

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



**CALIDAD DEL COMPOST PRODUCIDO A PARTIR DE DIFERENTES MEZCLAS
DE RESIDUOS ORGÁNICOS, EN LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE PILLCO MARCA,
HUÁNUCO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

YON BAYLON SANTAMARIA

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 061-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 09 de mayo de 2025, a horas 8:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“ CALIDAD DEL COMPOST PRODUCIDO A PARTIR DE DIFERENTES
MEZCLAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS, EN LA PLANTA DE
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ÓRGANICOS DEL DISTRITO
DE PILLCO MARCA, HUÁNUCO”**

Presentado por el Bachiller: **BAYLON SANTAMARIA YON**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENA**”.

En consecuencia, el 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, 20 de mayo de 2025


Dr. JOSÉ KALIÓN GUERRA LU
PRESIDENTE


Ing. MSc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO
MIEMBRO


Ing. MSc. ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ
MIEMBRO




Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 188 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis X Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CALIDAD DEL COMPOST PRODUCIDO A PARTIR DE DIFERENTES MEZCLAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS, EN LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE PILLCO MARCA, HUÁNUCO	YON BAYLON SANTAMARIA	21 % Veintiuno

Tingo María, 16 de junio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomás Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

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



**CALIDAD DEL COMPOST PRODUCIDO A PARTIR DE DIFERENTES MEZCLAS
DE RESIDUOS ORGÁNICOS, EN LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE PILLCO MARCA,
HUÁNUCO**

Autor	: Bach. Yon Baylon Santamaria
Asesor	: Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo
Línea de investigación	: Ciencia y tecnologías ambientales
Programa de investigación	: Tecnologías limpias
Eje temático de investigación	: Manejo de los residuos sólidos
Lugar de ejecución	: Planta de Valorización de RSO - Pillco Marca
Duración	: 7 meses
Financiamiento	: Propio

Tingo María – Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y darme sabiduría en los momentos de adversidades, durante mi vida y mi formación académica como profesional.

A mi querido hijo Matteo, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mi amada madre AULERIA BELI SANTAMARIA AQUINO, por inculcarme buenos valores, ganas de superación y por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida y en la culminación de mis estudios (QEPD).

A mi padrastro Fridolino y mis hermanas Erica, Thalia y Mary, por depositar su confianza en mí, y nunca haber dudado de lo que puedo lograr, y por su apoyo durante esta etapa de mi vida.

A mi abuelo y mis tíos, por su cariño y apoyo moral en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por la oportunidad de alcanzar esta meta y contribuir en mi formación personal y académico.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quienes guiaron y orientaron mi camino con sus enseñanzas.

A mi asesor Ing. MSc. Franklin Dionisio Montalvo por su orientación profesional, respaldo y sobre todo su comprensión durante el presente trabajo de investigación.

A los miembros integrantes del jurado de tesis Dr. Guerra Lu; Ing. MSc. Abby Salange; Ing. MSc. Sandra Lorena por su orientación, sugerencias y observaciones que han contribuido en el presente trabajo.

A los obreros municipales del programa de segregación de la municipalidad distrital de Pillco Marca, Sr(a). Yulma, Juancho y Calep, por el apoyo en la caracterización y en el proceso de compostaje de los residuos sólidos orgánicos municipales.

A todos mis amigos gracias por sus consejos y apoyo desinteresado.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Ámbito internacional.....	3
2.1.2. Ámbito nacional	4
2.1.3. Ámbito Local.....	5
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Residuos sólidos.....	6
2.2.2. Estiércol.....	6
2.2.3. Compostaje.....	8
2.2.4. Compost	11
2.2.5. Calidad del compost.....	11
2.2.6. Microorganismos eficientes (EM).....	14
2.2.7. Degradación de materia orgánica.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Lugar de ejecución	16
3.1.1. Ubicación	16
3.1.2. Aspectos climáticos.....	16
3.1.3. Aspectos socioeconómicos.....	17
3.1.4. Descripción del proceso de compostaje en la PVRSO.....	18
3.2. Materiales y equipos	18
3.2.1. Materiales y herramientas	18

3.2.2. Equipos e indumentaria.....	19
3.3. Aspectos de la investigación.....	19
3.3.1. Tipo de investigación.....	19
3.3.2. Nivel de investigación.....	19
3.3.3. Diseño de la investigación.....	19
3.3.4. Variables e indicadores.....	21
3.3.5. Análisis estadístico.....	21
3.4. Metodología.....	22
3.4.1. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios.....	22
3.4.2. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas del compost.....	23
3.4.3. Determinación de la calidad del compost.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Composición de los residuos orgánicos domiciliarios.....	29
4.2. Características físicas, químicas y microbiológicas del compost.....	30
4.2.1. Monitoreo del proceso de compostaje.....	30
4.2.2. Características físicas del compost.....	32
4.2.3. Características químicas del compost.....	37
4.2.4. Características microbiológicas del compost.....	54
4.3. Calidad del compost.....	56
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	59
VII. REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Características fisicoquímicas del compost producido a partir de RSU segregados y no segregados en origen.....	4
2. Composición química del estiércol de cuy.....	7
3. Composición química del estiércol de oveja.....	7
4. Valores permitidos de las características físicas del compost, según NCh2880.....	12
5. Valores permitidos de las características químicas del compost, según NCh2880....	12
6. Valores permisibles de tolerancia de patógenos en compost, según NCh2880.....	13
7. Límites máximos permitidos para las características físicas del compost.....	13
8. Límites máximos permitidos para las características químicas del compost.....	14
9. Límites máximos admisibles de patógenos en compost.....	14
10. Composición de los tratamientos evaluados.....	20
11. Variables e indicadores para determinar la calidad de compost.....	21
12. Valores permisibles de los parámetros de compost según NCh2880 y NTP201.208..	27
13. Composición física de los residuos orgánicos domiciliarios.....	29
14. Tamaño de partículas (%) del compost de cada tratamiento.....	32
15. ANOVA de contenido de humedad de los tratamientos.....	33
16. Prueba de Duncan para contenido de humedad de los tratamientos.....	33
17. ANOVA de conductividad eléctrica de los tratamientos.....	35
18. Prueba de Duncan para conductividad eléctrica de los tratamientos.....	35
19. ANOVA de pH de los tratamientos.....	37
20. Prueba de Duncan para pH de los tratamientos.....	37
21. ANOVA de contenido de materia orgánica de los tratamientos.....	39
22. Prueba de Duncan para materia orgánica de los tratamientos.....	39
23. ANOVA de relación C/N de los tratamientos.....	41

