejó una pérdida gradual de biomasa microbiana activa y una degradación sostenida de los compuestos orgánicos, coherente con lo reportado por Mejía et al. (2022) y Siles (2021). De este modo, se determinó que el compost sin microorganismos alcanzó una estabilidad técnica adecuada al día 150, cumpliendo con los criterios de madurez y seguridad para su uso en suelos agrícolas.

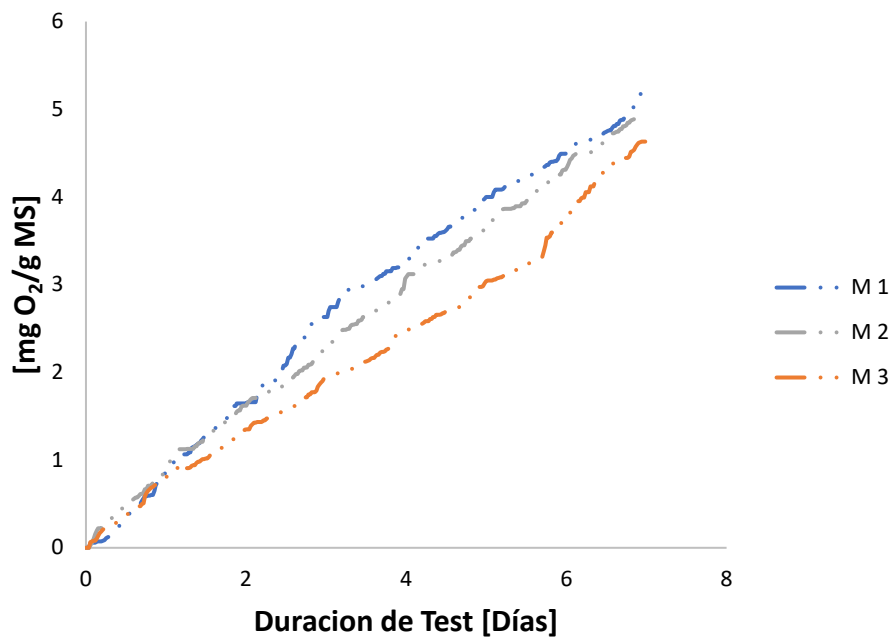
Por su parte, el compost con adición de microorganismos eficientes mostró valores de respiración ligeramente superiores en las primeras etapas del proceso. La muestra del día 90 alcanzó 4.860 mg O<sub>2</sub>/g, se mantuvo por debajo del máximo de 7 mg O<sub>2</sub>/g establecido por la norma técnica austríaca, lo que evidenció una mayor actividad microbiana inicial asociada a la descomposición acelerada de compuestos fácilmente degradables (Mejía et al., 2022). A los 120 días, la actividad respiratoria se redujo a 4.103 mg O<sub>2</sub>/g, lo que indicó una disminución sostenida de la actividad microbiana, aunque aún dentro de la fase de transición hacia la estabilidad, según lo descrito por García González et al. (2023) y Siles (2021). Finalmente, la muestra del día 150 presentó un valor de 3.390 mg O<sub>2</sub>/g, ubicado por debajo del umbral técnico, lo que confirmó que el compost inoculado alcanzó una estabilización respiratoria completa.

La comparación entre ambos tratamientos evidenció que el uso de microorganismos eficientes favoreció una mayor actividad respiratoria inicial, reflejo de un proceso biológico más dinámico en las primeras etapas, seguido por una reducción progresiva más uniforme hacia la madurez. Este comportamiento indicó que la inoculación microbiana promovió una mineralización más acelerada y homogénea de los compuestos orgánicos, acortando el tiempo requerido para alcanzar la estabilidad técnica del compost. En ambos casos, los valores finales observados al día 150 se encontraron por debajo de 4 mg O<sub>2</sub>/g, confirmando que tanto el

compost inoculado como el no inoculado lograron niveles adecuados de madurez biológica y estabilidad para su aplicación agrícola segura.



**Figura 20.** Reactividad del compost sin microorganismos de la cama 3



**Figura 21.** Reactividad del compost con microorganismos de la cama 3

Las Figuras 20 y 21 muestran la evolución de la actividad respiratoria del compost sin y con adición de microorganismos eficientes (EM) en la cama 3, evaluada mediante el método

Oxitop durante un periodo de siete días. En ambos tratamientos se analizaron tres muestras representativas tomadas a los 90, 120 y 150 días del proceso de compost.

En el compost sin adición de microorganismos, la muestra correspondiente al día 90 registró una actividad respiratoria de 4.498 mg O<sub>2</sub>/g de materia seca, valor dentro del umbral de 7 mg O<sub>2</sub>/g definido por la literatura científica como límite según la Norma Técnica Austriaca ÖNORM S 2206-1. Este resultado evidenció una alta actividad microbiana residual y un proceso de descomposición todavía activo (Mejía et al., 2022). A los 120 días, la actividad respiratoria disminuyó a 3.401 mg O<sub>2</sub>/g, situándose por debajo del límite técnico, lo cual reflejó una fase de estabilización avanzada, en concordancia con lo descrito por Siles (2021) y García González et al. (2023). Finalmente, la muestra del día 150 presentó 3.374 mg O<sub>2</sub>/g, confirmando que el compost alcanzó una condición estable y segura para su aplicación agronómica. Esta tendencia descendente reflejó la reducción sostenida de la biomasa activa y la degradación progresiva de los compuestos orgánicos, características propias de materiales que se aproximan a su madurez estructural (Mejía et al., 2022).

En el compost con adición de microorganismos eficientes, los valores iniciales fueron superiores, evidenciando un proceso biológico más dinámico. La muestra del día 90 alcanzó 5.196 mg O<sub>2</sub>/g, mientras que la del día 120 registró 4.958 mg O<sub>2</sub>/g, ambos por debajo del valor de 7 mg O<sub>2</sub>/g, lo que indicó una fase activa de descomposición con una biomasa microbiana vigorosa favorecida por la inoculación. Estos valores reflejaron la abundancia de compuestos fácilmente degradables y una actividad microbiana sostenida (Mejía et al., 2022). Para el día 150, la actividad respiratoria disminuyó a 4.629 mg O<sub>2</sub>/g, mostrando una reducción constante, aunque aún ligeramente superior al umbral técnico. Este resultado sugirió que el compost inoculado se encontraba en una fase de preestabilización, con tendencia clara hacia la madurez, y se mantuvo dentro del rango aceptable definido por la norma austríaca ( $\leq 7$  mg O<sub>2</sub>/g). Según Siles (2021) y García González et al. (2023), esta disminución sostenida representa un indicador positivo del avance hacia la estabilización respiratoria, aunque el compost aún no habría alcanzado la madurez óptima.

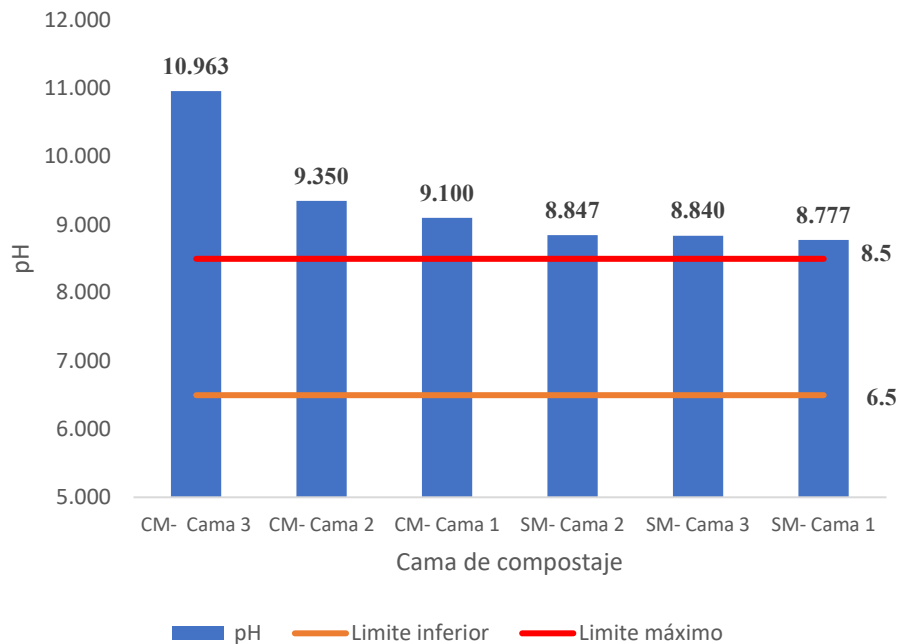
La comparación entre ambos tratamientos mostró que el compost con microorganismos eficientes mantuvo valores de respiración más elevados en las primeras etapas, lo que evidenció una mayor actividad microbiana y una degradación acelerada de la materia orgánica. En contraste, el compost sin microorganismos presentó una transición más rápida hacia la estabilización respiratoria, alcanzando antes los niveles considerados estables. Este

comportamiento sugiere que la inoculación microbiana, aunque promueve una descomposición más intensa, puede prolongar ligeramente la fase activa del proceso antes de alcanzar la estabilización final. En ambos casos, los resultados confirman la tendencia general observada en las tres camas: una reducción progresiva de la actividad respiratoria a lo largo del tiempo, señal del avance hacia la madurez biológica y la estabilidad técnica del compost.

### 4.3. Determinación de las propiedades física, química y biológica del compost.

#### 4.3.1. Propiedades fisicoquímicas

##### 4.3.1.1. pH



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 22.** pH obtenido de las camas de compost

La Figura 22 muestra la variación del pH en las diferentes camas de compost, con una tendencia descendente desde 10.963 en la CM-Cama 3 hasta 8.777 en la SM-Cama 1. Los valores iniciales se ubican por encima del límite máximo de referencia (8.5), mientras que los finales tienden a estabilizarse cerca del límite superior, sin llegar a estar fuera del rango permitido, cuyo límite inferior es 6.5. Esta reducción progresiva sugiere una evolución natural del compost, en la que el pH desciende a medida que se estabiliza la materia orgánica. Mejía et

al. (2022) indican que valores alcalinos superiores a 9.0 suelen observarse en etapas iniciales del proceso, debido a la intensa actividad microbiana y la liberación de amonio. Conforme avanza la descomposición, este amonio se transforma en nitratos, disminuyendo el pH y acercándolo a niveles más neutros. Según Anserona et al. (2019), este comportamiento es común en compost bien manejados y refleja un progreso hacia la madurez. Además, Gómez et al. (2021) afirman que estabilizar el pH en un rango cercano a 8 permite una mejor conservación de nutrientes sin riesgo de toxicidad por sales alcalinas. Por su parte, Oliveira et al. (2020) señalan que mantener un pH controlado es fundamental para la viabilidad del compost en su aplicación agrícola, especialmente en suelos con pH variable. En conjunto, estos resultados confirman que el descenso gradual del pH es indicativo de un compost en etapa avanzada de maduración, apto para su uso como enmienda orgánica segura.

**Tabla 6.** Análisis de Varianza del pH de las diferentes camas de compost.

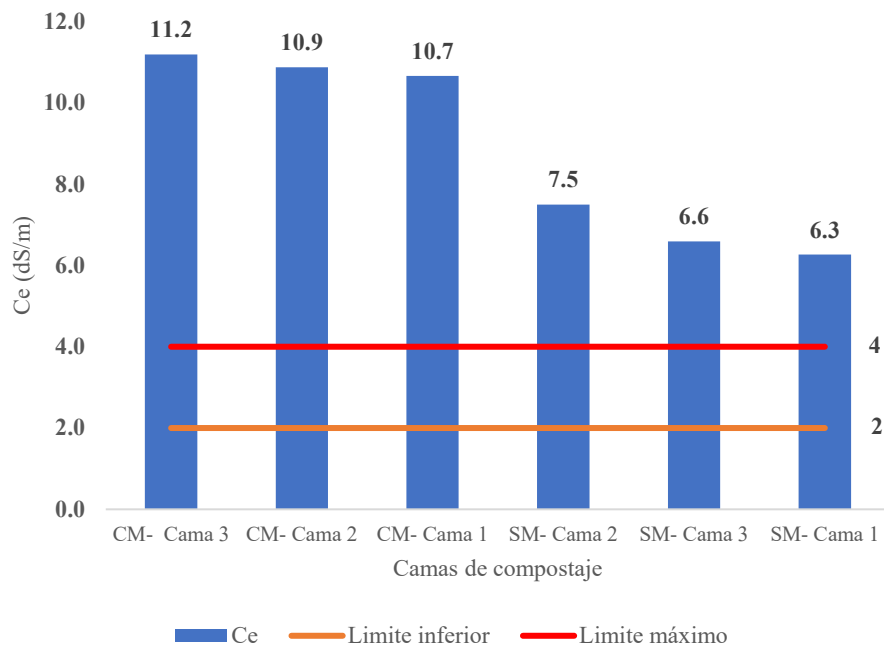
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	10.498	2.100	459.747	<b>&lt;0.0001</b>	<b>***</b>
Error	12.000	0.055	0.005			
Total corregido	17.000	10.552				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 6 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) del pH en diferentes camas de compost, donde se observa una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, con un valor de  $F = 459.747$  y un p-valor menor a 0.0001 (\*\*\*), lo que indica una alta significancia estadística. El modelo evaluado explica una variación relevante, con 5 grados de libertad, una suma de cuadrados de 10.498 y un cuadrado medio de 2.100, mientras que el error presentó 12 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 0.055 y un cuadrado medio de 0.005. Este resultado evidencia que las características fisicoquímicas del compost, específicamente el pH, se ven fuertemente influenciadas por el tipo de cama utilizada. Según Liu et al. (2021), los diferentes materiales orgánicos afectan la acidificación o alcalinización del sustrato durante el proceso de compost. Por su parte, Yuan et al. (2022) demostraron que la incorporación de residuos con alto contenido de carbono tiende a elevar el pH, mientras que aquellos ricos en nitrógeno pueden reducirlo inicialmente. De manera complementaria, Zhang et al. (2023) encontraron que la evolución del pH depende también del nivel de oxigenación y la tasa de mineralización de los residuos. Además, García Ruiz et al. (2024) afirman que el pH

regula la actividad enzimática de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica, mientras que Oliveira et al. (2020) destacan su influencia en la disponibilidad de macro y micronutrientes para las plantas. Así, estos hallazgos coinciden con lo señalado por Wang et al. (2022), quienes identifican al pH como un indicador clave para determinar la madurez del compost y su idoneidad para aplicaciones agrícolas.

#### 4.3.1.2. Conductividad eléctrica



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 23.** Conductividad eléctrica (dS/m) obtenido de las camas de compost.

En la Figura 23 se presenta la variación de la conductividad eléctrica (Ce) en las diferentes camas de compost, observándose una clara tendencia decreciente desde un valor inicial de 11.2 dS/m en la CM-Cama 3 hasta 6.3 dS/m en la SM-Cama 1, lo que evidencia un proceso progresivo de estabilización salina conforme avanza la maduración del compost. Estos valores superan consistentemente el límite máximo de 4 dS/m y el límite inferior de 2 dS/m, considerados como rangos de seguridad agronómica. Esta alta Ce en todas las muestras puede atribuirse a una acumulación inicial de sales solubles, producto de la descomposición de materiales orgánicos con elevada carga mineral, situación que concuerda con lo reportado por Bárbaro et al. (2019), quienes advierten que concentraciones elevadas de Ce pueden ocasionar estrés osmótico y reducir la absorción hídrica en cultivos sensibles. No obstante, la tendencia

descendente en el gráfico nos indica de una progresiva lixiviación de sales o de su inmovilización por complejación durante la humificación, lo cual refleja un avance favorable hacia la madurez del compost. En línea con Siles (2021), este comportamiento resalta la necesidad de monitorear la Ce especialmente cuando se trabaja con residuos frutales, dada su alta carga de solutos solubles. Estos hallazgos refuerzan la importancia de establecer protocolos de control para evitar la fitotoxicidad y asegurar un compost apto para uso agrícola, priorizando prácticas de manejo que reduzcan la salinidad inicial sin comprometer la calidad del producto final.