24. Prueba de Duncan para relación C/N de los tratamientos.....	41
25. ANOVA de nitrógeno total de los tratamientos.....	43
26. ANOVA de contenido de fósforo de los tratamientos.....	44
27. Prueba de Duncan para fósforo de los tratamientos.....	45
28. ANOVA de contenido de potasio de los tratamientos.....	46
29. Prueba de Duncan para potasio de los tratamientos.....	46
30. ANOVA de cobre de los tratamientos.....	48
31. Prueba de Duncan para cobre de los tratamientos.....	48
32. ANOVA de zinc de los tratamientos.....	50
33. Contenido de cadmio (Cd) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	52
34. ANOVA de plomo de los tratamientos.....	52
35. Prueba de Duncan para plomo de los tratamientos.....	53
36. Cantidad de coliformes fecales del compost obtenido de cada tratamiento.....	54
37. Cantidad de <i>Salmonella sp</i> del compost obtenido de cada tratamiento.....	55
38. Calidad de compost en base a sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos...	56
39. Datos tomados de temperatura (°C) de las pilas durante el proceso de compostaje...	67
40. Datos tomados de pH de las pilas durante el proceso de compostaje.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Fases del proceso de compostaje.....	9
2. Mapa de ubicación del lugar de ejecución de la investigación.....	16
3. Temperatura máxima y mínima mensual en la ciudad de Huánuco, 2023.....	17
4. Precipitación y humedad relativa mensual en la ciudad de Huánuco, 2023.....	17
5. Diseño experimental de la investigación en el área de estudio.....	20
6. Dimensiones de las pilas para cada tratamiento.....	25
7. Flujograma del proceso de investigación.....	28
8. Comportamiento de temperatura en el proceso de compostaje de cada tratamiento.	30
9. Comportamiento del pH en el proceso de compostaje de cada tratamiento.....	32
10. Contenido de humedad (%) del compost obtenido de cada tratamiento.....	34
11. Conductividad eléctrica (dS/m) del compost obtenido de cada tratamiento.....	36
12. Nivel de pH del compost obtenido de cada tratamiento.....	38
13. Materia orgánica (%) del compost obtenido de cada tratamiento.....	40
14. Relación de C/N del compost obtenido de cada tratamiento.....	42
15. Contenido de Nitrógeno (N) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	43
16. Contenido de Fósforo (P) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	45
17. Contenido de Potasio (K) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	47
18. Contenido de Cobre (Cu) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	49
19. Contenido de Zinc (Zn) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	51
20. Contenido de Plomo (Pb) en el compost obtenido de cada tratamiento.....	53
21. Permiso para el uso de la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos.....	73
22. Conformidad de visita de la supervisión del desarrollo de la investigación.....	74
23. Resultados del análisis fisicoquímico del compost obtenido de los tratamientos.....	75
24. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₀ R ₁	76

25. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₀ R ₂	77
26. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₀ R ₃	78
27. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₁ R ₁	79
28. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₁ R ₂	80
29. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₁ R ₃	81
30. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₂ R ₁	82
31. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₂ R ₂	83
32. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₂ R ₃	84
33. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₃ R ₁	85
34. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₃ R ₂	86
35. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T ₃ R ₃	87
36. Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad distrital de Pillco Marca.....	88
37. Acondicionamiento de la base para la formación de las pilas.....	88
38. Caracterización de residuos sólidos orgánicos.....	89
39. Picado de los residuos sólidos orgánicos de tamaño grande.....	89
40. Formación de pilas para el proceso de compostaje de cada tratamiento.....	90
41. Aplicación de EM en la formación de las pilas.....	90
42. Volteo periódico de las pilas de compostaje de cada tratamiento.....	91
43. Medición de la temperatura durante el proceso de compostaje.....	91
44. Medición del pH durante el proceso de compostaje.....	92
45. Fase de maduración de las pilas de compostaje.....	92
46. Toma de muestras de las pilas de cada tratamiento.....	93
47. Rotulación de las muestras para su análisis fisicoquímico y microbiológico.....	93
48. Supervisión de la investigación del presidente del jurado de tesis.....	94

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar la calidad del compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca, Huánuco; para ello se emplearon 4 tratamientos. El T0 estuvo compuesto tal como se produce el compost en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de Pillco Marca, el T1 compuesto por residuos sólidos orgánicos domiciliarios (RSOD) con estiércol de cuy, T2 compuesto por RSOD con estiércol de oveja, y el T3 estuvo compuesto por RSOD con estiércol de cuy y restos de podas. Los primeros 4 meses del proceso de compostaje se monitorearon los parámetros de temperatura y pH, en la cual la temperatura de todos los tratamientos superó los 60°C en la fase termófila. Las características fisicoquímicas; como el tamaño de partículas, humedad, materia orgánica, relación C/N, N, P, Cu, Zn, Cd y Pb, se encuentran dentro de los valores permisibles de la NCh2880 y NTP201.208 en todos los tratamientos, sin embargo se encontró niveles altos de pH y conductividad eléctrica en todos los tratamientos, respecto a la NCh2880. Asimismo no se encontró presencia de coliformes fecales y *salmonella sp* en los compost evaluados. Por lo tanto la calidad del compost obtenido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos, se clasifica como compost de Clase B o calidad intermedia según la NCh2880, debido a los valores altos de pH y conductividad eléctrica que se encontraron en todos los tratamientos.

Palabras clave: compost, estiércol de cuy, estiércol de oveja, residuos orgánicos.

The Quality of the Compost Produced from Different Mixtures of Organic Waste in the Organic Solid Waste Recycling Plant in the Pillco Marca District of Huánuco

Abstract

This research was done with the objective of determining the quality of the compost produced from different mixtures of organic waste in the organic solid waste recycling plant in the Pillco Marca district of Huánuco, [Peru]; to do so, four treatments were used. T0 was made up of the way that compost is produced in the organic solid waste recycling plant in Pillco Marca, T1 was made up of organic solid waste from homes (RSOD – acronym in Spanish) with guinea pig manure, T2 was made up of RSOD with sheep manure, and T3 was made up of RSOD with guinea pig manure and plant trimmings. For the first four months, of the composting process, the temperature and pH parameters were monitored, during which the temperature surpassed 60°C during the thermophile phase for all of the treatments. The physicochemical characteristics: the particle size, humidity, organic matter, C/N relationship, N, P, Cu, Zn, Cd, and Pb were found to be within the allowable values, according to NCh2880 and NTP201.208, for all of the treatments; however, high levels of pH and electrical conductivity were found for all of the treatments, respect to the NCh2880. At the same time, the presence of fecal coliforms and *salmonella sp* was not found for the compost that was evaluated. Thus, the quality of the compost obtained from the different mixtures of organic waste, was classified as Class B compost, or intermediate quality, according to NCh2880, due to the high pH value and electrical conductivity that were found for all of the treatments.

Keywords: compost, guinea pig manure, sheep manure, organic waste.

I. INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica, el manejo inadecuado de residuos sólidos municipales es un problema en aumento debido al crecimiento demográfico, la urbanización y la falta de conocimiento técnico. En el 2021, en Latinoamérica y el Caribe se generó 230 millones de toneladas de residuos, sin embargo solo se aprovechó el 4,39%, de los cuales el 3,85% han sido aprovechado mediante reciclaje y el 0,54% mediante compostaje y co-procesamiento (Alarcón et al., 2023).

En Perú, en el 2023 se generaron 8 455 715 toneladas de residuos, con un 38,7% de disposición inadecuada. A pesar de que el 77,64% de los residuos tienen potencial de valorización (orgánicos e inorgánicos), solo se valorizó el 1,73% (146 637 toneladas), compuesto por 77 296 toneladas de residuos inorgánicos y 69 341 toneladas de residuos orgánicos (MINAM, 2024). Esto demuestra el gran problema ambiental que causa los residuos sólidos municipales y la escasa valorización de residuos orgánicos en el país.

En el distrito de Pillco Marca, de acuerdo al estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del año 2019, se generan un total de 9 012 toneladas de residuos sólidos municipales al año; de los cuales el 52,83% (4 761 t) son residuos sólidos orgánicos; el 23,79% (2 144 t) corresponden a residuos sólidos inorgánicos aprovechables; y el 23,38% (2 107 t) restante son residuos sólidos no aprovechables.

La municipalidad implementa el programa RECICLA en el distrito de Pillco Marca en el 2016, con el fin de minimizar los residuos sólidos para su disposición final. Asimismo las autoridades del distrito, en el año 2020 crearon la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos (PVRSO), para la producción de **compost** a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. El compost es la transformación de los residuos biodegradables, a través de una actividad microbiana, en un bien “Ambiental – Social” con los beneficios de mejorar la calidad del suelo y esencial para la producción orgánica.

En la PVRSO del distrito de Pillco Marca, existen deficiencias en el manejo del proceso de compostaje, y no se contaba con información sobre las características permitiendo conocer y garantizar la calidad del compost, principalmente para su uso agrícola y el uso en la conservación de las áreas verdes urbanas.

Ante esta problemática es necesario investigar y proponer una mezcla adecuada de residuos orgánicos para la producción de compost de buena calidad, ante tal situación y con conocimiento de los recursos existentes, nos planteamos el siguiente problema: ¿Cuál es la

calidad del compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos, en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos del distrito de Pillco Marca, Huánuco?

La investigación se justifica en la necesidad de generar información sobre la calidad del compost producido a base de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la PVRSO del distrito de Pillco Marca, evaluando sus características fisicoquímicas y microbiológicas. En ese sentido para conocer la calidad del compost, se aplica la norma chilena (NCh2880), debido a la importancia que tiene en la aplicación y uso en áreas verdes, espacios públicos e incluso la agricultura a menor escala.

La investigación contribuye con información sobre la calidad del compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos, la misma que servirá a las entidades públicas como las municipalidades distritales y provinciales, y otras instituciones que impulsan la valorización de residuos orgánicos mediante el compostaje.

Por lo tanto, se planteó la siguiente hipótesis; La calidad de compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos, en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca, categorizado según la NCh2880, corresponden a compost de clase B.

1.1. Objetivo General

Determinar la calidad del compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos, en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos del distrito de Pillco Marca, Huánuco.

1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios.
- Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la PVRSO del distrito de Pillco Marca, Huánuco.
- Determinar la calidad de compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la PVRSO del distrito de Pillco Marca, según la norma chilena - NCh2880 y la Norma Técnica Peruana - NTP201.208.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Ámbito internacional

En una evaluación realizada en Riobamba, Ecuador, Sinche (2022) evaluó el efecto de estiércol de cuy (P1) y de conejo (P2) en el compostaje de residuos sólidos domiciliarios en San Luis. Ambas pilas (65% residuos, 10% aserrín, 25% estiércol) produjeron compost de calidad, pero P1 (estiércol de cuy) resultó superior, presentando mayor proporción de macronutrientes, bajas concentraciones de metales pesados y un mayor índice de germinación.

Munizaga y Alcívar (2023), demostraron que el compostaje de residuos orgánicos domésticos con microorganismos eficaces (EM) en Manabí, utilizando concentraciones de EM del 1%, 0,5% y 0,25%, generó compost con propiedades fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, macronutrientes y metales pesados) que cumplían con los estándares de calidad de la FAO. El tratamiento con EM al 0,5% fue el más ecoeficiente, atribuyéndose a la liberación de sustancias beneficiosas por parte de los EM, como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y antioxidantes, durante la descomposición de la materia orgánica, optimizando su uso en el tratamiento de suelos.

Por otro lado Fernández (2023), evaluó la calidad del compost comunitario producido en un proyecto piloto en Tenerife, encontrando compost de calidad intermedia (Clase B) según la norma chilena NCh2880. Los valores de pH oscilaron entre 7 y 8 en Aulario Guajara y Huerto de San Matías, mientras que en Los Zamorano, varios valores alcanzaron 9,0, con una media de 8,1. La conductividad eléctrica promedió 7,2 mS/cm en Aulario Guajara y 6,0 mS/cm en Huerto San Matías, pero en Los Zamorano se registraron valores alrededor de 9,3 mS/cm, alcanzando un máximo de 12,6 mS/cm.

Córdova et al. (2022), produjeron compost de alta calidad a partir de hojas de mora y estiércol de cuy, con una relación C/N de 11,6 y un pH entre 7,5 y 8,5. Estos parámetros cumplen con la norma chilena NCh2880 para compost de clase A.

Gracia (2012), observó diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados entre compost proveniente de residuos sólidos urbanos (RSU) segregados en origen (Barcelona) y no segregados (Murcia), atribuyendo esta diferencia a la segregación de los RSU.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del compost producidos a partir de RSU segregados y no segregados en origen.

Parámetro	Unidades medida	Valores del compost	
		Sin segregación de RSU en origen	Con segregación de RSU en origen
pH	--	7,2	7,45
CE	dS/m	6,4	5,04
Humedad	%	27,7	26,8
Nitrógeno total	%	2,4	2,7
Materia orgánica	%	52,4	57,6
Fósforo total	%	1,8	0,53
Potasio total	%	0,66	0,84
Cu	mg/kg	395	28
Ni	mg/kg	59	18
Zn	mg/kg	3083	106
Cd	mg/kg	< 2,5	0,3
Cr	mg/kg	113	8
Pb	mg/kg	84	18

Fuente: Gracia, 2012.

2.1.2. Ámbito nacional

Leiva y Tapia (2020), analizaron los parámetros fisicoquímicos de compost de calidad agrícola producidos en Bagua, Amazonas, a partir de residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de vacuno y estiércol de cuy. Aplicaron tres tratamientos: T1 [residuos orgánicos (59%) + estiércol de vacuno (28%) + aserrín (13%)]; T2 [residuos orgánicos (59%) + estiércol de cuy (28%) + aserrín (13%)]; y T3 [residuos orgánicos (57%) + estiércol de vacuno (14%) + estiércol de cuy (14%) + aserrín (13%)]. El T3, con residuos orgánicos, estiércol de vacuno y cuy, mostró los mejores valores de materia orgánica (13,28%), carbono (7,70%), N(0,66%), P (787,39 ppm/0,079%) y una relación C/N de 11,60, superando a T1 y T2. Según la NCh2880, el T1 es compost de calidad A, mientras que T2 y T3 son de calidad B.

Cancio (2024), en su investigación sobre la calidad de compost producido con diferentes proporciones de residuos vegetales de mercado y plantas acuáticas en Huacho, para lo cual aplicó 3 tratamientos; T1 (residuos vegetales 50%, corona de piña 33,33% y guano de cuy 16,67%), T2 (residuos vegetales 33,33%, corona de piña 33,33%, guano de cuy 16,67% y *Elodea potamogeton* 16,67%) y el T3 (residuos vegetales 16,67%, corona de piña 33,33%, guano de cuy 16,67% y *Elodea potamogeton* 33,33%). La relación C/N encontrado fue de 9,83

para el T1, 11,03 para el T2 y 11,92 en el T3, el contenido de humedad en el T1, T2 y T3 fueron 40,83%, 41,52 y 39,15% respectivamente, los valores de pH que se encontró en T1 es de 8,12, en el T2 es de 8,15 y en el T3 se encontró pH de 8,05; respecto a contenido de materia orgánica se encontró valores inferiores a 17,13% para todos los tratamientos, y el contenido de Nitrógeno en el T1 es 0,99%, en el T2 es 0,83% y en el T3 en encontró 8,84% de N. Según la NCh2880 se clasifica como compost de clase B, ya que su bajo contenido de humedad afecta su calidad.