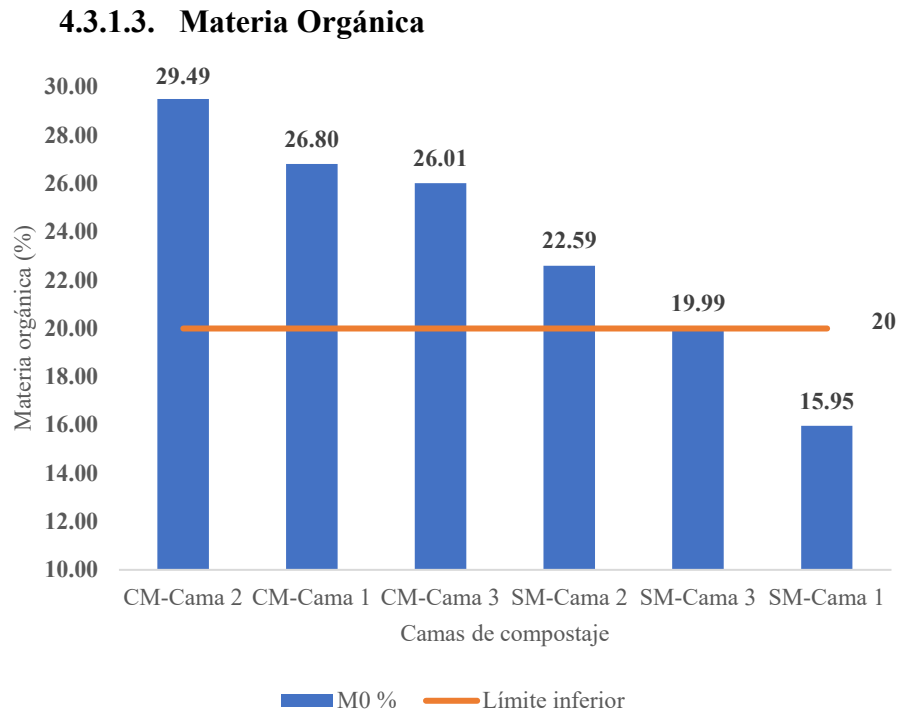
**Tabla 7.** Análisis de Varianza de la CE de las diferentes camas de compost.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	79.518	15.904	1884.568	<b>&lt;0.0001</b>	<b>***</b>
Error	12.000	0.101	0.008			
Total corregido	17.000	79.620				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 7 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) de la conductividad eléctrica (CE) en las diferentes camas de compost, observándose una variación altamente significativa con un valor de  $F = 1884.568$  y un p-valor menor a 0.0001 (\*\*\*) , lo que indica que las diferencias entre tratamientos no se deben al azar. El modelo cuenta con 5 grados de libertad, una suma de cuadrados de 79.518 y un cuadrado medio de 15.904, mientras que el error tiene 12 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 0.101 y un cuadrado medio de 0.008. El total corregido abarca 17 grados de libertad y una suma de cuadrados de 79.620, confirmando que el modelo explica significativamente la variabilidad de la Ce en el compost. Este resultado sugiere que el tipo de cama influye directamente en la concentración de sales solubles y la dinámica iónica del compost. Liu et al. (2021) sostienen que la conductividad eléctrica es un parámetro altamente sensible a la naturaleza química de los residuos utilizados en el proceso. Zhang et al. (2023) destacan que los residuos con alto contenido mineral o aportes de lixiviados aumentan significativamente la Ce durante las fases iniciales de compost. García Ruiz et al. (2024) advierten que una elevada (CE) puede afectar la capacidad de las raíces para absorber agua, generando condiciones de estrés osmótico perjudiciales para el desarrollo de las plantas. Chen et al. (2021) recomiendan controlar rigurosamente los insumos orgánicos y las condiciones de maduración para prevenir la acumulación de sales en el producto final. Yuan et

al. (2022) agregan que este control es especialmente importante en compost destinado a suelos sensibles o cultivos de alta demanda hídrica. Wang et al. (2022) subrayan que la Ce debe considerarse un indicador clave de estabilidad del compost, mientras que Oliveira et al. (2020) resaltan su relevancia en la evaluación de la calidad y seguridad del compost en contextos agroecológicos sostenibles.



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 24.** Materia orgánica (%) obtenido de las camas de compost.

En la Figura 24 muestra la variación porcentual de la materia orgánica (MO) en las distintas camas de compost, evidenciándose una tendencia descendente desde un valor máximo de 29.49 % en la CM-Cama 2 hasta un mínimo de 15.95 % en la SM-Cama 1. Todas las muestras superan inicialmente el límite inferior de referencia de 20 %, pero hacia las últimas camas evaluadas se observa un descenso por debajo de este umbral, lo cual sugiere una degradación progresiva de la materia orgánica conforme avanza el proceso de compost. Esta disminución es coherente con la mineralización de la fracción más lábil del material orgánico, común en fases avanzadas de estabilización, tal como señalan García Ruiz et al. (2024). Por su parte, Zhang et al. (2023) indican que esta pérdida es un indicador típico de compost en etapas finales de madurez. La diferencia entre camas puede atribuirse a la calidad de los residuos

utilizados, su relación C/N y la eficiencia microbiana en cada tipo de cama, lo que influye directamente en la velocidad de descomposición (Yuan et al., 2022). Chen et al. (2021) destacan que la actividad microbiana y la temperatura también aceleran la transformación de la materia orgánica. Además, un contenido final de MO por debajo del 20 % podría indicar una pérdida significativa de compuestos húmicos valiosos, afectando negativamente la estructura física del compost y su aporte como enmienda al suelo (Oliveira et al., 2020). Estos resultados refuerzan la importancia de monitorear la evolución de la materia orgánica no solo como indicador de madurez, sino también como parámetro clave en la evaluación de la calidad final del compost, garantizando así su eficiencia como mejorador del suelo (Wang et al., 2022). Siles (2021) también resalta la necesidad de ajustar la mezcla de residuos para evitar una pérdida excesiva de materia orgánica durante el proceso.

**Tabla 8.** Análisis de Varianza de la Materia orgánica de las diferentes camas de compost.

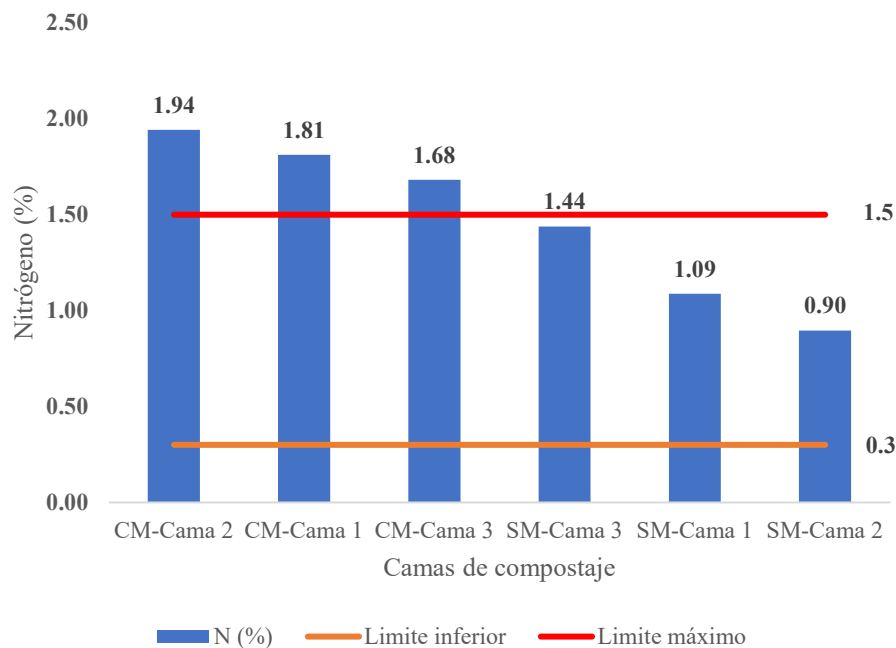
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	369.633	73.927	6.385	<b>0.004</b>	**
Error	12.000	138.947	11.579			
Total corregido	17.000	508.580				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 8 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los valores de materia orgánica en las diferentes camas de compost, observándose un efecto significativo del modelo con un valor F de 6.385 y un p-valor de 0.004 (\*\*), lo cual confirma que la variación observada entre tratamientos no es aleatoria. El modelo explicó una suma de cuadrados de 369.633, con un cuadrado medio de 73.927 en 5 grados de libertad, mientras que el error presentó 12 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 138.947 y un cuadrado medio de 11.579. El total corregido abarcó 17 grados de libertad y una suma de cuadrados de 508.580, lo que respalda que las diferencias en el contenido de materia orgánica están asociadas a la composición de las camas empleadas. Zhang et al. (2023) indican que el tipo y proporción de residuos utilizados afecta directamente la acumulación y estabilización de materia orgánica en el compost. García Ruiz et al. (2024) señalan que las mezclas con alta proporción de restos vegetales frescos tienden a favorecer mayores contenidos de MO en las primeras etapas. Chen et al. (2021) afirman que factores como la relación C/N inicial, la biodegradabilidad de los residuos y la tasa de descomposición influyen significativamente en la mineralización de la materia orgánica. Yuan et al. (2022) destacan que mantener niveles adecuados de MO mejora

la estabilidad estructural y la capacidad de retención de agua del compost. Por su parte, Oliveira et al. (2020) subrayan que el contenido de MO también está vinculado al impacto positivo del compost en suelos agrícolas con baja fertilidad. En conjunto, los resultados obtenidos en este estudio evidencian la necesidad de seleccionar adecuadamente los insumos orgánicos y monitorear este parámetro como un indicador clave de madurez y valor agronómico del compost.

#### 4.3.1.4. Nitrógeno



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 25.** Nitrógeno (%) obtenido de las camas de compost.

La Figura 25 muestra la variación del contenido de nitrógeno (%) en las diferentes camas de compost, con valores que oscilan entre 1.85 % en la CM-Cama 3 y 1.21 % en la SM-Cama 1, evidenciando una tendencia decreciente conforme avanza el proceso de compost. Aunque todas las muestras se mantienen por encima del límite inferior de 1 % establecido como referencia para compost de calidad, se observa una pérdida gradual de nitrógeno atribuible al proceso de mineralización y a posibles pérdidas por volatilización de amoníaco, especialmente en ambientes con alta temperatura o mal manejo de la relación C/N (Yuan et al., 2022). Chen et al. (2021) coinciden en que una relación C/N desequilibrada puede acelerar la pérdida de nitrógeno por volatilización. Este comportamiento es consistente con estudios recientes que

señalan que la disponibilidad de nitrógeno en el compost depende de la calidad de los residuos utilizados y del equilibrio microbiano durante la descomposición (García Ruiz et al., 2024). Por su parte, Zhang et al. (2023) afirman que una adecuada selección de residuos mejora la conservación del nitrógeno durante la estabilización del compost. A pesar de la disminución, los niveles finales siguen siendo adecuados para su uso en suelos agrícolas, aportando nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal (Oliveira et al., 2020). No obstante, una caída excesiva en este parámetro podría limitar la eficiencia agronómica del compost, por lo que es clave monitorear y ajustar el contenido de nitrógeno durante el proceso de elaboración, especialmente en mezclas con residuos pobres en proteínas o altamente lignificados (Wang et al., 2022). Siles (2021) también enfatiza que la aireación y el manejo térmico son factores clave para conservar el nitrógeno en compost de residuos orgánicos.

Las camas sin microorganismos, que iniciaron con menor volumen y peso, lograron estabilizar su actividad respiratoria al día 150 con valores por debajo de 4 mg O<sub>2</sub>/g (camas 1: 3.2884; 2: 3.397; 3: 3.374), cumpliendo tanto con la norma técnica austríaca (< 7 mg O<sub>2</sub>/g) como con los criterios científicos de estabilidad respiratoria (< 4 mg O<sub>2</sub>/g) (Siles, 2021; Mejía et al., 2022). En contraste, las camas con microorganismos, con volúmenes iniciales superiores a 10 m<sup>3</sup>, mostraron una respiración más intensa en las primeras fases. Sin embargo, al día 150, solo la cama 2 (3.397 mg O<sub>2</sub>/g) cumplió con el umbral científico. Las camas 1 (4.036) y 3 (4.629) no lograron estabilizar completamente su respiración, aunque se mantuvieron dentro del rango permitido por la norma austríaca (García González et al., 2023). Este comportamiento reflejó que, aunque los microorganismos eficientes aceleraron la degradación inicial, el mayor volumen de carga y la densidad del material manejado en la planta de valorización influyeron negativamente en la aireación y homogeneidad, afectando la eficiencia del proceso (Torres Mendoza et al., 2022; Delgado et al., 2021).

**Tabla 9.** Análisis de Varianza de Nitrógeno de las diferentes camas de compost.

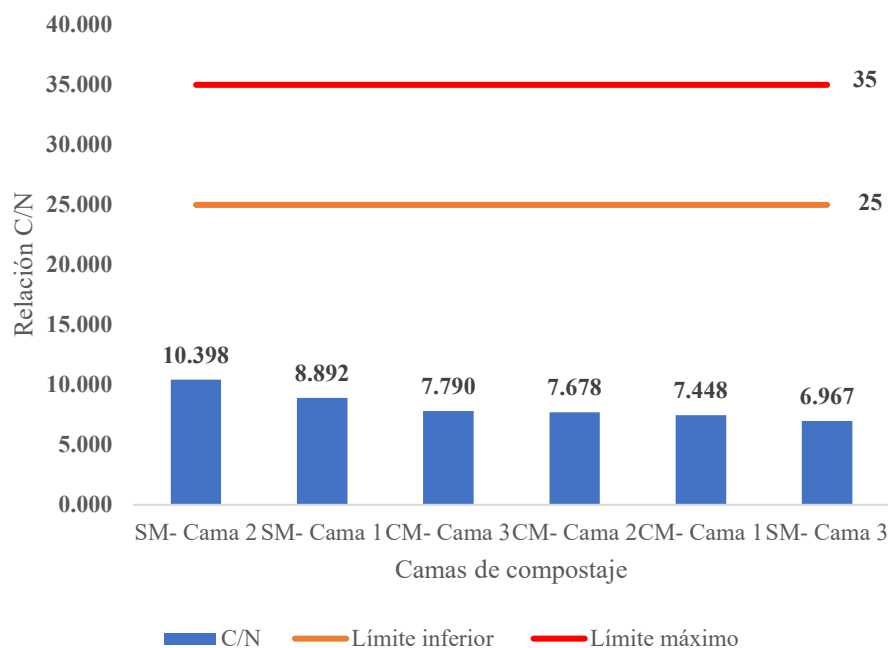
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	2.580	0.516	34.904	<b>&lt;0.0001</b>	<b>***</b>
Error	12.000	0.177	0.015			
Total corregido	17.000	2.757				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) del contenido de nitrógeno en las diferentes camas de compost, mostrando una diferencia altamente significativa entre un

p-valor < 0.0001 (\*\*\*) , lo cual indica que el modelo tiene un efecto real sobre la variabilidad. El modelo, con 5 grados de libertad, explicó una suma de cuadrados de 2.580 y un cuadrado medio de 0.516, mientras que el error, con 12 grados de libertad, presentó una suma de cuadrados de 0.177 y un cuadrado medio de 0.015, lo cual confirma la robustez del modelo al explicar la mayor parte de la variación en el contenido de nitrógeno. Este hallazgo es coherente con estudios recientes que destacan que la composición de las camas de compost influye directamente en el ciclo del nitrógeno, dado que diferentes residuos presentan distintos niveles de proteínas y compuestos nitrogenados (García Ruiz et al., 2024). Por su parte, Yuan et al. (2022) señalan que la calidad de los residuos utilizados puede afectar significativamente la disponibilidad de nitrógeno. Además, el nitrógeno es uno de los elementos esenciales para la nutrición vegetal, y su concentración en el compost determina en gran medida su calidad agronómica (Zhang et al., 2023). Chen et al. (2021) han señalado que un adecuado contenido de nitrógeno en compost bien estabilizado no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también incrementa la eficiencia del uso de nutrientes por las plantas. Por ello, estos resultados resaltan la importancia de formular camas con residuos balanceados en términos de contenido nitrogenado, así como de monitorear este parámetro durante todo el proceso de compost (Oliveira et al., 2020; Wang et al., 2022).

#### 4.3.1.5. Relación Carbono/Nitrógeno



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 26.** Relación C/N obtenido de las camas de compost.

En la Figura 26 muestra la variación de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en diferentes camas de compost, comparando aquellas tratadas con microorganismos eficientes (CM) y sin ellos (SM). La línea azul representa los valores de C/N, que presentan una tendencia descendente desde 10.398 en SM-Cama 2 hasta 6.967 en SM-Cama 3, lo cual evidencia una reducción progresiva de esta relación a medida que avanza el proceso de compostaje. En contraste, las líneas de referencia naranja para el límite inferior (25) y roja para el límite superior (35) se mantienen constantes, indicando que todas las camas evaluadas se encuentran por debajo de los niveles considerados críticos. Esta disminución refleja una mayor descomposición de la materia orgánica rica en carbono y una retención adecuada del nitrógeno, lo cual favorece la madurez del compost. De acuerdo con la FAO (2020), una relación C/N entre 10 y 15 es indicativa de un compost estabilizado y seguro para su aplicación agrícola. En este estudio, las camas con microorganismos eficientes alcanzaron valores particularmente bajos, sugiriendo una mejora en la eficiencia de degradación. Montes (2023) afirma que la relación C/N es uno de los principales indicadores de madurez compostable, y que su reducción por debajo de 15 garantiza un producto final con baja fitotoxicidad y buena capacidad de aporte nutricional. En este sentido, los resultados obtenidos reafirman la calidad del compost generado y la efectividad del tratamiento con microorganismos como herramienta para optimizar el proceso de estabilización.