La Cruz (2019) demostró que el compostaje de residuos orgánicos domiciliarios con aserrín de Eucalyptus o restos de poda en Chilca, Huancayo (tratamientos T1: fracción orgánica RSU, T2: fracción orgánica RSU + aserrín, T3: fracción orgánica RSU + poda de jardín), produce compost de calidad que cumple con los límites establecidos por las normas internacionales EPA, USEPA, y las normas europeas (España, Alemania, Francia), así como las de Argentina y Chile.

En un estudio de Vargas (2017) sobre la calidad del compost proveniente de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales (RSOM) en el centro de protección ambiental “Santa Cruz” (Concepción), el compost, tanto a los cuatro como a los cinco meses de compostaje, cumplió con el requisito de tamaño de partícula (≤ 16 mm) establecido por la NCh2880 para la Clase B. Sin embargo, el contenido de humedad fue 29,15% a los cuatro meses y 28,85% a los cinco meses, inferior al rango de 30-45% estipulado por la NCh2880, aunque sí cumplió con el rango de 25-45% de la norma mexicana 020 para compost Clase B. El pH del compost aumentó con el tiempo, superando los límites permisibles de la NCh2880 (8,85 a los cuatro meses y 8,95 a los cinco meses). La conductividad eléctrica (6,17 dS/m), en cambio, se mantuvo constante y dentro de los límites aceptables por la NCh2880, calificando al compost como Clase B.

2.1.3. Ámbito Local

Vidal et al. (2024) hallaron en compost de residuos sólidos orgánicos degradados con microorganismos efectivos en Huánuco, valores óptimos de pH, MO, Ca, Cu y Zn según NTP201.208, pero altos niveles de N y K, y bajos de P, Mg y humedad respecto a la misma norma. Concluyeron que los microorganismos efectivos de diversas fuentes son cruciales para mejorar la degradación en el compostaje.

Garrido et al. (2023) encontraron en compost de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, pH elevado (8,75-9,07) superando la NCh2880, bajos niveles de metales pesados con diferencias significativas entre pilas, y ausencia de microorganismos

fecales. Calificaron el compost de la planta Shapajilla como clase B (calidad intermedia) por el pH alto y niveles bajos de Ca, Mg y K.

Ríos (2022) analizó compost de residuos sólidos urbanos de 6 distritos de Leoncio Prado, identificando diferencias significativas en humedad, pH, MO, N, P, Ca, Mg, K, Zn, Fe y Mn, pero no en Cu. Los compost presentaron alta humedad, pH y MO, y bajos niveles de macro y micronutrientes, clasificándolos como de calidad B (NCh2880), con restricciones de uso debido a la elevada humedad, pH y deficiencia de Ca, Mg y K.

Aguirre (2023) también determinó que el compost municipal de Leoncio Prado, a base de residuos orgánicos urbanos, es de Clase B (NCh2880 y norma colombiana 5167). A pesar de niveles adecuados de nutrientes y bajos metales pesados (Cu y Zn), el alto pH limita su calidad, requiriendo mitigación para su uso agrícola.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Residuos sólidos

Según MINAM (2016), un residuo es cualquier material, objeto o sustancia desechada tras el consumo de un bien o servicio, priorizando su valorización antes de su disposición final.

2.2.1.1. Residuos sólidos municipales

Los residuos municipales, gestionados por las municipalidades, incluyen residuos domiciliarios, de limpieza de espacios públicos (incluyendo playas) y residuos asimilables a estos provenientes de actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias dentro de su jurisdicción (MINAM, 2016).

2.2.1.2. Residuos sólidos orgánicos

Son los residuos biodegradables o sujetos a descomposición rápida (MINAM, 2017), que pueden ser aprovechados a través del compostaje u otras transformaciones biológicas.

2.2.2. Estiércol

El estiércol son las heces de animales, producto de la digestión, representando generalmente entre el 60 y 80% del alimento consumido. Su calidad varía según la especie animal, el tipo de cama utilizada y su manejo previo a la aplicación (Barreros, 2017).

El estiércol, un fertilizante orgánico compuesto principalmente por heces y orina de animales domésticos, aporta nitrógeno, fósforo y potasio, aunque en menores concentraciones que los fertilizantes sintéticos y en forma orgánica. Enriquece el suelo con materia orgánica, mejorando su fertilidad, absorción y retención de agua (Román et al., 2013).

2.2.2.1. Estiércol de cuy

Excremento de animales alimentados con forraje verde y criados en la sombra, es de alta calidad debido a que no está expuesto al ambiente, por lo que no se volatiliza los nutrientes y su riqueza en microorganismos, siendo comúnmente utilizado como abono directo (Cancio, 2024).

Según Sinche (2022), el estiércol de cuy, rico en macro y micronutrientes, es ideal para la elaboración de abonos orgánicos por ser sólido, inodoro y no atraer moscas, ofreciendo una alternativa limpia y respetuosa con el medio ambiente para la fertilización de cultivos.

Tabla 2. Composición química del estiércol de cuy.

Relación de C/N	Nitrógeno (N) %	Fosforo (P ₂ O ₅) %	Potasio (K) %
15,60	1,73	0,35	1,02

Fuente: Solórzano, 2024.

2.2.2.2. Estiércol de oveja

El estiércol de oveja, especialmente de animales de pastoreo con dieta diversa, es considerado uno de los mejores abonos, equilibrado, poco ácido e incluso básico comparado con el vacuno, y con una baja relación C/N generalmente 15/1 (Miranda et al., 2014).

Tabla 3. Composición química del estiércol de oveja.

Relación de C/N	Nitrógeno (N) %	Fosforo (P ₂ O ₅) %	Potasio (K) %
14,30	2,09	0,36	0,66

Fuente: Miranda et al. 2014.

2.2.3. Compostaje

El compostaje, según INACAL (2021), es un proceso aerobio y termofílica de transformación fisicoquímica y microbiológica de la materia orgánica; que genera un compost estable, maduro, rico en sustancias húmicas, de color marrón oscuro y sin olores desagradables, asimismo el proceso debe eliminar patógenos, parásitos y elementos germinativos evitando riesgos sanitarios y ambientales.

Santiago (2023) describe el compostaje como un proceso metabólico microbiano que, en presencia de oxígeno, transforma N y C en biomasa, liberando calor y generando un compost estable, con menor contenido de C y N.

Materia biodegradable + O₂ + H₂O => Compost + H₂O + CO₂ + Calor (1)

2.2.3.1. Fases del compostaje

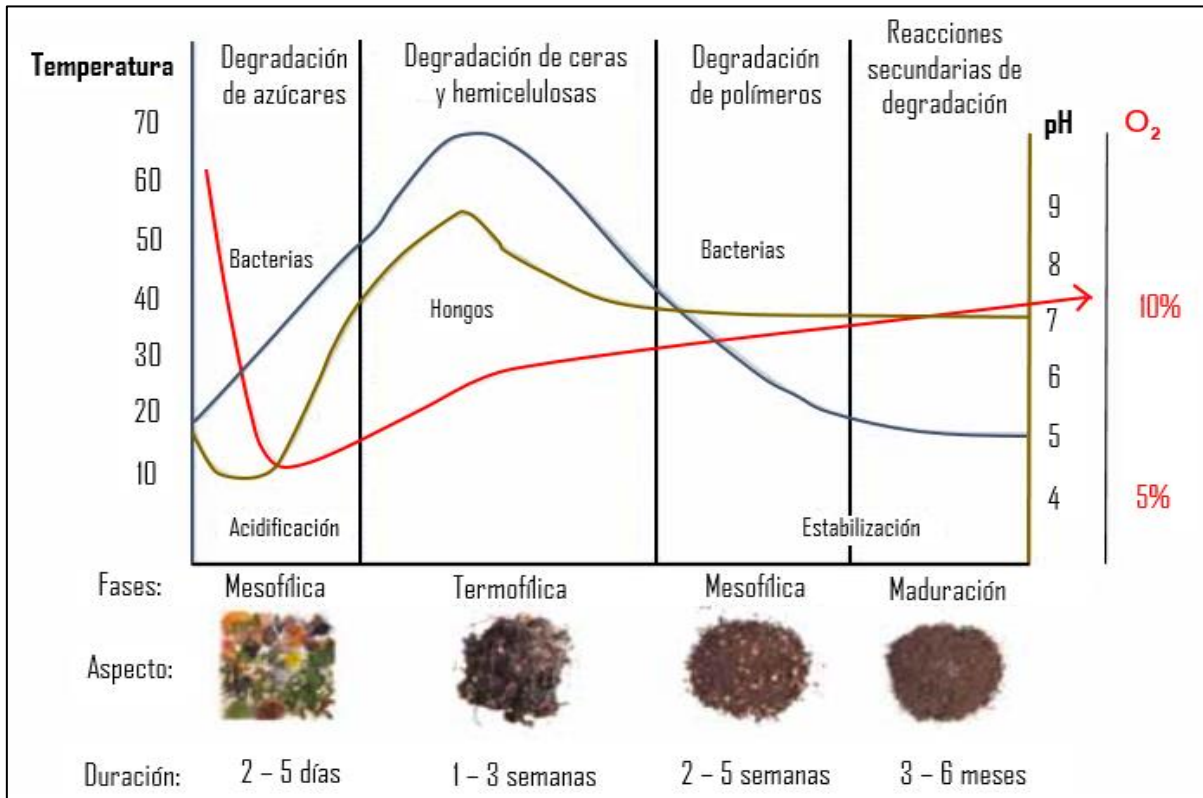
Según Bohórquez (2019), la descomposición del C, N y la M.O por microorganismos libera calor, reflejado en las variaciones de temperatura. El compostaje se divide en tres fases principales según la temperatura alcanzada, seguido de una etapa de maduración (Figura 1).

Fase mesófila: Caracterizada por un rápido aumento de la temperatura hasta los 45°C en días o incluso horas, debido a la proliferación de microorganismos mesófilos que descomponen compuestos sencillos de C y N. Esta actividad libera calor y la degradación de azúcares genera ácidos orgánicos, disminuyendo el pH a valores cercanos de 4 - 4,5. Esta fase dura entre dos y ocho días. (INACAL, 2021).

Fase termófila: Alcanza temperaturas superiores a 45°C, reemplazando microorganismos mesófilos por termófilos (45-70°C), principalmente bacterias termófilas que descomponen celulosa y lignina. La transformación de nitrógeno en amoníaco eleva el pH, y a partir de los 60°C, proliferan bacterias productoras de esporas y actinobacterias, descomponiendo ceras, hemicelulosas y otros compuestos complejos de carbono (INACAL, 2021).

Fase de enfriamiento: Tras el agotamiento de carbono y nitrógeno, la temperatura desciende hasta los 40-45°C y continúa la descomposición de celulosa y aparecen hongos visibles. Por debajo de 40°C, se reactivan los organismos mesófilos, disminuyendo levemente el pH, permaneciendo ligeramente alcalino. Esta fase, es de varias semanas, y se puede confundir con la maduración (INACAL, 2021).

Fase de maduración: Dura meses a temperatura ambiente, con reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, formando ácidos húmicos y fúlvicos (INACAL, 2021).



Fuente: Román et al. 2013.

Figura 1. Fases del proceso de compostaje.

2.2.3.2. Factores que afectan el proceso del compostaje

Para un compost de calidad, Ríos (2022) subraya la importancia del manejo del proceso, que implica optimizar las condiciones para el desarrollo microbiano.

Factores ambientales como la temperatura, el oxígeno, la humedad, el pH, el tamaño de partícula y la relación C/N influyen directamente en el metabolismo microbiano, determinando la velocidad de las reacciones de oxidación y las propiedades del compost (Bohórquez, 2019).

Temperatura: Según Bohórquez (2019), es un factor clave en las reacciones bioquímicas. Aumentos de temperatura aceleran la descomposición orgánica hasta un punto crítico donde disminuye.

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede alcanzar los 65°C de forma natural, y regresa a temperatura ambiente en la fase de maduración. Una

descomposición e higienización más rápida se logran con temperaturas elevadas mantenidas por más tiempo (Román et al. 2013).

Oxígeno: Es crucial ya que los microorganismos predominantes son aerobios. La aireación mediante volteos manuales o mecánicos es esencial para su respiración, evitando la compactación y el encharcamiento, asimismo el consumo de oxígeno es mayor en la fase termofílica (Bohórquez, 2019). La falta de oxígeno disminuye el desarrollo de microorganismos aerobios, disminuye la velocidad de transformación de materiales y favorece la proliferación de microorganismos anaerobios, generando malos olores, acidez y compuestos orgánicos volátiles (CH₄) y amoniacales (Garzón y Torres, 2024).

Humedad: Para una biodegradación óptima, la humedad inicial debe estar entre 40% y 65% (Garzón y Torres, 2024; Bohórquez, 2019). Esta humedad favorece la proliferación de microorganismos que transforman los materiales en compuestos orgánicos estables mediante reacciones enzimáticas. Humedades superiores al 60% crean condiciones anaeróbicas que retrasan la descomposición, generan malos olores y producen lixiviados que disminuyen los nutrientes. Un material demasiado seco detiene la biodegradación, mientras que un exceso de humedad conduce a la putrefacción anaeróbica incontrolada.

Potencial de hidrogeno: El pH es un factor clave en las reacciones bioquímicas microbianas, ya que cada microorganismo teniendo un pH óptimo en el se reproduce fácilmente (Bohórquez, 2019). El pH varía a lo largo del proceso (4.5 a 8.5), acidificándose inicialmente por la formación de ácidos orgánicos, aumentando durante la fase termófila por la conversión de amonio en amoniaco, y finalmente estabilizándose cerca de la neutralidad por la producción de compuestos húmicos (Román et al., 2013). La actividad bacteriana es mayor a pH 6.5-8, mientras que la fúngica se optimiza entre pH 5.5-8 (Garzón y Torres, 2024).

Relación carbono/nitrógeno: La relación C/N es determinante para el metabolismo microbiano, ya que el C es fuente de energía y el N es esencial para el desarrollo celular (Garzón y Torres, 2024). Una alta relación C/N ralentiza el proceso por falta de nitrógeno para la biosíntesis de aminoácidos, mientras que una relación baja provoca un calentamiento excesivo y la liberación de amoniaco, disminuyendo el nitrógeno en el producto final. Se considera favorable una relación C/N de 25/1 a 40/1.