**Tabla 10.** Análisis de varianza de relación C/N de las diferentes camas de compost.

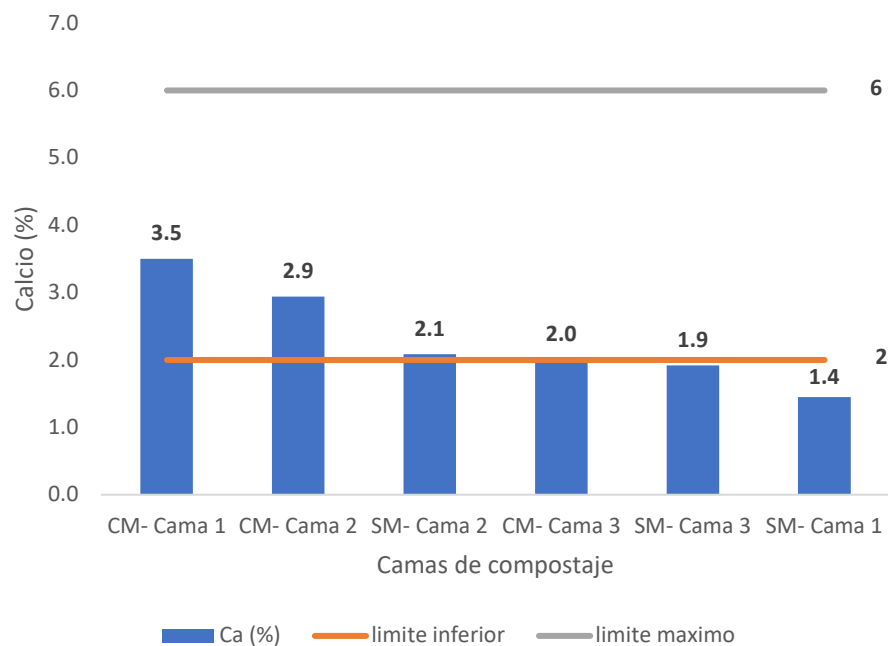
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	23.510	4.702	3.251	0.044	*
Error	12.000	17.355	1.446			
Total corregido	17.000	40.865				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

La Tabla 10 presenta el análisis de varianza (ANOVA) de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en las diferentes camas de compost. Se observó una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, con un valor de  $F = 3.251$  y un  $p\text{-valor} = 0.044$

(\*), lo que indica que el modelo tiene un efecto real, aunque de menor magnitud en comparación con otras variables evaluadas. El modelo, con 5 grados de libertad, explicó una suma de cuadrados de 23.510 y un cuadrado medio de 4.702, mientras que el error, con 12 grados de libertad, tuvo una suma de cuadrados de 17.355 y un cuadrado medio de 1.446. El total corregido alcanzó los 17 grados de libertad y una suma de cuadrados de 40.865. Estos resultados sugieren que la variabilidad en la relación C/N está influenciada por la composición de las camas, aunque con un nivel de significancia más moderado. García Ruiz et al. (2024) indican que la proporción C/N es un factor determinante en la velocidad de descomposición y en la eficiencia del proceso de compost. Por su parte, Yuan et al. (2022) destacan que una relación C/N inicial demasiado alta puede retrasar la actividad microbiana, mientras que una relación baja acelera la mineralización, pero favorece la pérdida de nitrógeno. Zhang et al. (2023) subrayan que mantener un equilibrio adecuado en esta relación favorece una humificación más estable. Además, Chen et al. (2021) señalan que la variabilidad de la relación C/N también puede estar influenciada por la aireación y la humedad durante el proceso. Estos hallazgos respaldan la necesidad de controlar esta relación como un parámetro clave para asegurar la eficiencia del compost y la calidad final del producto. En esa misma línea, Siles (2021) y Wang et al. (2022) coinciden en que una C/N bien regulada permite conservar nutrientes y evitar emisiones gaseosas perjudiciales.

#### 4.3.1.6. Calcio



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 27.** Calcio (%) obtenido de las camas de compost.

En la Figura 27 muestra la variación del contenido de calcio (%) en las diferentes camas de compost, observándose una tendencia descendente desde 3.5 % en la CM-Cama 1 hasta 1.4 % en la SM-Cama 1. La línea azul representa los valores medidos, mientras que las líneas naranja y gris indican los límites de referencia: un valor mínimo de 2 % y un máximo de 6 %. Se observa que las primeras camas con microorganismos (CM) superan el límite inferior, pero a medida que avanza el proceso compost —especialmente en las camas sin microorganismos (SM)—, los niveles de calcio descienden por debajo del umbral recomendado. Esta disminución puede estar relacionada con la solubilización y lixiviación de calcio durante la fase activa de descomposición, como sostienen Bhat et al. (2022), quienes reportan pérdidas significativas de cationes divalentes en composts mal aireados o con elevada humedad. Además, según Gómez et al. (2020), la naturaleza de los residuos y el tipo de bulking agent empleado pueden influir en la disponibilidad de calcio, debido a procesos de fijación o complejación química. Por otro lado, investigaciones de Santos et al. (2023) indican que el pH juega un rol fundamental en la retención del calcio en la matriz compostable, favoreciendo su estabilidad en ambientes ligeramente alcalinos. En contextos tropicales, estudios como el de Méndez et al. (2021) advierten que suelos tratados con compost pobre en calcio presentan menor respuesta en cultivos exigentes como tomate o maíz. Asimismo, la FAO (2020) recomienda monitorear este nutriente como parte del control de calidad en compost con fines agrícolas, especialmente en suelos ácidos. En este estudio, la tendencia descendente y los valores por debajo del mínimo en algunas camas sugieren la necesidad de reforzar la formulación con fuentes ricas en calcio, como restos de cáscaras, huesos o enmiendas minerales, para garantizar la calidad del producto final.

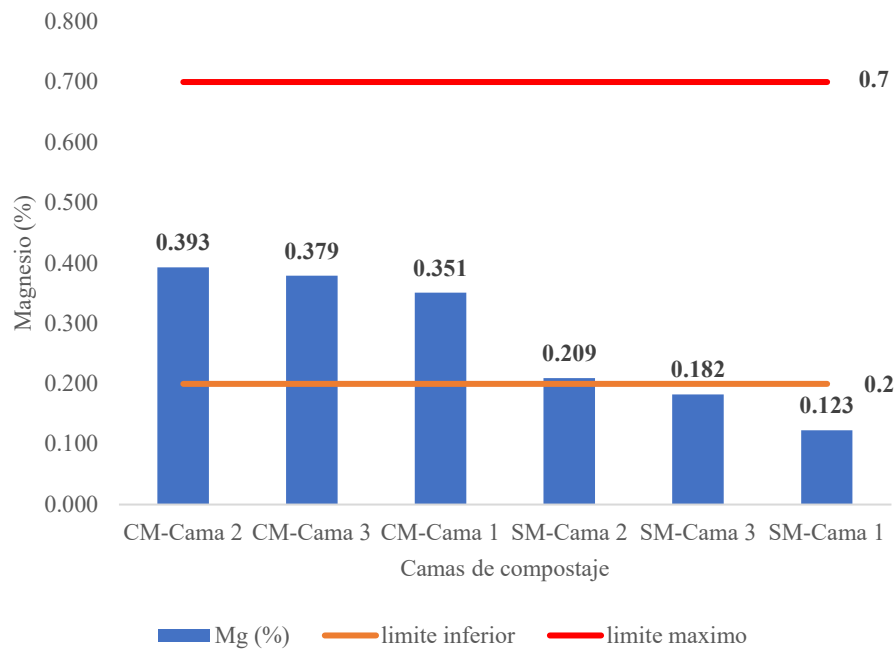
**Tabla 11.** Análisis de varianza de Calcio de las diferentes camas de compost.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	8.567	1.713	8.375	<b>0.001</b>	**
Error	12.000	2.455	0.205			
Total						
corregido	17.000	11.022				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 11 muestra el análisis de varianza (ANOVA) del contenido de calcio en las diferentes camas de compost, observándose una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos con un valor de  $F = 8.375$  y un p-valor de 0.001 (\*\*), lo que indica que el modelo explica una parte importante de la variabilidad observada. El modelo, con 5 grados de libertad, presentó una suma de cuadrados de 8.567 y un cuadrado medio de 1.713, mientras que el error, con 12 grados de libertad, tuvo una suma de cuadrados de 2.455 y un cuadrado medio de 0.205. El total corregido alcanzó una suma de cuadrados de 11.022, lo que refuerza la robustez del modelo para explicar la diferencia entre las camas de compost en cuanto al contenido de calcio. Este resultado evidencia que el tipo de cama influye directamente en la disponibilidad de este macronutriente, el cual cumple un rol fundamental en el fortalecimiento de paredes celulares, la neutralización de ácidos orgánicos y la mejora de la estructura del suelo. García Ruiz et al. (2024) destacan que la concentración de calcio en el compost puede variar según la naturaleza de los residuos orgánicos empleados, especialmente si incluyen cáscaras, huesos molidos o residuos vegetales ricos en minerales. Yuan et al. (2022) sostienen que el calcio también está relacionado con la capacidad de intercambio catiónico del compost, por lo que su presencia en niveles adecuados mejora la fertilidad del suelo tratado. Chen et al. (2021) subrayan que una buena retención de calcio durante el compost depende de factores como el pH, la humedad y la aireación. Por su parte, Oliveira et al. (2020) señalan que los niveles de calcio pueden actuar como indicadores indirectos de estabilidad y madurez compostable. Estos resultados respaldan la importancia de controlar este macronutriente como parte del monitoreo integral del proceso de compost y de la calidad final del producto.

#### 4.3.1.7. Magnesio



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 28.** Magnesio (%) obtenido de las camas de compost.

En la figura 28 se muestra la variación del contenido de magnesio (%) en las diferentes camas de compost, diferenciando aquellas con microorganismos (CM) y sin microorganismos (SM). La curva azul representa el contenido de magnesio, que presenta una tendencia descendente, con valores iniciales de 0.393% en CM-Cama 2, reduciéndose progresivamente hasta 0.123% en SM-Cama 1. En contraste, la línea naranja representa el límite inferior (0.2%), mientras que la línea roja indica el límite máximo (0.7%), ambos permaneciendo constantes a lo largo de todas las camas evaluadas. La reducción en el contenido de magnesio sugiere que este elemento podría estar siendo liberado o transformado durante el proceso de compost, con una mayor disminución en las camas sin microorganismos, lo que podría estar asociado a la actividad biológica y a la lixiviación de este nutriente en el compost.

Los niveles de magnesio también disminuyeron durante el compost, especialmente en las camas sin ME, donde se reportaron valores por debajo del límite inferior (0.2%). Esta reducción podría deberse a la solubilidad del Mg y su fácil arrastre por lixiviados (Siles, 2021). Las camas tratadas con ME retuvieron mejor este nutriente, lo cual concuerda con Damián (2018), quien señala que el uso de inoculantes puede mejorar la estabilidad de micronutrientes esenciales.

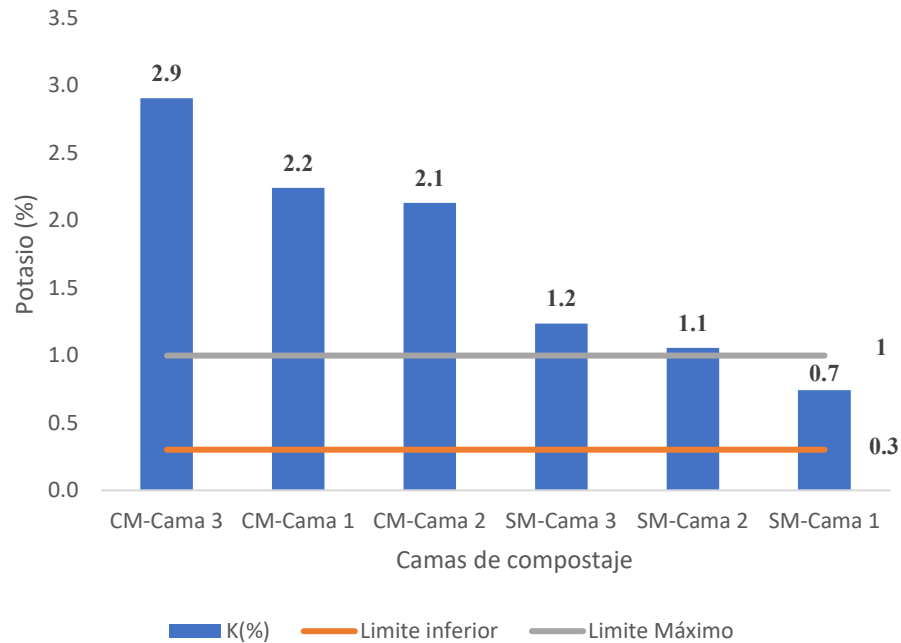
**Tabla 12.** Análisis de varianza de Magnesio de las diferentes camas de compost.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	0.199	0.040	8.478	<b>0.001</b>	<b>**</b>
Error	12.000	0.056	0.005			
Total corregido	17.000	0.256				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 12 presenta el análisis de varianza (ANOVA) del contenido de magnesio en las diferentes camas de compost, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con un valor de  $F = 8.478$  y un p-valor de 0.001 (\*\*), lo que confirma que el modelo tiene un efecto relevante en la variación del magnesio. El modelo, con 5 grados de libertad, explicó una suma de cuadrados de 0.199 y un cuadrado medio de 0.040, mientras que el error, con 12 grados de libertad, presentó una suma de cuadrados de 0.056 y un cuadrado medio de 0.005. El total corregido fue de 17 grados de libertad, con una suma total de cuadrados de 0.256, lo que refleja que la mayor parte de la variación observada se debe al tipo de cama utilizada. Este comportamiento sugiere que la presencia o ausencia de microorganismos eficientes, así como la composición de residuos orgánicos, influyen directamente en la disponibilidad de magnesio. Según Oliveira et al. (2020), el magnesio es esencial en compost maduro por su rol en la síntesis de clorofila y su influencia en la estructura coloidal del suelo. Además, Santos et al. (2023) sostienen que su retención está asociada a la capacidad de intercambio catiónico del compost, la cual depende del tipo de materia orgánica empleada. Bhat et al. (2022) indican que una aireación deficiente puede promover la pérdida de cationes bivalentes como el  $Mg^{2+}$  por lixiviación. De acuerdo con Méndez et al. (2021), la estabilización del magnesio es más eficiente en compost con pH ligeramente alcalino, condición que favorece su disponibilidad para las plantas. Asimismo, la FAO (2020) recomienda mantener niveles adecuados de este macronutriente en compost destinado a la recuperación de suelos degradados, debido a su importancia en la activación enzimática y absorción de fósforo. En conjunto, los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de controlar el magnesio como parámetro clave de calidad en compost y ajustar la formulación de las camas con residuos ricos en este nutriente, como cáscaras de frutas, restos verdes y subproductos agrícolas.

#### 4.3.1.8. Potasio



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 29.** Potasio (%) obtenido de las camas de compost.

El gráfico 29 se muestra la variación del contenido de potasio (%) en las distintas camas de compost, diferenciando entre aquellas con microorganismos (CM) y sin microorganismos (SM). Se observa una tendencia descendente en la curva azul, con un valor máximo de 2.9 % en CM-Cama 3 y un mínimo de 0.7 % en SM-Cama 1, mientras que las líneas de referencia (0.3 % y 1 %) permanecen constantes. Esta disminución progresiva sugiere pérdidas significativas de potasio, posiblemente por lixiviación o absorción durante el proceso. Según Huamanta (2020), el potasio es uno de los nutrientes más móviles en condiciones de alta humedad, lo que incrementa su pérdida en composts mal aireados. Ahmed et al. (2022) también indican que, en ausencia de actividad biológica intensa, la retención de potasio disminuye, especialmente cuando no se emplean materiales estructurantes que controlen la humedad. En este sentido, la mayor retención observada en camas con microorganismos eficientes sugiere una estructura más estable y un proceso de maduración más controlado, lo que favorece la conservación de nutrientes esenciales para la fertilidad del compost final.

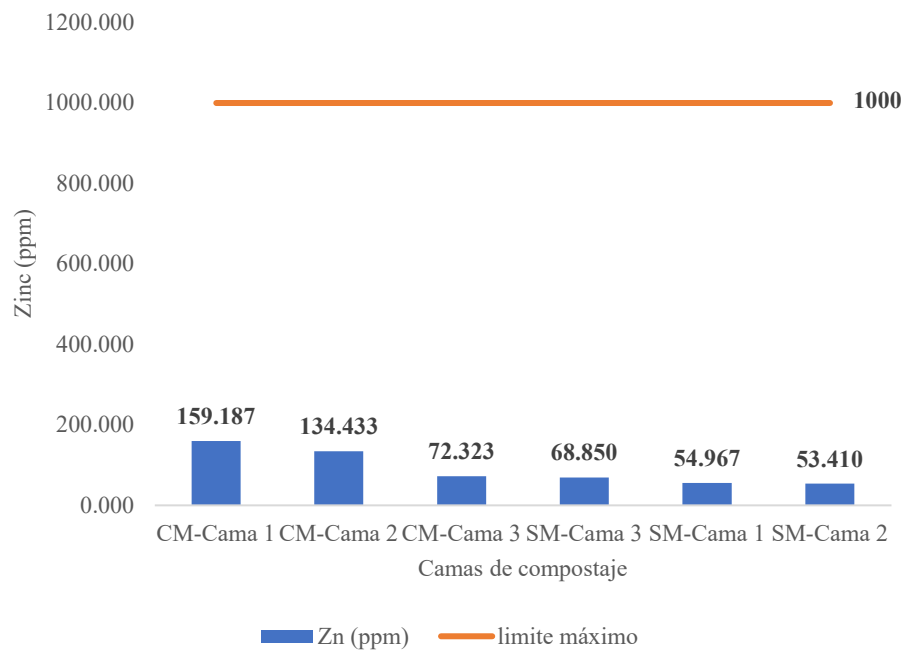
**Tabla 13.** Análisis de varianza del Potasio de las diferentes camas de compost.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	10.450	2.090	121.352	<b>&lt;0.0001</b>	<b>***</b>
Error	12.000	0.207	0.017			
Total corregido	17.000	10.657				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

La Tabla 13 presenta el análisis de varianza (ANOVA) del contenido de potasio en las diferentes camas de compost, donde se evidencia una diferencia altamente significativa entre tratamientos, con un valor F de 121.352 y un p-valor < 0.0001 (\*\*\*). El modelo, con 5 grados de libertad, explicó una suma de cuadrados de 10.450 y un cuadrado medio de 2.090, mientras que el error, con 12 grados de libertad, presentó una suma de cuadrados de 0.207 y un cuadrado medio de 0.017. El total corregido alcanzó una suma de cuadrados de 10.657, lo cual indica que el modelo explica prácticamente la totalidad de la variación observada. Esta marcada diferencia entre camas revela que el tipo de residuo orgánico y la presencia de microorganismos influyen de forma directa en la concentración de potasio disponible en el compost. Según Ferreira et al. (2022), el potasio es un macronutriente altamente móvil que puede lixivarse con facilidad si no hay un adecuado control de humedad. Por su parte, Santos et al. (2023) explican que los residuos vegetales ricos en savia, como cáscaras y hojas verdes, pueden incrementar el contenido de potasio en las fases iniciales del compost. Además, según Gómez et al. (2021), la retención de potasio mejora en compost con buena estructura física y capacidad de intercambio catiónico, ya que esto reduce su pérdida por escurrimiento. Méndez et al. (2020) también destacan que niveles elevados de potasio favorecen el desarrollo de raíces y aumentan la tolerancia al estrés hídrico en cultivos tratados con compost. La FAO (2020), recomienda mantener concentraciones de potasio en niveles adecuados para lograr un compost con buena capacidad fertilizante, especialmente en suelos pobres en nutrientes. Así, los resultados obtenidos confirman que el manejo del tipo de cama es clave para conservar el potasio y optimizar el valor agronómico del compost final.

#### 4.3.1.9. Zinc



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 30.** Zinc(ppm) obtenido de las camas de compost.

La Figura 30 presentó la concentración de zinc (Zn) en partes por millón (ppm) en cada una de las camas de compostaje, comparada con el límite máximo permitido de 1000 ppm. Se observó que todas las muestras estuvieron por debajo de dicho umbral, lo que indicó una concentración segura y compatible con el uso agrícola, según lo establecido por la FAO (2020).

Las camas tratadas con microorganismos y cobertura de manta mostraron los valores más altos de zinc, especialmente la cama 1 con 159.187 ppm y la cama 2 con 134.433 ppm. En contraste, las camas sin microorganismos presentaron concentraciones significativamente más bajas, siendo la cama 2 la que registró el menor valor con 53.410 ppm. Esta tendencia fue coherente con lo reportado por Yadav et al. (2020), quienes señalaron que los residuos orgánicos con menor exposición a la lixiviación y mayor retención de humedad pueden concentrar elementos traza metálicos como el zinc en mayor proporción. Asimismo, autores como Jiménez y García (2021) destacaron que el uso de mantas durante el proceso de compostaje reduce la pérdida de humedad y lixiviados, pero también puede favorecer la retención de micronutrientes metálicos, como zinc, cobre y hierro. Esto explicaría por qué las

camas cubiertas mantuvieron niveles más altos de zinc en comparación con aquellas sin cobertura.

La concentración de zinc disminuyó progresivamente desde las camas CM hacia las SM, lo cual sugiere que el tipo de tratamiento, la cobertura empleada y el flujo de lixiviados influenciaron directamente en la acumulación de este elemento. Estos valores se mantuvieron dentro de los rangos seguros para compost según lo establecido por la normativa internacional (FAO, 2013), por lo que no representan un riesgo para su uso como enmienda orgánica en suelos agrícolas.

**Tabla 14.** Análisis de varianza del Zinc de las diferentes camas de compost.

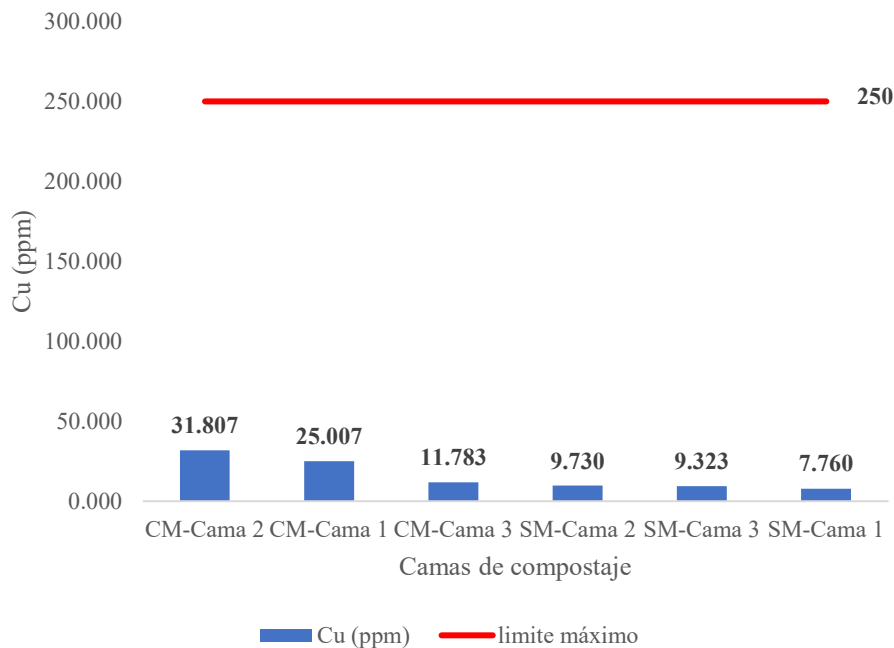
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	30256.172	6051.234	64.789	<0.0001	***
Error	12.000	1120.787	93.399			
Total corregido	17.000	31376.959				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

La Tabla 14 muestra el análisis de varianza (ANOVA) del contenido de zinc en las diferentes camas de compost, revelando una diferencia altamente significativa entre tratamientos, con un valor F de 64.789 y un p-valor < 0.0001 (\*\*\*), lo que indica que el modelo explica gran parte de la variabilidad observada. El modelo, con 5 grados de libertad, presentó una suma de cuadrados de 30,256.172 y un cuadrado medio de 6,051.234, mientras que el error, con 12 grados de libertad, mostró una suma de cuadrados de 1,120.787 y un cuadrado medio de 93.399. El total corregido alcanzó los 31,376.959 en suma de cuadrados, lo que evidencia que las diferencias en el contenido de zinc están directamente relacionadas con el tipo de cama empleada. Según Fernández et al. (2021), el zinc es un micronutriente esencial, pero puede alcanzar niveles fitotóxicos si se acumula en exceso, especialmente en compost elaborado con residuos urbanos o estiércoles concentrados. Oliveira et al. (2020) señalan que su disponibilidad depende de factores como el pH y la capacidad de retención del compost. Por otro lado, Gómez et al. (2022) destacan que los residuos vegetales tienden a liberar zinc de forma más gradual, reduciendo el riesgo de toxicidad. Bhat et al. (2023) advierten que la presencia de metales pesados como el zinc debe ser monitoreada con rigurosidad, especialmente cuando se trata de compost para uso agrícola. La FAO (2013) recomienda que los niveles de zinc en compost no superen ciertos límites establecidos por normativa internacional, para evitar acumulación en

suelos y efectos adversos en cultivos. En conjunto, estos resultados sugieren que las camas con residuos de origen más mineralizado o sin control microbiológico pueden tener una mayor concentración de zinc, por lo que es fundamental ajustar su formulación para asegurar un producto final inocuo y eficaz.

#### 4.3.1.10. Cobre



SM-Cama 1: Sin Microorganismos Cama 1; SM-Cama 2: Sin Microorganismos Cama 2; SM-Cama 3: Sin Microorganismos Cama 3; CM-Cama 1: Con Microorganismos Cama 1; CM-Cama 2: Con Microorganismos Cama 2; CM-Cama 3: Con Microorganismos Cama 3.

**Figura 31.** Cu (ppm) obtenido de las camas de compost.

La Figura 31 muestra la concentración de cobre (Cu) en las distintas camas de compost, con valores que oscilan entre 38,500 ppm en CM-Cama 2 y 14,200 ppm en SM-Cama 1, muy por debajo del límite máximo permitido de 250,000 ppm. Esta marcada diferencia indica que ninguna de las camas evaluadas representa riesgo por acumulación excesiva de este micronutriente, lo cual es favorable para el uso del compost con fines agrícolas. Según Gómez et al. (2022), el cobre es esencial para la fotosíntesis y la respiración celular, pero en exceso puede afectar negativamente el microbiota del suelo. Oliveira et al. (2020) señalan que los niveles de cobre tienden a ser más elevados en compost con residuos animales o industriales, mientras que los residuos vegetales tienden a aportar menores concentraciones. Además, Bhat et al. (2023) indican que un compost bien estabilizado, con buena aireación y equilibrio de humedad, reduce la movilidad de metales pesados como el cobre. La FAO (2020) recomienda un monitoreo regular del Cu en compost destinados a cultivos hortícolas, especialmente en

suelos ya enriquecidos. Por su parte, Méndez et al. (2021) subrayan que mantener niveles bajos y estables de cobre permite preservar la actividad enzimática y la salud del suelo. En este contexto, los resultados de esta figura confirman que las camas utilizadas permiten un control adecuado del contenido de cobre, garantizando la seguridad del compost como enmienda orgánica.

**Tabla 15.** Análisis de varianza del Cobre de las diferentes camas de compost.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values
Modelo	5.000	1501.444	300.289	13.763	<b>0.000</b>	<b>***</b>
Error	12.000	261.815	21.818			
Total corregido	17.000	1763.259				

Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

En la Tabla 15 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de cobre (Cu) en las diferentes camas de compost. El modelo muestra un valor F de 13.763 y un valor p (Pr > F) de 0.000, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las camas evaluadas ( $p < 0.001$ ). La suma de cuadrados para el modelo fue de 1501.444, mientras que el error residual fue de 261.815. Los cuadrados medios también reflejan una mayor variabilidad explicada por el modelo (300.289) en comparación con el error (21.818). Estos resultados sugieren que las distintas configuraciones de las camas de compost influyen significativamente en los niveles de cobre presentes.

### 4.3.2. Propiedades Biológicas

**Tabla 16.** Propiedades biológicas de las camas de compostaje

Parámetros biológicos	Camas de compost de estudio					
	SM-Cama 1	SM-Cama 2	SM-Cama 3	CM-Cama 1	CM-Cama 2	CM-Cama 3
Coliformes Termotolerantes	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Recuento bacteriano	Incontable	1008x10 <sup>3</sup>	464x10 <sup>3</sup>	672x10 <sup>3</sup>	832x10 <sup>3</sup>	1008x10 <sup>3</sup>
	Incontable	Incontable	720x10 <sup>3</sup>	92x10 <sup>3</sup>	Incontable	672x10 <sup>3</sup>
	368x10 <sup>3</sup>	576x10 <sup>3</sup>	336x10 <sup>3</sup>	416x10 <sup>3</sup>	352x10 <sup>3</sup>	464x10 <sup>3</sup>
	14x10 <sup>3</sup>	11x10 <sup>3</sup>	23x10 <sup>3</sup>	24x10 <sup>3</sup>	16x10 <sup>3</sup>	26x10 <sup>3</sup>

Recuento fúngico (UFC/gr)	32x10 <sup>3</sup>	39x10 <sup>3</sup>	85x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>3</sup>
	8x10 <sup>3</sup>	14x10 <sup>3</sup>	28x10 <sup>3</sup>	10x10 <sup>3</sup>	24x10 <sup>3</sup>	30x10 <sup>3</sup>

En la tabla 16 se presenta las propiedades biológicas del compost en diferentes camas con y sin microorganismos eficientes, evaluando coliformes termotolerantes, recuento bacteriano y recuento fúngico. Se observa ausencia total de coliformes termotolerantes en todas las muestras, lo que indica que las temperaturas alcanzadas durante la fase termófila fueron suficientes para eliminar microorganismos patógenos, garantizando la seguridad sanitaria del compost, tal como recomienda la FAO (2013). En cuanto al recuento bacteriano, las camas CM-Cama 3 y SM-Cama 2 presentaron las concentraciones más altas ( $1008 \times 10^3$  UFC), mientras que SM-Cama 3 mostró el valor más bajo ( $464 \times 10^3$  UFC), lo que sugiere que tanto la presencia de microorganismos eficientes como el desarrollo de microbiota autóctona pueden contribuir a la actividad biológica del compost, siempre que las condiciones de humedad y oxigenación sean adecuadas (Ahmed et al., 2022). Huamanta (2020) sostiene que el microbiota natural puede ser altamente activa si el proceso se maneja correctamente, lo cual explicaría los altos recuentos en camas sin inoculación. En relación con el recuento fúngico, se evidencia una mayor proliferación en las camas sin microorganismos, especialmente en SM-Cama 3 ( $85 \times 10^3$  UFC), en comparación con valores más bajos en camas con microorganismos como CM-Cama 3 ( $5 \times 10^3$  UFC), lo que podría deberse a una menor competencia biológica y mayor humedad residual que favorece el desarrollo de hongos, incluidos algunos potencialmente fitopatógenos (García Ruiz et al., 2024). Mahongnao et al. (2023) destacan que una comunidad microbiana equilibrada, promovida por el uso de microorganismos eficientes, permite una degradación más dirigida y evita desequilibrios fúngicos, mejorando la estabilidad y calidad del compost final. Por tanto, estos resultados no solo evidencian una adecuada higienización del compost, sino que también resaltan la importancia del manejo biológico para conservar la seguridad, el equilibrio microbiano y el potencial agrícola del producto compostado.

## V. CONCLUSIÓN

Los residuos sólidos domiciliarios, están compuestos principalmente de materia orgánica, identificándose cáscaras de frutas predominantemente cáscaras de plátano y naranja, adecuados para el proceso de compostaje.

La estabilidad de la actividad respiratoria mostró que la cama tres sin inoculación alcanzó la estabilidad más temprana, alrededor de los ciento veinte días, mientras que la cama uno con microorganismos presentó el proceso más prolongado, extendiéndose más allá de los ciento cincuenta días. Estas diferencias reflejaron el efecto de la inoculación microbiana, que prolongó la fase activa antes de la estabilización final, en contraste con las camas sin inoculación, donde la madurez se alcanzó en menor tiempo.

Los parámetros químicos fueron los más críticos evidenciando valores fuera de los rangos establecidos por la Norma Técnica Peruana 201.208.2021, principalmente la alta conductividad eléctrica se atribuye a la acumulación inicial de sales solubles, producto de la descomposición de materiales orgánicos con elevada carga mineral que en todos los tratamientos los valores estuvieron encima del límite máximo, y en menor grado, la materia orgánica, calcio, magnesio y potasio que reflejaron pérdidas nutritivas atribuibles al manejo del proceso (lixiviación y aireación).