Tamaño de partícula: El tamaño de partícula influye en la actividad microbiana (Bohórquez, 2019), si el tamaño es pequeño, aumenta la relación

superficie/volumen, generando mayor actividad microbiana; haciendo que el material se descomponga de manera más rápida. El tamaño ideal de las partículas al inicio del compostaje es de 1 a 5 cm.

2.2.4. Compost

Es un producto estabilizado e higienizado obtenido mediante descomposición biológica aeróbica controlada (Cancio, 2024).

Núñez et al. (2023) lo definen como el resultado de la biodegradación aeróbica de materia orgánica sólida, mediada por microorganismos.

2.2.5. Calidad del compost

Como señala Cancio (2024), la calidad del compost es un concepto complejo y subjetivo. Debería definirse en función de las características resultantes de un tratamiento de residuos ambientalmente responsable, cuyo objetivo sea producir un producto para uso en el suelo o como sustrato. Los niveles de calidad deben ajustarse al mercado objetivo, existiendo siempre unos mínimos obligatorios. Es necesario determinar parámetros diferenciados para diversos usos, sin que esto implique permitir mayores niveles de contaminantes según el destino final.

La calidad del compost, según su aplicación, se define por su capacidad para satisfacer las necesidades de las plantas con un mínimo impacto ambiental y sin riesgos para la salud pública (Ansorena et al. 2014).

2.2.5.1. Norma Chilena – NCh2880

Esta norma clasifica y establece los requisitos de calidad para el compost producido mediante descomposición aeróbica de residuos orgánicos generados por la actividad humana, incluyendo residuos agrícolas, forestales, ganaderos, animales, de mercados y ferias libres de productos vegetales, de mantenimiento de parques y jardines, y domiciliarios.

El compost se clasifica en dos clases según su nivel de calidad:

- **Compost clase A:** De alta calidad, cumple con todos los parámetros especificados y no presenta restricciones de uso, siendo apto para la agricultura ecológica.
- **Compost clase B:** De calidad intermedia, presenta algunas restricciones de uso y necesita mezclarse con otros elementos para su aplicación directa.

Tabla 4. Valores permitidos de las características físicas del compost, según NCh2880.

Parámetro	Tipo de compost	
	Clase A	Clase B
Tamaño de partículas	≤ 16 mm	≤ 16 mm
Materias inertes (impurezas)		
– Plásticos flexibles y/o películas	> 4 mm - ≤ 16 mm ≤ 5 %	> 4 mm - ≤ 16 mm ≤ 5 %
– Piedras y/o terrones	> 4 mm - ≤ 16 mm ≤ 5 %	> 4 mm - ≤ 16 mm ≤ 5 %
– Vidrio, metal y plásticos rígidos	≥ 2 mm - ≤ 16 mm ≤ 0.5 %	≥ 2 mm - ≤ 16 mm ≤ 0.5 %
Humedad	30 % - 45 %	30 % - 45 %
Conductividad eléctrica	< 3 dS/m	≤ 8 dS/m

Fuente: NCh2880.

Tabla 5. Valores permitidos de las características químicas del compost, según NCh2880.

Parámetro	Tipo de compost	
	Clase A	Clase B
pH	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Relación de C/N	≤ 25:1	≤ 30:1
Materia orgánica	≥ 20 %	≥ 20 %
Madurez	Relación C/N ≤ 30	Relación C/N ≤ 30
Nitrógeno total (N)	≥ 0.5 %	≥ 0.5 %
Arsénico	15 mg/kg	20 mg/kg
Cadmio	2 mg/kg	8 mg/kg
Cobre	120 mg/kg	1000 mg/kg
Cromo	120 mg/kg	600 mg/kg
Mercurio	1 mg/kg	4 mg/kg
Níquel	20 mg/kg	80 mg/kg
Plomo	100 mg/kg	300 mg/kg
Zinc	200 mg/kg	2000 mg/kg

Fuente: NCh2880.

Tabla 6. Valores permisibles de tolerancia de patógenos en compost, según NCh2880.

Microorganismos	Tipo de compost	
	Clase A	Clase B
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g de compost	
<i>Salmonella sp.</i>	< 3 NMP en 4 g de compost	

NMP: Número Más Probable.
Fuente: NCh2880.

2.2.5.2. Norma Técnica Peruana – NTP201.208

Aprobada por Resolución Directoral N° 017-2021-INACAL/DN (26 de julio de 2021), esta Norma Técnica Peruana define los requisitos del compost producido por los residuos sólidos orgánicos municipales (mercados, ferias, áreas verdes, domicilios, restaurantes y establecimientos de comida). Se aplica al compost derivado de estos residuos, destinado a la conservación y reforestación de áreas verdes, parques, jardines, floristería y otros usos similares.

Tabla 7. Límites máximos permitidos para las características físicas del compost.

Parámetro	Límites máximos permitidos
Tamaño de partículas*	≤ 16 mm
Materias inertes (impurezas)	
– Plástico ligeros y flexibles	≤ 0.05 %
– Vidrio, metal y plástico rígido	≤ 0.5 %
Humedad	35 % - 50 %
Conductividad eléctrica	2 – 4 dS/m

* Permitiendo una retención no superior al 10 % del peso total.

Fuente: NTP201.208.

Tabla 8. Límites máximos permitidos para las características químicas del compost.

Parámetro	Límites máximos permitidos
pH	6.5 - 8.5
Relación de C/N	25:1 – 35:1
Materia orgánica	≥ 20 %
Nitrógeno total (N)	0.3 – 1.5 %
Fosforo (P)	0.1 – 1.0 %
Potasio (K)	0.3 – 1.0 %
Arsénico	15 mg/kg
Cadmio	2.5 mg/kg
Cobre	250 mg/kg
Cromo	200 mg/kg
Mercurio	2 mg/kg
Níquel	80 mg/kg
Plomo	150 mg/kg
Zinc	1000 mg/kg

Fuente: NTP201.208.

Tabla 9. Límites máximos admisibles de patógenos en compost.

Microorganismos	Valor máximo admisible
Coliformes fecales	< a 1000 NMP/g de compost
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente en 25 g de compost

NMP: Número Más Probable.

Fuente: NTP201.208.

2.2.6. Microorganismos eficientes (EM)

Los Microorganismos Eficientes (EM) son una tecnología prometedora para el compostaje de residuos orgánicos, basada en una mezcla de microorganismos benéficos naturales. (Munizaga y Alcívar, 2023).

Según Castillo (2020), el EM está compuesto por microorganismos benéficos de origen natural; en el compostaje, se utilizan como inoculantes al inicio y durante el proceso. La mayoría de los microorganismos en el EM son heterotróficos, requiriendo fuentes

orgánicas de C y N, y su eficacia aumenta al aplicarse con enmiendas orgánicas para proveer carbono, oxígeno y energía. Esta tecnología la desarrolló el Dr. Teruo Higa de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón.

El EM contiene bacterias fotosintéticas, levaduras, bacterias de ácido láctico y hongos, entre otros (Huayllani, 2017).

2.2.6.1. Efectos de EM

Al interactuar con la materia orgánica, estos microorganismos eficientes secretan sustancias beneficiosas (vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y antioxidantes) que modifican la microflora del suelo. Este equilibrio transforma suelos patógenos en supresores de enfermedades, volviéndolos azimogénicos. Los efectos antioxidantes aceleran la degradación de la MO, aumentando el humus, mejorando el crecimiento vegetal y favoreciendo la agricultura orgánica sostenible (García, 2017).