Se evaluó que el tiempo de compost estabilizado de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valorización de Tocache fueron de cien a ciento diez días para las camas con microorganismos eficientes y de ciento treinta a ciento cincuenta días para las camas sin inoculación microbiana. En ambos casos, el proceso permitió obtener un compost maduro, estable y apto para su uso agrícola, cumpliendo con los criterios técnicos de estabilidad y calidad establecidos por la NTP 201.208.2021.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

Evaluar el uso de sensores de temperatura, humedad y gases en sistemas experimentales de compostaje, con el fin de analizar su utilidad en el seguimiento en tiempo real del proceso y su relación con la estabilidad y calidad del compost obtenido.

Analizar experimentalmente diferentes proporciones de hojarasca en la mezcla inicial, así como la homogeneización del tamaño de partícula entre 1 y 3 cm, para determinar su influencia en la tasa de descomposición y mineralización de la materia orgánica.

Investigar el efecto de distintas relaciones iniciales carbono/nitrógeno y de la calidad del agua de riego, especialmente su conductividad eléctrica, sobre las pérdidas de nitrógeno y la salinidad final del compost.

Comparar, bajo condiciones controladas, el desempeño de sistemas de compostaje con mantas transpirables, camas aeradas y sistemas semi-continuos, evaluando su eficiencia en términos de tiempo de estabilización, espacio requerido y calidad del producto final.

Desarrollar estudios experimentales de aplicación del compost en cultivos agrícolas locales como cacao, plátano entre otros, con el objetivo de evaluar su efecto en la productividad, las propiedades del suelo y la reducción del uso de fertilizantes químicos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, M., Salama, A., Elbaz, R., & Kandil, M. (2022). Compost maturity and its relation with temperature dynamics and microbial activity. *Journal of Environmental Management*, 305, 114–120.
- Ahmed, Z., et al. (2022). Efficacy of prepared composts on onion productivity and quality. *Revista Agrícola de Pakistán*, 3.
- AIMPLAS. (2020). ISO 14855: Biodegradabilidad aeróbica en condiciones de compost controladas. <https://www.aimplas.es/blog/iso-14855-biodegradabilidad-aerobica-en-condiciones-de-compostaje-controladas/>
- Aguirre Illatopa, J. G., Florida Rofner, N., Ríos Velásquez, E. A., & Lévano Crisóstomo, J. D. (2024). Producción y caracterización de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 27(1), e2432. <https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.243>
- Aguirre, J. G. (2023). Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producido en la planta de valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. [http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2445/TS\\_JGAI\\_2023.pdf](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2445/TS_JGAI_2023.pdf)
- Ansorena, J., Batalla, E., & Merino, D. (2019). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. [https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/140711evaluar\\_compost\\_ansorena](https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/140711evaluar_compost_ansorena)
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 6, 5–6.
- Barrales, B. E., et al. (s. f.). Determinación in vitro de la emisión de CO<sub>2</sub> en muestras de mantillo. *Agrociencia*, 48(7), 676–690. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n7/v48n7a2.pdf>
- Beteta, V. M. (2021). Potencial de degradación aerobia y anaerobia en el aprovechamiento de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* sp.) en condiciones de laboratorio en Tingo María, 2021 [Tesis doctoral, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].

- Bhat, R. A., Dar, M. A., Dar, G. H., & Lone, S. A. (2022). Composting: An overview of microbiological processes and environmental impact. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(27), 40918–40930. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17691-1>
- Cohelia, A. P. (2018). Manejo de los residuos orgánicos y su relación con el comportamiento de compra del consumidor del megacentro comercial “Mi Mercado” del distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2018 [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú].
- Damián, L. N. (2018). Aplicación de tres tratamientos aceleradores para la elaboración de compost de residuos del Mercado Los Cedros, distrito de Chorrillos, 2018 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20516/DAMIAN\\_ALN.pdf](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20516/DAMIAN_ALN.pdf)
- Delgado, M. (2019). Procesos de compostaje y su influencia en la calidad del abono orgánico. Editorial Académica Española.
- Delgado, L., Chávez, M., & Ríos, J. (2021). Evaluación de parámetros físicos y estructurales del compost con y sin inoculación bacteriana. *Revista de Suelos y Compostaje*, 9(1), 45–52.
- Domínguez, V., Pittí, S., Acosta, A., & Españó, E. (2022). Caracterización de residuos sólidos domiciliarios, compostaje y reciclaje durante la pandemia de COVID-19. *Revista de Iniciación Científica*, 8(2), 69–75. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v8.2.3675>
- FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- FAO. (2020). Manual sobre compostaje municipal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fernández, J. M., Plaza, C., Polo, A., & Senesi, N. (2021). Compost as a source of zinc: Implications for soil fertility and crop nutrition. *Journal of Environmental Quality*, 50(3), 746–755. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20181>
- Flores Márquez, R. M., & Sánchez Vega, R. E. (2023). Evaluación de parámetros físicos de residuos orgánicos en condiciones de precompostaje. *Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible*, 3(1), 55–64.

- García Ruiz, R., Martínez, J., & López, M. (2024). Biological quality of composts produced under different conditions. *Journal of Environmental Management*, 345, 118775. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118775>
- García González, A., Cárdenas, M., & Romero, L. (2023). Indicadores físicos de madurez en compostaje de residuos orgánicos. *Compost Science & Utilization*, 31(2), 122–130.
- Gómez, R., Lima, L., & Pedraza, R. O. (2020). Changes in the microbial community during composting: Current knowledge and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(1), 37–52.
- Gómez, R., Lima, L., & Pedraza, R. O. (2022). Compost quality and microbial community shifts under different organic waste treatments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(5), 2019–2032. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11905-9>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Huamanta, M. E. (2020). Eficiencia del compost de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el rendimiento de *Zea mays* “maíz” en el caserío Santa Rosa de Cocayacu, distrito Rioja, departamento San Martín-2020 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/4043/>
- Huamaní, A. (2020). Evaluación de la madurez del compost a partir del análisis de la temperatura y la respiración microbiana. *Revista Agroindustrial del Perú*, 6(1), 28–35.
- INACAL. (2021). Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021. Fertilizantes: Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos. Instituto Nacional de Calidad.
- Jimenes, M. E. (2017). El residuo: producto urbano, asunto de intervención pública y objeto de la gestión integral. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-81102017000100158](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-81102017000100158)
- López, L. A. (2020). La contaminación del suelo por plomo y sus consecuencias sobre la salud humana [Trabajo de fin de grado, Universidad Complutense]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/62982/>

- Mahongnao, S., et al. (2023). Formation and characterization of leaf waste into organic compost. *Environmental Science and Pollution Research*, 7–9.
- Mahongnao, M., Devi, T. C., & Das, S. (2023). Influence of microbial inoculants on compost quality and stability. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 102981. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102981>
- Maldonado, R. J. (2020). Comparación de la calidad del compost resultante del proceso realizado por microorganismos eficientes comerciales y naturales en el distrito de Jepelacio, región San Martín [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae].  
<https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1026/>
- Martínez Fuentes, L. J., & Martínez Salgado, E. (2022). Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en diferentes municipios del departamento de Córdoba (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y Montería) [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba].  
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/6974/>
- Mejía, F. J., Carranza, R., & Salinas, A. (2022). Evaluación del proceso de compostaje mediante parámetros fisicoquímicos y respiración. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 39(3), 234–242.
- Mejía, J., Cruz, D., Alvarado, R., & Ramírez, M. (2022). Aplicación de un compost con aporte de silicio en cultivo de rosa (*Rosa* × híbrida). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11.
- Mejía, J. A., Rivas, M., & Huamán, F. (2022). Evaluación térmica y microbiológica del compostaje de residuos sólidos urbanos. *Revista de Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible*, 4(2), 45–52.
- Méndez, M. E., Ortiz, L. G., & Carrillo, D. M. (2021). Influence of organic amendments on soil properties and crop yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 2501–2512. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00565-1>
- MINAM. (2021). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Ministerio del Ambiente.
- Oliveira, F. C., Amorim, E. P., & Silva, R. F. (2020). Dynamics of heavy metals in composting processes: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 12828–12844. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07361-5>

- Österreichisches Normungsinstitut. (1991). ÖNORM S 2206-1: Kompost – Anforderungen an die Qualität und Untersuchung. Austrian Standards Institute.
- Panduro Saboya, E. C., & Rengifo Ahuanari, J. C. (2021). Compost obtenido de residuos sólidos orgánicos del mercado, adicionado estiércol, para producir hortalizas en la ciudad de Yurimaguas-2021 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
- Puente, D. H. (2017). Propuesta de una planta de tratamiento para la obtención de compost en la ciudad de Juli – Chucuito – Puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7680/>
- Policastro, G., & Cesaro, A. (2023). Composting of organic solid waste of municipal origin: The role of research in enhancing its sustainability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 312.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph20010312>
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., & Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Ingeniería e Investigación*, 43(2), 11–20.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642023000200011>
- Rivasplata Segura, F. J. (2021). Segregación de residuos sólidos orgánicos para el diseño de composteras domiciliarias, distrito Víctor Larco Herrera, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91638>
- Santos, R., Meneses, C., & López, D. (2021). Efecto de los consorcios microbianos en la degradación acelerada de residuos orgánicos. *Journal of Agricultural Waste Management*, 5(3), 88–95.
- Santos, P. R., Oliveira, D. S., & de Souza, D. D. (2023). Compost chemical characteristics and their influence on the stability and maturity of organic fertilizers. *Compost Science & Utilization*, 31(2), 95–105.  
<https://doi.org/10.1080/1065657X.2022.2115837>
- SENAMHI. (2025). Mapa de clasificación climática nacional.  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- SENAMHI. (2025). Monitoreo meteorológico (últimas 24 horas).  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02201SENA-2575.pdf>

- Siles, J. A. (2021). Proceso de compostaje: fundamentos y aplicación. *Revista de Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 21(1), 12–20.
- Siles, A. B. (2021). Estudio comparativo del compostaje a escala industrial de residuos orgánicos de diversa procedencia: Indicadores, calidad y estabilidad [Tesis doctoral, Universidad de Almería]. <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/12763/>
- Suárez Rivadeneira, J. E. (2020). Elaboración de compost mejorado a partir de la valorización de los residuos orgánicos generados en el mercado y parada municipal de la ciudad de Bagua [Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- Torres Mendoza, J., Ruiz Palomino, V., & Chávez, E. (2022). Eficiencia del compostaje con bioinoculantes microbianos en residuos sólidos urbanos. *Revista de Biotecnología Ambiental*, 11(2), 61–69.
- Tortosa, G. (2015). Calidad del carbono orgánico disuelto del compost. *Compostando Ciencia*. <http://www.compostandociencia.com/2015/02/calidad-del-carbono-organico-disuelto-del-compost/>
- Valderrama, R. A. (2013). Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo [Trabajo de especialización, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1326/>
- Viteri, R., Guevara, L., Villacrés, M., & Jara, J. (2016, octubre). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón Riobamba. *European Scientific Journal*, 13–14.

## VIII. ANEXOS

### 8.1. Matriz de consistencia

**Tabla 17.** Matriz de consistencia del proyecto de investigación

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores
			Residuos sólidos orgánicos domiciliarios	Humedad (%) Peso (Kg) Volumen (m3)
				<b>Estabilidad degradativa aerobia</b>
				Temperatura (°C) Peso (kg) Tiempo (días) Volumen (cm3)
				<b>Estabilidad de la Activ. respiratoria</b>
				Actividad respiratoria en cuatro días (mg O <sub>2</sub> /g Ms)
				<b>Características fisicoq. y biológicas:</b>
			Tiempo de composta estabilizado	Humedad (%) Temperatura (°C) Densidad aparente (Kg/m3) Conductividad eléctrica pH Materia orgánica (%) Relacion C/N Nitrógeno (N) Potasio (K) Fósforo (P) Recuento Bacteriano Recuento Fúngico Coliformes termotolerantes
¿Cuál es el tiempo de composta estabilizado de los residuos sólidos orgánicos en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín?	Determinar el tiempo de composta estabilizado de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín y si esta cumple con la NTP 201.208 2021.	El tiempo de composta estabilizado de los residuos sólidos orgánicos en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín es de 90 días y si esta cumple con la NTP 201.208 2021		

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Sub variables	Sub indicadores
¿Cuáles serán las características de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios que ingresan a la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín?	Caracterizar los residuos sólidos orgánicos que ingresan a la Planta de Compostaje	Las características físicas que presentan los residuos orgánicos influyen en el tiempo de composta	Residuos sólidos Orgánicos domiciliarios	<p>Humedad (%)</p> <p>Peso (Kg)</p> <p>Volumen (m3)</p>
¿Cuál es el tiempo de estabilidad térmica, peso, volumen y actividad respiratoria del compost producido en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín?	Determinar el tiempo de la estabilidad térmica, peso, volumen y actividad respiratoria del compost producido en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Tocache	El tiempo estabilizado de composta de los residuos orgánicos en la Planta de Compostaje no es de 90 días	<p>Estabilidad aerobia degradativa</p> <p>Estabilidad de la Actividad respiratoria (AT4)</p>	<p>Temperatura (°C)</p> <p>Peso (kg)</p> <p>Tiempo (días)</p> <p>Volumen (cm3)</p> <p>Actividad respiratoria en cuatro días (mg O2/g Ms)</p>
¿Cuáles son las propiedades física, química y biológica del compost producido en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín?	Determinar las propiedades física, química y biológica del compost producido en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín	Las propiedades físicas, químicas y biológicas del compost generado de residuos orgánicos domiciliarios cumplen con la NTP 201.208.2021	<p>Propiedades físicas</p> <p>Propiedades químicas</p> <p>Propiedades biológicas</p>	<p>Temperatura</p> <p>Humedad (%)</p> <p>Densidad aparente (Kg/m3)</p> <p>Conductividad eléctrica</p> <p>pH</p> <p>Relación C/N</p> <p>Carbono</p> <p>Nitrógeno</p> <p>Fosforo</p> <p>Potasio</p> <p>Contenido de materia orgánica</p> <p>Recuento Bacteriano</p> <p>Recuento Fúngico</p> <p>Coliformes termotolerantes</p>

Fuente: Elaboración propia

## 8.2. Fichas de los instrumentos de medición para recolección de datos

**Tabla 18.** Ficha de registro de pesos para el análisis de composición de residuos orgánicos.

CARACTERIZACIÓN DE CAMAS SIN MICROORGANISMOS					
CAMA 1	Kg	CAMA 2	Kg	CAMA 3	Kg
	63		77		55
	71		36		33.5
	68		46		53.5
	63		43.5		53
	96		66		50
	63		65		53.5
	87		62		52.5
Cascara de plátano	68.5	Cascara de plátano	59	Cascara de plátano	68
	68		80.5		36
	58		91.5		82.5
	68.5		60		62
	-		62		55
	-		45		84
	-		62		48
	-		61.5		57
	-		-		47.5
	60		50		52
	52		58.5		54
Cascara de piña	79	Cascara de piña	58	Cascara de piña	45.5
	69		44.5		47.5
	62		39		49
	68.5		61.5		49
	64.5		41.5		50.5
Naranjas	70.5	Naranjas	58.5	Naranjas	94
	62		61		54
	75.5		62		-
	63		58		-
	58		39.5		41.5
Cascara de yuca	62	Cascara de yuca	51	Cascara de yuca	42.5

	57		42		41.5
Hojas de bijao	51	Hojas de bijao	47	Hojas de bijao	36.5
	60		48		42
Cascara de sandia	75	Cascara de sandia	7.5	Cascara de sandia	-
Cascara de zapote	-	Cascara de zapote	-	Cascara de zapote	47
	-		-		47
	50		50		51
	52		61.5		42
	68		72		69
	56		40		52.5
Resto de vegetales	51.5	Resto de vegetales	41.5	Resto de vegetales	49
	69.5		48		52.5
	-		62		38.5
	-		45		-
	-		43.5		-
	-		-		34
cascara de papa	-	cascara de papa	-	cascara de papa	50
	-		-		61.5
	-		-		74.5
Resto de poda	-	Resto de poda	-	Resto de poda	54
	-		-		51
Papaya	-	Papaya	-	Papaya	48
	-		-		76
	70		43		76
	51		63		50.5
	51.5		69.5		65.5
	76		58.5		52
Resto de frutas	56.5	Resto de frutas	84	Resto de frutas	68
	62		42		58
	75.5		52		44
	-		61		-
	-		50		-

<b>Residuos inorgánicos no aprovechables</b>	<b>87.5</b>	<b>Residuos inorgánicos no aprovechables</b>	<b>101</b>	<b>Residuos inorgánicos no aprovechables</b>	<b>127.5</b>
--	-------------	--	------------	--	--------------

<b>CARACTERIZACIÓN DE CAMAS CON MICROORGANISMOS</b>					
<b>CAMA 1</b>	<b>Kg</b>	<b>CAMA 2</b>	<b>Kg</b>	<b>CAMA 3</b>	<b>Kg</b>
	76		69		93.5
	80.5		55		59
	48.5		52		33
	41.5		44		38
	35.5		50		47.5
	39		65		91.5
	48.5		81		54
	41.5		46.5		56.5
	35.5		67		43
	39		58		34.5
	38.5		56		86.5
	58		52		50.5
	56		48		56.5
Cascara de plátano	36	Cascara de plátano	87.5	Cascara de plátano	54.5
	48		55.5		51.5
	74.5		49.5		37
	41.5		42		52
	61		42		36
	51		47.5		49
	59		47.5		35
	62.5		44.5		-
	34.5		46		-
	65.5		38.5		-
	56		98		-
	43		51		-
	113.5		46.5		-
	-		54		-
	-		54		-

	76		79		52
	49.5		47		57.5
	50		71		56
	78		37.5		41
Cascara de piña	48	Cascara de piña	58	Cascara de piña	60
	58		45.5		40.5
	34.5		62		51.5
	54		46.5		46
	43.5		55		46.5
	-		-		38
	33		-		-
	40		-		-
Cascara de frejol	47	Cascara de frejol	-	Cascara de frejol	-
	24.5		-		-
	38.5		-		-
	31		-		-
	70.5		50		28.5
	59		79		40
	100		55		43
	16.5		39		50.5
	53.5		48		57.5
Cascara de papa	52	Cascara de papa	46	Cascara de papa	52
	-		45		54
	-		59.5		62.5
	-		45.5		51.5
	-		35.5		-
	-		46.5		-
	61.5		66		52
	40.5		79.5		76.5
Naranjas	80.5	Naranjas	38.5	Naranjas	73.5
	49		52		48
	43		42.5		51.5

	39.5		90.5	35.5
	57		45	46.5
	-		53	45.5
	-		41.5	33.5
	-		52	50
	-		53	34.5
	-		41.5	-
	42.5		42	38.5
	22.5		28	38.5
	29.5		24.5	33
	45.5		26.5	
Hojas de bijao		Hojas de bijao	37.5	Hojas de bijao
			57	49.5
			38	28
			44.5	54
	-		28	
	38.5		48	35
	62.5		61	45.5
	53.5		51	46.5
	44		53.5	36
Cascara de yuca	43.5	Cascara de yuca	64.5	42
	52		66.5	108
	45.5		56.5	-
	47		-	-
	28		-	-
	41		-	-
Cascara de zapote	57.5	Cascara de zapote	-	-
	57.5		-	-
	39		-	-
	52.5		-	-
Papaya	61	Papaya	-	-
	55		-	-
	89.5		-	-

Cascara de cañas	59	Cascara de cañas	-	Cascara de cañas	-
	33		-		-
Resto de podas	54	Resto de podas	-	Resto de podas	-
	48.5		-		-
	59.5		62		45
	51		45		69.5
	97		57		81
	73.5		41		85.5
	48.5		54.5		50
Resto de vegetales	85.5	Resto de vegetales	35	Resto de vegetales	57
	66		42		62
	-		44.5		-
	-		66.5		-
	-		71.5		-
	-		43.5		-
	-		60		-
	94		34.5		62
	76.5		69.5		50
	52		60		49
	56		47		48.5
	63		43.5		59
	64		37.5		96
Resto de frutas	58.5	Resto de frutas	75	Resto de frutas	53.5
	90		34		57
	-		39		54.5
	-		42		-
	-		39		-
	-		89		-
	-		52.5		-
	-		63		-
	-		60		-
Residuos inorgánicos no aprovechables	182.5	Residuos inorgánicos no aprovechables	208	Residuos inorgánicos no aprovechables	145

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19.** Resumen de la Composición de residuos orgánicos domiciliarios

Tipo de residuos Orgánicos	Composición de residuos orgánicos domiciliarios							
	Camas sin microorganismos (Kg)			Composición porcentual (%)	Camas con microorganismos (Kg)			Composición porcentual (%)
	1	2	3		1	2	3	
Cascara de plátano	774	917	891	31.45	1384	1547.5	1059	27.51
Cascara de piña	322	250	248	9.99	491.5	501.5	489	10.22
Naranjas	404	342.5	247.5	12.11	474.5	655	547	10.84
Cascara de sandía	75	7.5	-	1.00	-	-	-	0.00
Cascara de zapote	-	-	94	1.15	195	-	-	1.34
Papaya	-	-	99	1.21	258	-	-	1.78
Cascara de cañas	-	-	-	0.00	92	-	-	0.63
Resto de frutas	442.5	523	414	16.80	554	785.5	529.5	12.88
Cascara de yuca	177	132.5	125.5	5.30	414.5	401	313	7.78
Hojas de bijao	111	95	78.5	3.47	140	326	241.5	4.88
Cascara de papa	-	-	145.5	1.77	401.5	549	439.5	9.24
Cascara de frejol	-	-	-	0.00	214	-	-	1.48
Resto de podas	-	-	128.5	1.56	102.5	-	-	0.71
Resto de vegetales	347	463.5	354.5	14.19	581	622.5	450	10.71
<b>Total</b>	<b>2652.5</b>	<b>2731</b>	<b>2826</b>	<b>100</b>	<b>5302.5</b>	<b>5388</b>	<b>4068.5</b>	<b>100</b>

**Tabla 20.** Base de datos de peso y volumen de residuos en cada cama de compostaje.

Días	Peso					
	SM-Cama 1	SM-Cama 2	SM-Cama 3	CM-Cama 1	CM-Cama 2	CM-Cama 3
0	3322.5	3231	3526	6002.5	5688	4668.5
20	2502.933819	2383.960258	2571.708892	4748.020917	4392.361396	3607.483122
40	1430.291076	1340.857562	1580.431519	2607.359754	2496.206956	2050.891766
60	914.6842064	839.4502504	959.712349	1641.186495	1489.221028	1223.776056
80	664.4531812	596.1104634	669.6442871	1204.620848	1024.153701	841.8833354
100	559.404975	493.9552325	558.161977	1057.794934	877.6200083	721.7797511
120	555.5271247	489.2557279	541.8142178	948.1694409	876.6624219	715.0233212
Días	Volumen					
	SM-Cama 1	SM-Cama 2	SM-Cama 3	CM-Cama 1	CM-Cama 2	CM-Cama 3
0	4.567535	5.97702	7.1928	9.55544	11.67875	11.60832
20	3.440854123	4.41008299	5.246111094	7.558422156	9.018511015	8.97008
40	1.966261715	2.480449541	3.223972726	4.150682164	5.125277249	5.099584
60	1.257442326	1.552897226	1.957747868	2.612621254	3.057707469	3.042944
80	0.913442637	1.102743473	1.366028766	1.91764802	2.102819099	2.09336
100	0.769029888	0.91376673	1.138612441	1.683914374	1.801952298	1.79472
120	0.763698897	0.905073126	1.105264125	1.50940045	1.799986157	1.77792

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21.** Base de datos de la temperatura en el proceso de compostaje.

Tiempo Día	Temperatura de las camas con microorganismos				Temperatura de las camas sin microorganismos			
	CM Cama 1	CM Cama 2	CM Cama 3	Temperatura ambiente	SM Cama 1	SM Cama 2	SM Cama 3	Temperatura ambiente
0	37.13	37.50	37.70	28	36.10	34.03	38.67	27
1	39.63	45.53	44.27	27.5	38.07	38.23	48.10	26
2	48.53	51.17	49.23	26.2	44.73	44.27	50.83	28.5
3	48.03	52.53	51.50	24.8	49.70	45.13	55.20	30
4	50.67	53.57	62.27	28.6	51.37	47.40	56.43	25.9
5	51.63	57.13	63.17	27.8	55.13	52.57	59.03	28.7
6	55.53	62.77	64.30	31.9	56.23	60.67	60.20	27.5
7	58.00	64.10	58.47	28.4	60.83	64.20	62.53	26
8	60.27	61.73	57.20	29.4	63.60	64.90	63.07	30.7
9	62.47	60.80	55.37	26.2	64.30	61.73	64.20	25.4
10	62.87	58.77	53.07	25.7	64.57	60.63	63.03	27.1
11	64.87	56.20	52.30	26.4	64.83	59.07	60.93	29.1
12	62.50	52.47	51.77	26	64.13	58.63	59.30	28.4
13	60.80	49.73	50.97	25.2	63.80	46.30	56.27	28
14	58.47	49.77	49.90	24.4	56.23	45.63	55.03	27.7
15	55.93	49.37	49.17	26.5	54.17	45.37	52.23	29.7
16	51.93	49.23	48.63	26	50.37	44.00	49.53	31.1
17	49.47	49.03	48.27	26.2	48.37	44.03	47.27	29.6
18	48.80	48.77	47.87	28.1	48.17	43.70	47.33	29.1
19	53.23	48.83	47.53	30	47.07	43.63	43.97	28
20	49.70	49.33	47.17	39.1	47.57	43.50	43.23	29.1
21	50.27	49.13	47.70	27.6	39.60	43.13	41.27	28.1
22	51.23	48.73	47.07	24.2	38.63	42.93	43.00	30
23	51.07	48.17	46.97	26.5	38.37	42.73	42.73	31.7
24	50.70	47.00	46.70	30.4	37.80	40.67	42.40	28.5
25	49.37	49.07	45.93	26.1	37.13	41.37	42.90	30

26	48.63	49.03	45.43	29.1	36.80	38.70	40.53	25.9
27	48.30	49.00	45.57	24.2	36.47	37.53	39.53	28.7
28	47.97	49.37	46.50	29.4	36.30	39.83	38.57	26.2
29	47.67	48.50	44.80	32.1	36.23	41.23	38.93	24.8
30	47.17	48.23	44.53	27.9	36.37	41.63	38.70	28.6
31	47.17	48.23	43.83	28.6	37.73	41.20	38.10	27.8
32	47.53	49.00	43.63	32.4	35.27	40.90	37.43	31.9
33	47.97	47.70	43.87	27.7	36.60	39.87	36.37	28.7
34	47.27	47.43	42.30	28.4	36.50	39.70	36.93	29.4
35	47.00	46.83	42.50	24.3	36.57	38.47	36.07	26.2
36	47.00	46.57	46.53	26	34.33	37.43	36.73	25.7
37	47.50	46.37	49.20	28	33.57	37.47	38.07	26.4
38	47.37	46.03	48.23	27.6	32.70	35.90	38.60	26
39	48.83	46.23	47.23	24	32.53	35.80	38.37	25.2
40	47.97	49.23	47.23	27.3	32.97	35.23	37.97	24.4
41	47.80	47.13	48.30	25	32.53	36.37	36.53	26.5
42	46.70	46.43	47.30	28.3	32.47	38.10	36.23	26
43	47.17	49.23	46.80	26.7	31.97	40.13	35.95	26.2
44	47.00	48.33	46.37	28	31.93	38.50	38.10	28.1
45	47.70	48.00	46.03	29.8	32.00	38.37	37.10	30
46	48.20	47.83	48.57	29.7	32.53	37.43	37.13	29.1
47	46.90	46.33	48.40	28.4	31.17	36.57	37.27	27.6
48	45.83	46.50	48.17	26.1	33.13	36.57	37.53	24.2
49	45.97	47.33	47.27	27.3	32.10	37.13	37.40	26.5
50	47.70	48.10	46.00	25.7	32.20	36.80	37.30	30.4
51	47.37	47.90	46.30	29.7	31.20	37.17	37.20	26.1
52	47.03	47.27	47.07	27	31.37	36.87	37.10	29.1
53	46.87	45.47	46.93	24.6	31.23	36.43	36.97	24.2

54	46.37	47.67	46.20	28	30.80	37.57	36.87	29.4
55	46.30	48.07	45.87	27.1	30.73	37.23	37.30	32.1
56	46.57	47.27	44.37	26.3	31.60	36.93	37.03	27.9
57	48.07	48.33	43.33	29	31.50	36.70	37.30	28.6
58	48.13	46.33	43.60	30	31.73	36.60	36.90	32.4
59	32.93	45.33	41.53	28.9	31.80	36.73	35.77	27.7
60	46.50	43.77	42.57	26.4	31.53	37.33	35.57	28.4
61	47.40	44.90	42.17	32.5	31.33	38.40	37.23	24.3
62	47.13	43.87	40.73	24	31.20	37.13	37.23	26
63	45.70	43.07	41.00	26	31.23	37.20	37.13	28
64	47.37	42.40	40.57	29.1	31.23	36.43	35.50	27.6
65	45.43	41.73	40.20	28.4	31.27	36.77	35.00	24
66	43.20	41.27	39.37	28	31.10	39.00	35.70	27.3
67	43.00	41.33	39.07	32.2	31.83	38.87	35.17	25
68	42.27	40.27	39.67	32.1	31.03	36.57	35.47	28.3
69	43.57	39.57	41.40	33.4	30.20	34.53	34.57	26.7
70	42.87	40.53	41.40	30	31.93	35.40	34.27	28
71	41.90	39.90	39.87	28.7	32.17	35.17	34.60	29.8
72	41.00	39.90	39.87	26	31.20	34.33	34.00	29.7
73	40.77	37.17	39.50	26.2	30.10	35.73	36.30	28.4
74	41.67	41.33	39.33	30	35.80	35.30	36.17	26.1
75	41.57	40.10	38.53	24.4	35.63	34.23	36.03	27.3
76	41.77	37.13	38.73	25.7	34.27	34.50	35.53	25.7
77	40.87	38.63	38.43	29.3	34.33	34.33	35.33	29.7
78	40.57	40.33	39.13	28.7	35.97	34.63	34.27	27
79	41.57	35.97	37.30	28	35.10	34.53	33.83	24.6
80	44.00	36.10	37.47	31.3	34.77	34.43	33.47	28

81	43.87	35.97	36.73	30.7	34.23	35.13	33.37	27.1
82	43.43	35.63	37.00	29.4	33.70	35.10	31.60	26.3
83	42.83	38.43	38.10	24	36.70	35.03	36.00	29
84	42.27	34.63	37.77	26.7	36.43	34.43	35.00	30
85	41.27	34.47	37.47	26.1	36.17	35.87	36.00	28.9
86	39.60	32.57	37.37	30.4	36.10	35.30	35.47	26.4
87	39.57	36.17	37.40	33.1	36.03	34.47	34.93	32.5
88	39.70	36.13	38.03	26	36.03	33.90	34.27	24
89	38.67	38.00	37.87	26.7	35.33	32.73	36.97	26
90	37.87	37.10	36.80	26	35.33	33.80	37.70	29.1
91	38.33	37.57	37.13	28.2	34.90	34.23	36.60	28.4
92	36.83	38.00	37.87	28.4	34.80	33.83	34.50	28
93	36.77	37.83	37.63	24.3	34.63	33.33	32.90	32.2
94	37.73	36.70	36.93	27	33.93	34.30	32.10	32.1
95	37.57	36.27	36.90	27.2	34.20	34.90	32.30	33.4
96	36.83	35.47	37.20	28.1	33.47	32.47	33.77	30
97	37.40	33.07	38.27	31	33.47	31.73	33.57	28.7
98	37.00	33.07	37.77	30.1	34.20	31.43	35.30	26
99	38.37	34.00	38.50	29.7	33.17	32.00	33.57	26.2
100	38.20	34.70	38.00	26	34.80	32.37	34.10	30
101	36.50	33.97	37.90	27.4	32.83	32.87	33.13	24.4
102	36.17	33.87	36.80	24.6	31.50	32.73	31.97	25.7
103	34.67	36.50	36.40	31.4	31.03	32.13	33.20	29.3
104	34.20	37.43	36.60	32	30.30	32.10	32.00	28.7
105	34.17	35.93	36.47	28	30.07	32.17	32.13	28
106	33.53	36.83	36.50	26.4	29.40	31.53	31.67	31.3
107	34.27	35.10	36.73	27.4	29.70	30.87	31.37	30.7