2.2.7. Degradación de materia orgánica

La degradación es un proceso complejo regulado por interacciones entre microorganismos, factores ambientales (temperatura y humedad principalmente) y la calidad de la M.O, específicamente la concentración de lignina, nitrógeno y polifenoles condensados y solubles (Bonilla et al. 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación

El estudio fue realizado en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos del distrito de Pillco Marca, provincia y departamento de Huánuco; la misma que se ubica en el centro poblado de Corazón de Jesús (Yanag). Geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM 18L 364125.1 m E y 8895778.5 m N, a una altitud de 1937 m.s.n.m., a la vez esta se encuentra en la margen izquierda del río Huallaga y a una distancia de 5 kilómetros al sur oeste de la ciudad de Huánuco.

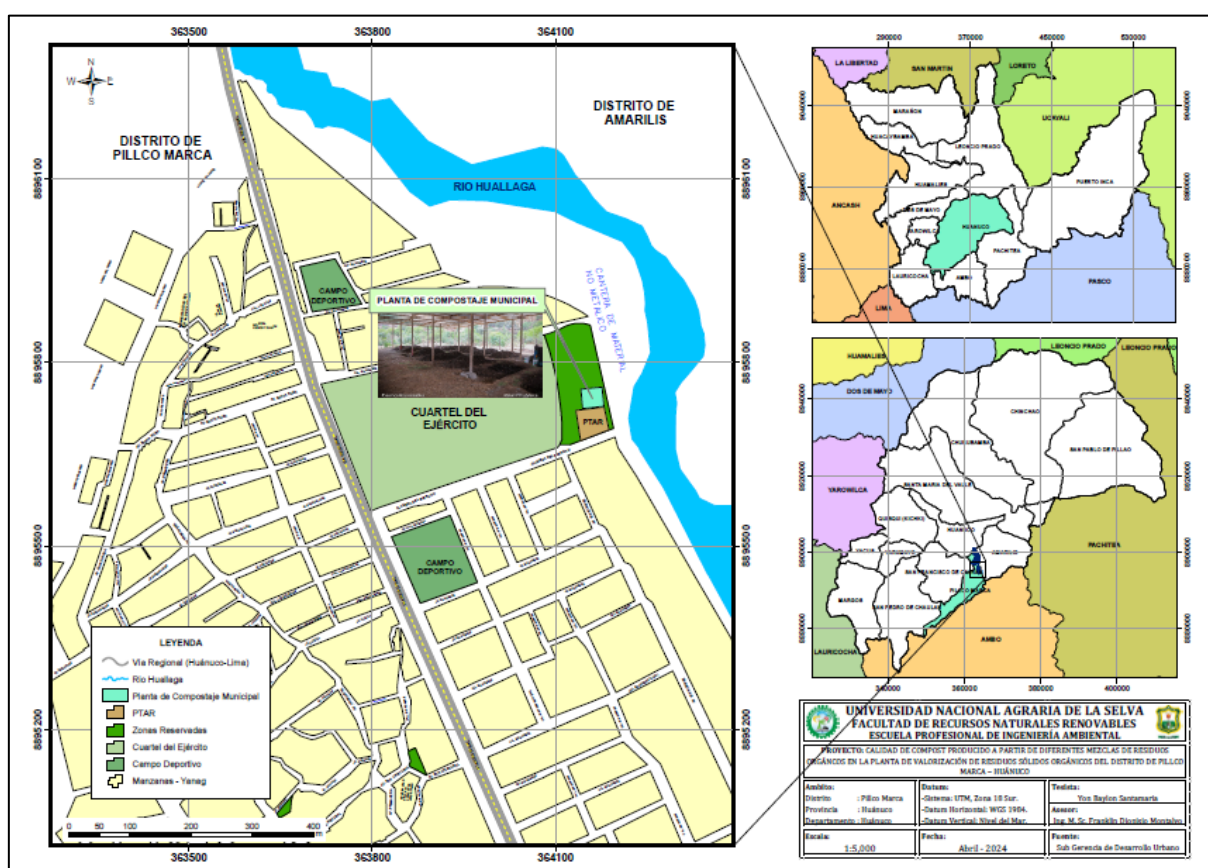


Figura 2. Mapa de ubicación del lugar de ejecución de la investigación.

3.1.2. Aspectos climáticos

El distrito de Pillco Marca posee un clima templado seco y se encuentra a una altitud que varía de 1930 a 4000 m.s.n.m.; con temperaturas medias que oscilan alrededor de los 20,60°C, una precipitación anual de 578,20 mm y una humedad relativa de 66,61 % (MDPM, 2019). En la zona de estudio (Yanag) la temperatura promedio oscila entre los 20 a

22°C, además presenta una precipitación anual de 456,9 mm, cuyos meses de mayor precipitación son de octubre hasta marzo y la época de poca lluvia se presenta entre los meses de mayo hasta agosto, asimismo presenta una humedad relativa que oscila desde 58,8% hasta 72,2% (SENAMHI, 2024).

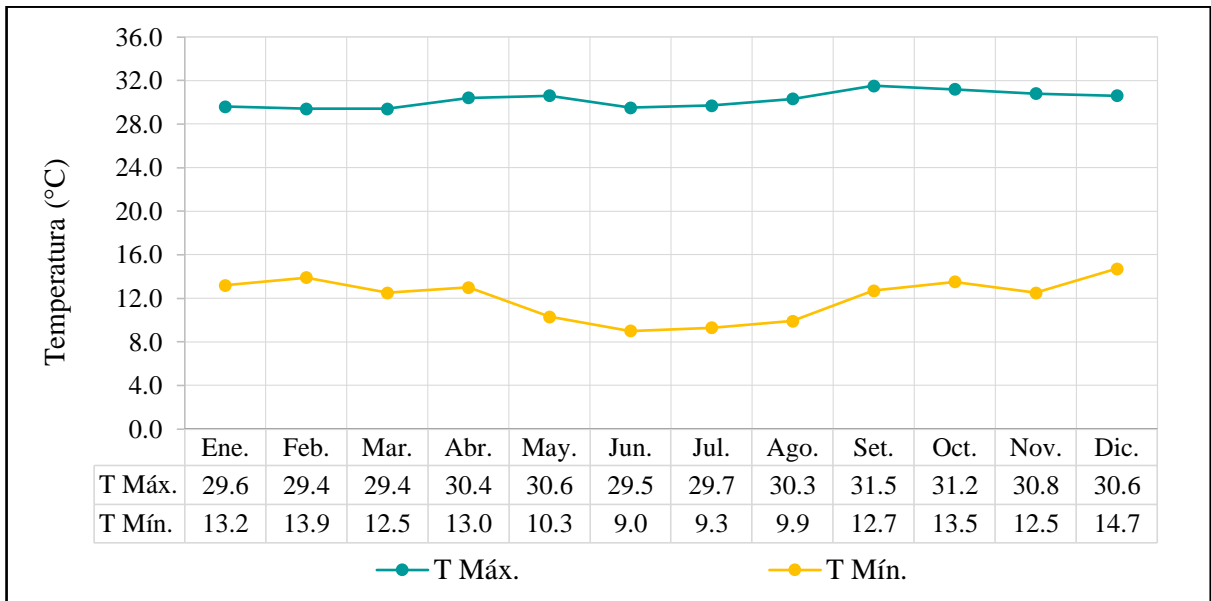


Figura 3. Temperatura máxima y mínima mensual en la ciudad de Huánuco, 2023.