108	33.27	36.97	36.50	25.9	30.27	31.40	31.17	29.4
109	33.00	35.63	34.67	27	29.13	31.00	31.17	24
110	35.17	35.53	34.27	30.7	28.67	30.83	32.80	26.7
111	35.50	35.13	33.20	33.4	29.40	30.57	32.13	26.1
112	36.27	35.53	33.23	30.1	29.03	30.47	31.70	30.4
113	35.93	35.43	32.67	27.2	30.77	30.17	31.97	33.1
114	34.20	34.73	31.97	28.1	30.33	30.33	31.23	26
115	34.67	33.23	32.20	31.2	29.93	31.17	30.90	26.7
116	34.70	33.40	31.93	27.6	29.13	30.67	30.30	26
117	34.13	33.10	31.43	26	28.90	30.53	31.43	28.2
118	34.27	32.40	31.17	27	28.23	31.10	30.20	28.4
119	34.13	32.10	31.20	27.6	28.47	30.00	30.13	24.3
120	33.13	32.23	31.03	29	29.47	29.80	29.60	27
121	32.67	32.10	30.90	30.4	28.77	29.77	29.43	27.2
122	33.20	31.40	29.93	28.4	28.87	30.33	29.50	28.1
123	32.30	31.33	30.17	28	29.37	29.73	30.50	31
124	32.13	31.27	29.87	26	29.73	29.33	29.97	30.1
125	32.03	31.37	29.70	29	30.20	29.37	29.33	29.7
126	31.47	29.67	29.70	28	29.93	29.03	29.93	26
127	30.97	30.00	29.57	28.7	29.03	30.40	30.60	27.4
128	31.40	30.27	29.73	29.1	29.23	30.03	31.00	24.6
129	29.63	29.87	30.17	28	28.07	29.23	29.60	31.4
130	29.53	29.97	28.70	30.7	28.13	29.00	28.93	32
131	29.57	29.93	29.17	25.3	27.77	29.60	29.43	28
132	29.57	29.33	28.87	29	28.23	30.57	28.73	26.4
133	29.63	29.13	29.37	26.5	29.20	30.50	29.00	27.4
134	29.67	29.07	29.40	26	28.30	29.57	28.37	25.9

135	28.93	29.33	28.70	28.4	26.87	29.03	28.73	27
136	28.57	28.57	29.40	27	28.50	29.33	28.37	30.7
137	28.93	29.30	29.37	30	29.10	28.83	28.00	33.4
138	28.87	29.20	28.47	29	30.57	28.57	28.03	30.1
139	28.70	28.43	28.43	27.4	27.90	28.03	27.80	27.2
140	28.33	28.47	28.43	23.7	28.03	28.43	28.13	28.1
141	28.33	28.30	28.33	24	28.30	28.43	27.87	31.2
142	28.27	28.03	28.30	27.1	27.50	28.07	28.00	27.6
143	28.33	28.23	28.47	28.5	27.73	28.07	28.00	26
144	28.40	28.47	28.30	31.2	27.57	27.50	28.03	27
145	28.10	28.23	28.30	30	27.57	28.00	28.13	27.6
146	28.47	28.00	28.20	28.6	27.47	27.73	28.00	29
147	28.30	28.37	28.20	28	27.03	28.10	28.20	30.4
148	28.13	27.83	28.00	26.4	27.03	28.03	28.03	28.4
149	28.00	27.97	28.03	27	26.63	27.93	28.07	28
150	28.00	27.67	27.87	26	27.27	28.00	27.93	26

---

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 4. Instrumento de registro de los parámetros físicos, químicos y biológicos del compost**

**Tabla 22.** Base de datos fisicoquímicos del compost.

		<b>PH (1:2)</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>Humedad Hd (%)</b>	<b>Materia Seca (%)</b>	<b>Materia Organica (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>C/N</b>	<b>P2O5 (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Mg (%)</b>	<b>Na (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>Fe (ppm)</b>	<b>Cu (ppm)</b>	<b>Mn (ppm)</b>
<b>CAMA 1</b>	<b>M1</b>	8.76	6.25	8.000	92.000	13.950	78.050	0.840	8.304	0.386	1.337	0.124	0.098	0.734	54.35	12452.88	7.51	705.98
<b>CAMA 1</b>	<b>M2</b>	8.78	6.27	7.389	92.611	16.749	75.862	0.952	8.797	0.404	1.461	0.116	0.096	0.744	54.41	12690.96	7.82	722.37
<b>CAMA 1</b>	<b>M3</b>	8.79	6.28	9.314	90.686	17.157	73.529	0.896	9.574	0.431	1.543	0.128	0.098	0.748	56.14	12963.72	7.95	745.95
<b>CAMA 2</b>	<b>M1</b>	8.83	7.46	9.000	91.000	20.450	70.550	1.064	9.610	0.521	2.079	0.201	0.123	1.043	50.00	12184.62	8.81	382.97
<b>CAMA 2</b>	<b>M2</b>	8.84	7.51	6.965	93.035	24.876	68.159	1.075	11.568	0.539	2.102	0.212	0.127	1.056	52.94	12762.57	9.73	390.37
<b>CAMA 2</b>	<b>M3</b>	8.87	7.53	6.341	93.659	22.439	71.220	1.120	10.017	0.567	2.067	0.214	0.139	1.068	57.29	12806.30	10.65	437.50
<b>CAMA 3</b>	<b>M1</b>	8.77	6.54	7.500	92.500	20.000	72.500	1.344	7.440	0.542	1.151	0.149	0.137	1.050	62.16	10495.14	7.78	169.73
<b>CAMA 3</b>	<b>M2</b>	8.79	6.57	7.960	92.040	18.905	73.134	1.456	6.492	0.568	2.173	0.170	0.159	1.205	70.43	11146.49	10.00	212.65
<b>CAMA 3</b>	<b>M3</b>	8.96	6.66	6.373	93.627	21.078	72.549	1.512	6.970	0.596	2.429	0.227	0.164	1.454	73.96	11399.72	10.19	234.85
<b>CAMA 1</b>	<b>M1</b>	9.07	10.60	7.000	93.000	29.950	63.050	1.736	8.626	0.915	3.428	0.264	0.162	2.067	150.24	7909.68	19.9	849.46
<b>CAMA 1</b>	<b>M2</b>	9.11	10.68	8.824	91.176	27.451	63.725	1.792	7.659	1.121	3.478	0.307	0.169	2.309	161.02	8222.15	24.46	908.60
<b>CAMA 1</b>	<b>M3</b>	9.12	10.71	12.981	87.019	23.007	63.942	1.904	6.060	1.238	3.590	0.481	0.189	2.349	166.30	10786.74	30.66	977.90
<b>CAMA 2</b>	<b>M1</b>	9.24	10.83	7.389	92.611	35.961	56.650	1.792	10.034	0.562	2.400	0.361	0.138	2.074	117.55	9307.23	22.23	441.49
<b>CAMA 2</b>	<b>M2</b>	9.33	10.87	7.882	92.118	23.645	68.473	1.960	6.032	0.606	2.524	0.39	0.156	2.083	130.16	9811.50	31.60	475.94
<b>CAMA 2</b>	<b>M3</b>	9.48	10.93	12.255	87.745	28.873	58.873	2.072	6.967	0.863	3.899	0.427	0.174	2.239	155.59	11260.34	41.59	553.07
<b>CAMA 3</b>	<b>M1</b>	10.94	11.04	8.612	91.388	22.967	68.421	1.456	7.887	0.604	1.724	0.307	0.140	2.721	64.97	8453.93	10.10	223.35
<b>CAMA 3</b>	<b>M2</b>	10.97	11.13	8.911	91.089	29.208	61.881	1.680	8.693	0.877	2.101	0.323	0.146	2.940	70.88	9590.76	10.84	254.37
<b>CAMA 3</b>	<b>M3</b>	10.98	11.42	12.683	87.317	25.854	61.463	1.904	6.789	0.978	2.184	0.506	0.186	3.061	81.12	11873.74	14.41	332.96

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23.** Ficha de parámetros biológicos del compost.

<b>COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>							
<b>PRIMERA MUESTRA</b>				<b>PRIMERA MUESTRA</b>			
SIN/MIC		CAMA 1	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 1	AUSENCIA
SIN/MIC		CAMA 2	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 2	AUSENCIA
SIN/MIC		CAMA 3	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 3	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 1	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 1	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 2	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 2	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 3	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 3	AUSENCIA
<b>SEGUNDA MUESTRA</b>				<b>SEGUNDA MUESTRA</b>			
SIN/MIC		CAMA 1	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 1	AUSENCIA
SIN/MIC		CAMA 2	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 2	AUSENCIA
SIN/MIC		CAMA 3	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 3	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 1	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 1	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 2	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 2	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 3	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 3	AUSENCIA
<b>TERCERA MUESTRA</b>				<b>TERCERA MUESTRA</b>			
SIN/MIC		CAMA 1	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 1	AUSENCIA
SIN/MIC		CAMA 2	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 2	AUSENCIA
SIN/MIC		CAMA 3	AUSENCIA	SIN/MIC		CAMA 3	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 1	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 1	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 2	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 2	AUSENCIA
CON/MIC		CAMA 3	AUSENCIA	CON/MIC		CAMA 3	AUSENCIA
<b>RECuento BACTERIANO</b>				<b>RECuento FUNGICO</b>			
<b>PRIMERA MUESTRA</b>			<b>RESULTADO</b>	<b>PRIMERA MUESTRA</b>			<b>RESULTADO</b>
SIN/MIC	CAMA 1	INCONTABLE	INCONTABLE	SIN/MIC	CAMA 1	14x1x10 <sup>3</sup>	14x10 <sup>3</sup> UFC/gr
SIN/MIC	CAMA 2	63x16	1008*10 <sup>3</sup>	SIN/MIC	CAMA 2	11x1x10 <sup>3</sup>	11x10 <sup>3</sup> UFC/gr
SIN/MIC	CAMA 3	29X16	464*10 <sup>3</sup>	SIN/MIC	CAMA 3	23x1x10 <sup>3</sup>	23x10 <sup>3</sup> UFC/gr

CON/MIC	CAMA 1	42X16	672*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 1	24x1x10 <sup>3</sup>	24x10 <sup>3</sup> UFC/gr
CON/MIC	CAMA 2	52x16	832*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 2	16x1x10 <sup>3</sup>	16x10 <sup>3</sup> UFC/gr
CON/MIC	CAMA 3	63x16	1008*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 3	26x1x10 <sup>3</sup>	26x10 <sup>3</sup> UFC/gr

SEGUNDA MUESTRA				RESULTADO	SEGUNDA MUESTRA				RESULTADO
SIN/MIC	CAMA 1	INCONTABLE	INCONTABLE	INCONTABLE	SIN/MIC	CAMA 1	32x1x10 <sup>3</sup>	32x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
SIN/MIC	CAMA 2	INCONTABLE	INCONTABLE	INCONTABLE	SIN/MIC	CAMA 2	39x1x10 <sup>3</sup>	39x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
SIN/MIC	CAMA 3	45x16	720*10 <sup>3</sup>	720*10 <sup>3</sup>	SIN/MIC	CAMA 3	85x1x10 <sup>3</sup>	85x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
CON/MIC	CAMA 1	23x4	92*10 <sup>3</sup>	92*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 1	7x1x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
CON/MIC	CAMA 2	INCONTABLE	INCONTABLE	INCONTABLE	CON/MIC	CAMA 2	2x1x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
CON/MIC	CAMA 3	42X16	672*10 <sup>3</sup>	672*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 3	5x1x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
TERCERA MUESTRA				RESULTADO	TERCERA MUESTRA				RESULTADO
SIN/MIC	CAMA 1	23x16	368*10 <sup>3</sup>	368*10 <sup>3</sup>	SIN/MIC	CAMA 1	8x1x10 <sup>3</sup>	8x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
SIN/MIC	CAMA 2	36x16	576*10 <sup>3</sup>	576*10 <sup>3</sup>	SIN/MIC	CAMA 2	14x1x10 <sup>3</sup>	14x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
SIN/MIC	CAMA 3	21x16	336*10 <sup>3</sup>	336*10 <sup>3</sup>	SIN/MIC	CAMA 3	18x1x10 <sup>3</sup>	28x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
CON/MIC	CAMA 1	26x16	416*10 <sup>3</sup>	416*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 1	10x1x10 <sup>3</sup>	10x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
CON/MIC	CAMA 2	22x16	352*10 <sup>3</sup>	352*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 2	24x1x10 <sup>3</sup>	24x10 <sup>3</sup> UFC/gr	
CON/MIC	CAMA 3	29x16	464*10 <sup>3</sup>	464*10 <sup>3</sup>	CON/MIC	CAMA 3	30x1x10 <sup>3</sup>	30x10 <sup>3</sup> UFC/gr	

Fuente: Elaboración propia

### 8.3. Panel fotográfico



**Figura 32.** Residuos sólidos orgánicos generados en el Distrito de Tocache.



**Figura 33.** Método de cuarteo para determinar densidad de los residuos sólidos orgánicos.



**Figura 34.** Medición de altura libre del cilindro para la el calculo de la densidad



**Figura 35.** Segregación de residuos sólidos orgánicos para determinar su composición.



**Figura 36.** Pesado de los residuos sólidos orgánicos generados.



**Figura 37.** Recolección de muestra de residuos sólidos previo al proceso de compostaje.



**Figura 38.** Picado de muestra de residuos sólidos orgánicos antes del proceso de compostaje.



**Figura 39.** Muestra de residuos sólidos orgánicos en laboratorio



**Figura 40.** Pesado de muestra de residuos para determinar su composición.



**Figura 41.** Muestras colocadas a 105°C durante 24 horas para determinar la humedad



**Figura 42.** Triturado de residuos sólidos orgánicos para su respectivo análisis.



**Figura 43.** Preparación de muestras de los residuos sólidos para su respectivo análisis.



**Figura 44.** Medición de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de la UNAS.



**Figura 45.** Medición de temperatura de cada una de las camas composteras.



**Figura 46.** Temperatura de los residuos sólidos orgánicos en su proceso de descomposición.



**Figura 47.** Realizando el proceso de volteo de compost.



**Figura 48.** Realizando la medición del largo de la cama de composta para determinar su volumen.



**Figura 49.** Cu (ppm) obtenido de las camas de compost.



**Figura 50.** Medición de los laterales de la cama de composta para determinar su volumen.



**Figura 51.** Agregado de microorganismos eficiente a la cama de compost



**Figura 52.** Recolección de muestra de compost



**Figura 53.** Humedeciendo muestra de compost para análisis de actividad respiratoria.



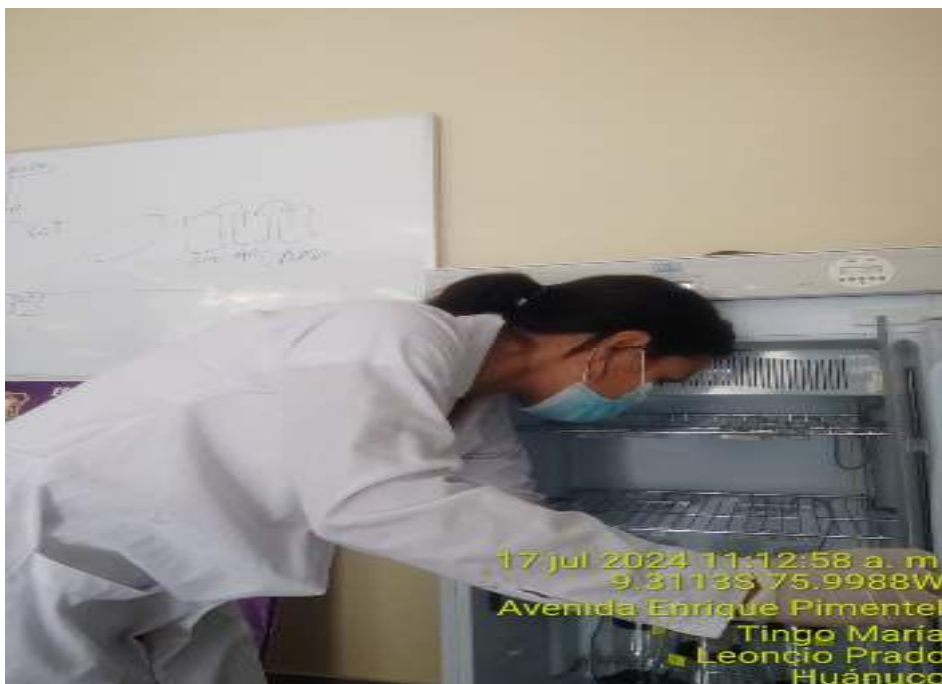
**Figura 54.** Pesado de muestras de compost antes de ingresar al horno.



**Figura 55.** Muestras colocadas en el horno a 105°C durante 24 horas



**Figura 56.** Muestras colocadas en el horno a 105°C por 24 horas.



**Figura 57.** Determinación de la actividad respiratoria del compost mediante Oxitop



**Figura 58.** Frascos de oxitop en la incubadora durante 7 días.



**Figura 59.** Tamizado de compost finalizado.



**Figura 60.** Pesado de solución de Ec Broth para determinar coliformes termotolerantes.



**Figura 61.** Filtrado de solución con la muestra de compost para posterior análisis.



**Figura 62.** Muestras de compost diluida en caldo peptona para posterior análisis.



**Figura 63.** Incubación de muestras por 24 horas.



**Figura 64.** Solución con Ec Broth para determinar coliformes termotolerantes.



**Figura 65.** Solución diluida de compost para determinar el recuento fúngico y bacteriano.



**Figura 66.** Solución diluida de compost para determinar coliformes termotolerantes.



**Figura 67.** Incubación de muestras por 24 horas para determinar coliformes termotolerantes.



**Figura 68.** Lectura de resultados de recuento fúngico y bacteriano.



**Figura 69.** Lectura de resultados de coliformes termotolerantes.

#### 8.4. Permisos y medios probatorios de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



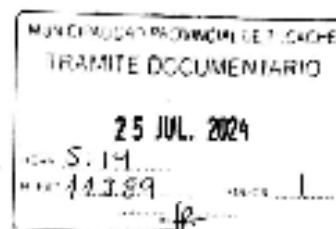
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Tocache, 25 de julio de 2024.

**PARA :** Ing. Vidal Gonzales Zavaleta  
Alcalde-Municipalidad provincial de Tocache

**DE :** Bach. Liz Mirella Benites Vasquez  
Tesis EPIA - UNAS - Tiago Mora - Huánuco

**ATENCIÓN :** Gerencia de Desarrollo Ambiental.



**PRESENTE.**

**ASUNTO :** Culminación de ejecución de tesis en la planta de valorización de residuos orgánicos de Pucayacu – Tocache.

Mediante la presente me es muy grato dirigirme a usted para saludarlo al mismo tiempo deseando éxitos en sus funciones laborales. A la vez manifestarle lo siguiente:

Que ya se concluyó la fase de ejecución del proyecto de tesis "**TIEMPO DE COMPOSTA ESTABILIZADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE, SAN MARTIN**", Asesorada por el Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO.

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por lo que pongo de conocimiento la culminación de este proyecto. Posteriormente se le estará haciendo llegar el volumen final con los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos realizadas a las muestras de compost de los meses de mayo, junio y julio del presente año.

Cualquier consulta o comunicación mi número de teléfono es 972251072 o al correo [blizmirella@gmail.com](mailto:blizmirella@gmail.com)

Muy agradecida por su colaboración en esta investigación me despido de usted no sin antes reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Bach. Liz Mirella Benites Vasquez  
Tesis - EPIA - UNAS

Figura 70. Carta de culminación de ejecución de tesis presentada al Municipio.


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Tingo María - Perú

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Laboratorio de Calidad de Suelo

Av. Universitaria S/N, km. 1.5 carretera a Huánuco - Central Telf. (062) 542343 - 543350.



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Tingo María, 18 de enero del 2024

**CARTA N° 002-2023-VCS-EPIA-FRNR-UNAS/SLZS**

**PARA :** Dr. Cesar Samuel López López  
 Director de la EPIA-FRNR-UNAS

**DE :** Dr. Victor Manuel Beteta Alvarado  
 Jefe de laboratorio de Calidad de suelos

**ASUNTO :** Aceptación de tesis para uso de laboratorio

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Facultad Profesional de Ingeniería Ambiental

**SECRETARIA**

24 ENE 2024

Recibido en el Laboratorio de Calidad de Suelos

Es grato dirigirme a usted para, para poner de su conocimiento que se está admitiendo a la tesis Liz Mirilla Benites Vasquez, para realizar análisis de muestra de compost de pH, humedad y densidad con la finalidad de obtener datos para el desarrollo de su tesis Titulada: "TIEMPO DE COMPOSTA ESTABILIZADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE, SAN MARTÍN".

En el laboratorio de Calidad de Suelos.

Sin otro particular quedo de usted.

Atentamente:

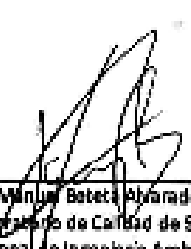
  
 Dr. Victor Manuel Beteta Alvarado  
 Jefe(a) del Laboratorio de Calidad de Suelos  
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
 FRNR - UNAS

Figura 71. Carta de aceptación del uso de Laboratorio de calidad de suelos.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junin y Ayacucho"

**CARGO**

**SOLICITO: PERMISO PARA USO DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA**

**SECRETARIA**

SEÑOR

DR. CESAR LOPEZ LOPEZ

12 MAR 2024

Recibido en el Departamento de Ingeniería Ambiental

**JEFE DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA, DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL, DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.**

Yo **LIZ MIRELLA BENITES VASQUEZ**, egresada de la Escuela Profesional de INGENIERIA AMBIENTAL, de la FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES, de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, identificado con DNI 75145012, me presento ante usted con el debido respeto y expongo lo siguiente:

Que estando en el desarrollo de la tesis titulada "**Tiempo de composta estabilizado de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Tocache, San Martín**" para obtener el título profesional, es que recorro a su despacho para solicitar el USO DEL LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA, para realizar análisis de muestras de compost en sus propiedades biológicas: RECUENTO FUNGICO y RECUENTO BACTERIANO, con la finalidad de obtener datos necesarios para el correcto desarrollo de la tesis, por lo que espero que pueda realizar el trámite correspondiente para brindarme la facilidad del caso.

Por lo expuesto, agradezco de antemano la atención a lo solicitado y me despido muy cordialmente de usted.

Adjunto

- Resolución de facultad N° 558-2023-D-FRNR-UNAS

Tingo Maria 12 de Marzo de 2024

Atentamente

**Bach. Liz Mirella Benites Vasquez**  
**DNI: 75145012**  
**Tesista**

**Figura 72.** Permiso para el uso del laboratorio de Microbiología.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



*"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"*

Tingo María 21 de mayo del 2024

**Señores miembros del jurado:**

Presidente: Ing. M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO  
Miembro: Ing. M. Sc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO  
Miembro: Blgo.M.Sc. CESAR AUGUSTO GOZME SULCA  
Asesor: Dr. VÍCTOR MANUEL BETETA ALVARADO

Yo: LIZ MIRELLA BENITES VASQUEZ tesista de la especialidad de INGENIERIA AMBIENTAL.  
**SOLICITO: SUPERVISIÓN DE LA EJECUCIÓN DE MI TESIS TITULADA: TIEMPO DE COMPOSTA ESTABILIZADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE, SAN MARTIN.**

Pongo de conocimiento que mediante Resolución N°558-2023-D-FRNR-UNAS se aprueba la ejecución de mi proyecto de tesis y a su vez se ratifica la designación de los miembros del jurado designado por la Comisión de Tesis, Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables. En virtud de la presente resolución y el requerimiento de supervisión de la ejecución de los proyectos de tesis:

Hago la invitación para supervisar la ejecución de mi proyecto de tesis el cual será realizado en la planta de Valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad provincial de Tocache en el Centro Poblado de Pucayacu, Tocache, San Martín el miércoles 29 de mayo del presente año, las actividades a realizar son la medición del parámetro de temperatura de las composteras, volteo de las camas composteras, asimismo la toma de muestras para realizar el análisis químico y biológico. El análisis físico y químico será analizado en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y el análisis biológico será analizado en el laboratorio de Microbiología de la escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. El punto de partida será la puerta dos de la UNAS – Tingo María a las 6:00 a.m., se estima llegar en tres horas y 30 minutos al lugar de ejecución, y el tiempo de realización de la actividad programada en el lugar de trabajo es de 2 horas. Luego, se retornaría a la ciudad de Tingo María. Por último, el 31 de mayo del presente año se realizará lecturas del análisis biológico en el laboratorio de Microbiología de la UNAS de las muestras recolectadas, esta actividad empezaría a las 9:00 a.m. y terminaría a las 10: 00 a.m. Se contará con refrigerio y transporte.

Gracias anticipadas por su tiempo. Muy atentamente.

Liz Mirella Benites  
Vasquez  
Tesista

Dr. Víctor Manuel  
Beteta Alvarado  
Asesor

*21/05/24*  
*Rhonda*  
*21/05/24*

*21/05/24*  
*21/05/24*

**Figura 73.** Invitación para la supervisión de ejecución de la investigación.



# ANALISIS ESPECIAL



1. DATOS

SOLICITANTE:	BENITES VASQUEZ LIZ NIRELLA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	SAN MARTIN	FECHA DE REPORTE:	4/10/2024
PROVINCIA:	TOCACHE	RÉCIBO O FACTURA:	46901
DISTRITO:	TOCACHE	MUESTRA:	COMPOST
LOCALIDAD:	PUCAYACU	REFERENCIA:	

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA					RESULTADOS EN BASE HUMEDA								RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	N° de cama	N° de muestra	Fecha	PH (1:2)	CE (dS/m)	Humedad Hid (%)	Materia Seca (%)	Materia Orgánica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-030	SME	1	1	8/4/2024	6.76	6.25	8.060	92.000	13.950	78.050	0.840	8.304	0.386	1.337	0.124	0.098	0.734	54.35	12452.88	7.51	705.98
E24-046	SME	1	2	8/5/2024	6.78	6.27	7.389	92.611	16.749	75.862	0.952	8.797	0.404	1.461	0.116	0.096	0.744	54.41	12690.96	7.82	722.37
E24-075	SME	1	3	8/6/2024	6.79	6.28	9.314	90.686	17.157	73.529	0.896	9.574	0.431	1.543	0.128	0.098	0.748	56.14	12963.72	7.95	745.95

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras analizadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del IANASE.  
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de prácticas o como validación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo María  
  
 Dr. BENITO HUMBERTO HUAMANI HUANCOSI  
 Director del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 74. Análisis de las muestras del compost de la cama 1 sin microorganismo.



# ANÁLISIS ESPECIAL



**1. DATOS**

SOLICITANTE:	BENITES VASQUEZ LIZ MIRELLA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	SAN MARTIN	FECHA DE REPORTE:	4/10/2024
PROVINCIA:	TOCACHE	RECIBO O FACTURA:	48030
DISTRITO:	TOCACHE	MUESTRA:	COMPOST
LOCALIDAD:	PUCAYACU	REFERENCIA:	

**2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO**

DATOS DE LA MUESTRA					RESULTADOS EN BASE HUMEDA							RESULTADOS EN BASE SECA									
Código	Dato	N° de cama	N° de muestra	Fecha	PH (1:2)	CE (dS/m)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fa ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-032	SME	3	1	18/04/2024	8.77	6.54	7.500	92.500	20.000	72.500	1.344	7.440	0.542	1.151	0.149	0.137	1.050	62.16	10495.14	7.78	169.73
E24-048	SME	3	2	18/05/2024	8.79	6.57	7.960	92.040	18.905	73.134	1.456	6.492	0.568	2.173	0.170	0.159	1.205	70.43	11146.49	10.00	212.65
E24-077	SME	3	3	18/06/2024	8.96	6.66	6.373	93.627	21.078	72.549	1.512	6.970	0.596	2.429	0.227	0.164	1.454	73.96	11393.72	10.19	234.85

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras enviadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta información sin la autorización escrita del LAMSE.  
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo Maria

*[Firma]*  
 DR. RUGO ANTONIO HUANGANI TUPANQUI  
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 75. Análisis de las muestras del compost de la cama 2 sin microorganismo.



# ANÁLISIS ESPECIAL



1. DATOS

SOLICITANTE:	BENITES VÁSQUEZ LIZ MIRELLA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	SAN MARTIN	FECHA DE REPORTE:	4/10/2024
PROVINCIA:	TOCACHE	RECIBO O FACTURA:	49995
DISTRITO:	TOCACHE	MUESTRA:	COMPOST
LOCALIDAD:	PUCAYACU	REFERENCIA:	

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA					RESULTADOS EN BASE HUMEDA								RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	N° de cama	N° de muestra	Fecha	PH (1:2)	CE (dS/m)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	CIN	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-044	CME	2	1	10/5/2024	9.24	10.83	7.389	92.611	35.961	56.650	1.792	10.034	0.562	2.400	0.361	0.138	2.074	117.55	9307.23	22.23	441.49
E24-079	CME	2	2	10/6/2024	9.33	10.87	7.882	92.318	23.645	68.473	1.960	6.032	0.606	2.524	0.390	0.156	2.083	130.16	9811.50	31.60	475.94
E24-094	CME	2	3	10/7/2024	9.48	10.95	12.255	87.745	28.873	58.873	2.072	6.967	0.863	3.899	0.427	0.174	2.239	155.59	11260.34	41.59	553.07

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras analizadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LA SELVA.  
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Trujillo - Tarma

Dr. HUGO FÉLIX HUAMAN YUPANQUI  
 100 del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 76. Análisis de las muestras del compost de la cama 3 sin microorganismo.



# ANALISIS ESPECIAL



**1. DATOS**

SOLICITANTE:	BENITES VASQUEZ LIZ MIRELLA	MUESTREO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	SAN MARTIN	FECHA DE REPORTE:	4/10/2024
PROVINCIA:	TOCACHE	RECIBO O FACTURA:	49995
DISTRITO:	TOCACHE	MUESTRA:	COMPOST
LOCALIDAD:	PUCAYACU	REFERENCIA:	

**2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO**

DATOS DE LA MUESTRA					RESULTADOS EN BASE HUMEDA								RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	N° de cama	N° de muestra	Fecha	PH (1:2)	CE (dS/m)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-033	CME	1	1	3/5/2024	9.07	10.60	7.000	93.000	29.950	63.050	1.736	8.626	0.915	3.428	0.264	0.162	2.067	150.24	7909.68	18.90	849.46
E24-078	CME	1	2	3/6/2024	9.11	10.68	8.824	91.176	27.451	63.725	1.792	7.659	1.121	3.478	0.307	0.169	2.309	161.02	8222.15	24.46	908.60
E24-093	CME	1	3	3/7/2024	9.12	10.71	12.981	87.019	23.077	63.942	1.904	6.060	1.238	3.590	0.481	0.189	2.349	166.30	10786.74	30.66	977.90

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras encapsuladas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAG.  
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo Maria

*[Firma]*

Dr. HUGO ALFREDO HUAMAN YUPANQUI  
 jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 77. Análisis de las muestras del compost de la cama 1 con macroorganismo



# ANÁLISIS ESPECIAL



**1. DATOS**

SOLICITANTE:	BENITES VASQUEZ LIZ MIRELLA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	SAN MARTIN	FECHA DE REPORTE:	4/10/2024
PROVINCIA:	TOCACHE	RECIBO O FACTURA:	61194
DISTRITO:	TOCACHE	MUESTRA:	COMPOST
LOCALIDAD:	PUCAYACU	REFERENCIA:	

**2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO**

DATOS DE LA MUESTRA					RESULTADOS EN BASE HUMEDA								RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	N° de cama	N° de muestra	Fecha	PH (1:2)	CE (dS/m)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-045	CME	3	1	14/5/2024	10.94	11.04	8.612	91.388	22.967	68.421	1.456	7.887	0.604	1.724	0.307	0.140	2.721	64.97	8453.93	10.10	223.35
E24-080	CME	3	2	14/6/2024	10.97	11.13	8.911	91.089	29.208	61.861	1.680	8.693	0.877	2.101	0.323	0.146	2.940	70.88	9590.76	10.84	254.37
E24-095	CME	3	3	14/7/2024	10.98	11.42	12.683	87.317	25.854	61.463	1.904	6.789	0.976	2.184	0.506	0.186	3.061	81.12	11873.74	14.41	332.96

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LAGS.  
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo Maria

Dr. HUGO ALFREDO HUAMAN YUPANQUI  
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 78. Análisis de las muestras del compost de la cama 2 con macroorganismo.



# ANÁLISIS ESPECIAL



1. DATOS

SOLICITANTE:	BENITES VASQUEZ LIZ MIRELLA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	SAN MARTIN	FECHA DE REPORTE:	4/10/2024
PROVINCIA:	TOCACHE	RECIBO O FACTURA:	61194
DISTRITO:	TOCACHE	MUESTRA:	COMPOST
LOCALIDAD:	PUCAYACU	REFERENCIA:	

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA					RESULTADOS EN BASE HUMEDA								RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	N° de cama	N° de muestra	Fecha	PH (1-2)	CE (dS/m)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-045	CME	3	1	14/5/2024	10.94	11.04	8.512	91.388	22.967	68.421	1.456	7.887	0.604	1.724	0.307	0.140	2.721	64.97	8453.93	10.10	223.35
E24-080	CME	3	2	14/6/2024	10.97	11.13	8.911	91.089	29.208	61.661	1.680	8.693	0.877	2.101	0.323	0.146	2.940	70.88	9590.75	10.84	254.37
E24-095	CME	3	3	14/7/2024	10.98	11.42	12.683	87.317	25.854	61.463	1.904	6.789	0.978	2.184	0.506	0.186	3.061	81.12	11873.74	14.41	332.96

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LAB06.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo Maria

Dr. HUGO ALFREDO SALAZAR YUPANQUI  
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 79. Análisis de las muestras del compost de la cama 3 con macroorganismo.