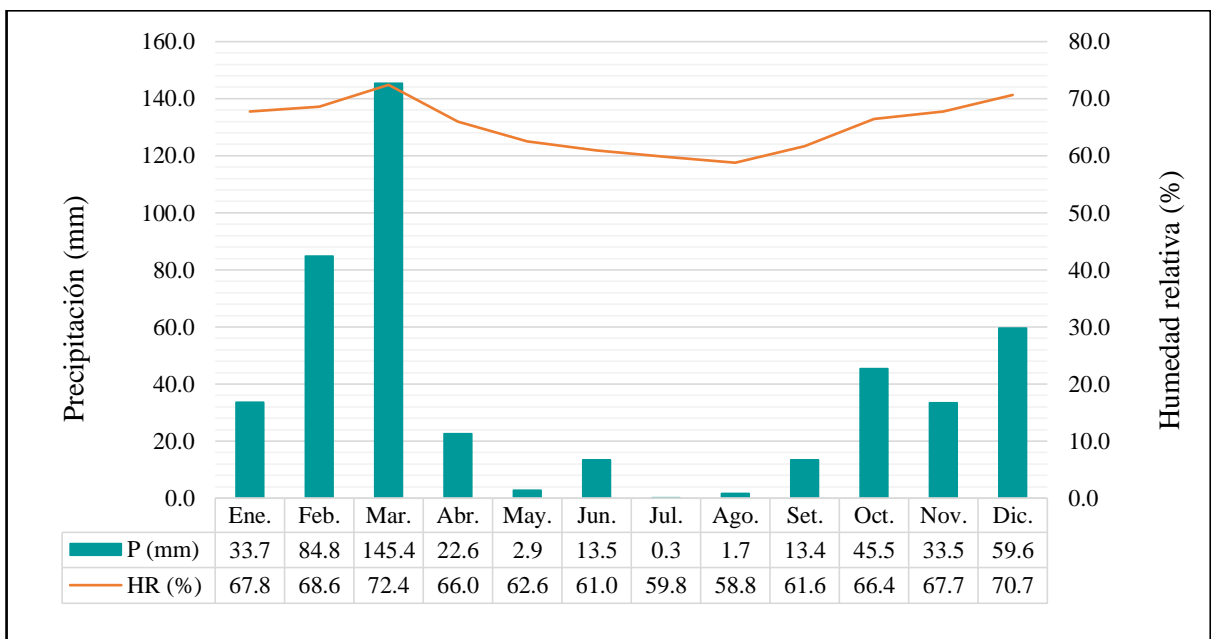


Figura 4. Precipitación y humedad relativa mensual en la ciudad de Huánuco, 2023.

3.1.3. Aspectos socioeconómicos

El distrito de Pillco Marca se caracteriza por una economía relativamente dependiente de la agricultura, el comercio y la construcción.

3.1.3.1. Sector agropecuario

La actividad se caracteriza por la producción de cultivos como la papa blanca, canchan, olluco, maíz (choclo y amiláceo), trigo, cebada, arveja, apio, col, cebolla china, tomate, frijol, zanahoria, etc, destinadas a abastecer a los mercados de la región centro; y asimismo cultivan frutícolas de primer orden, produciendo palta, mango, naranjas, lúcuma, chirimoya, granada, guayaba y otros frutales. En el subsector pecuario la actividad principal es la ganadería, el cruce de cebú con vacas criollas ha dado buenos resultados, además la población pillcomarquina se dedica a la crianza de cuyes en cantidades pequeñas, y en las zonas rurales también se dedica a la crianza de ovinos, porcinos y aves (MDPM, 2019).

3.1.4. Descripción del proceso de compostaje en la PVRSO

La PVRSO está constituida por las siguientes áreas: área de descarga y pesado de residuos sólidos, área de picado y seleccionado de residuos, tratamiento de residuos, tamizado del compost, almacén de compost y almacén de herramientas. Los residuos sólidos orgánicos municipales son recolectadas de diferentes fuentes de generación; viviendas, establecimientos comerciales, mercados, áreas verdes y otros residuos (estiércol de animales menores). Siendo en promedio 0,75 t/día aproximadamente.

Las pilas de compostaje, son de forma trapezoidal (1 a 1,2 m de alto, 2 m de ancho en la base y 4 m de largo), se forman con los residuos orgánicos recolectados, sin previo picado. Inicialmente, se aplican 10 litros de Microorganismos Eficientes (EM) activados al 5%. Esta aplicación se repite en el segundo volteo. El personal de la PVRSO prepara los EM con melaza de caña, leche, levadura y EM concentrado.

El volteo manual de las pilas, es realizado con trinchas, lampas y palas, removiendo el 100% del material; este proceso se realiza durante 45 a 60 días para favorecer la oxigenación. Luego, se deja madurar el compost de tres a cuatro semanas adicionales, finalmente para tamizarlo con una zaranda de 10 mm de diámetro para eliminar los fragmentos gruesos no biodegradados y los que no completaron su proceso de descomposición.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales y herramientas

Se utilizó; 2 palas, 1 lampa, 1 carretilla, 1 trinche reforzado, 2 machetes, 1 regadera, 2 bidones con tapa hermética de 100 litros, 1 balde de 20 litros, 5 litros de leche natural, 1/2 kg de levadura, 20 litros de melaza de caña, 10 litros de EM concentrado, agua libre

de cloro, 8 bolsas de cemento, 2 m³ de arena, 16 metros de plástico, 1 wincha, 1 plumón indeleble y 24 bolsas de polietileno con cierre hermético.

3.2.2. Equipos e indumentaria

Se utilizaron; botas de jebe, mascarillas desechables, guantes de jebe, guantes de cuero badana, y guantes desechables. Los equipos que se utilizaran en la producción y evaluación de la calidad del compost son: balanza digital de 40 kg, 01 cámara fotográfica, 01 termómetro, y 01 peachímetro.

3.3. Aspectos de la investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Es una investigación de tipo experimental, ya que nos permite elaborar compost con diferentes mezclas de residuos orgánicos, en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos del distrito de Pillco Marca, para conocer su calidad, según la categorización de la NCh2880, en base a sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del compost.

3.3.2. Nivel de investigación

Es de nivel explicativo ya que busca definir la calidad del compost producido a partir de diversas mezclas de residuos orgánicos en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos del distrito de Pillco Marca. Según Supo (2014), los estudios explicativos demuestran relaciones causales (causa-efecto) y son controlados por el investigador para responder al porqué de eventos y fenómenos, explicando su ocurrencia, condiciones de manifestación y la relación entre variables.

3.3.3. Diseño de la investigación

Es de diseño experimental, ya que evalúa la calidad del compostaje aeróbico mediante la manipulación de variables independientes y la medición de sus efectos en las variables dependientes (Hernández et al., 2014).

El compostaje se realizó en pilas estáticas, es un sistema económico y común. Se establecieron 4 tratamientos (pilas), con 3 repeticiones por tratamiento, obteniendo 12 unidades experimentales. Cada tratamiento consistió en diferentes mezclas de residuos orgánicos (Tabla 10), el cual sirve para evaluar el comportamiento de la variable dependiente, en función de la manipulación de las variables independientes.

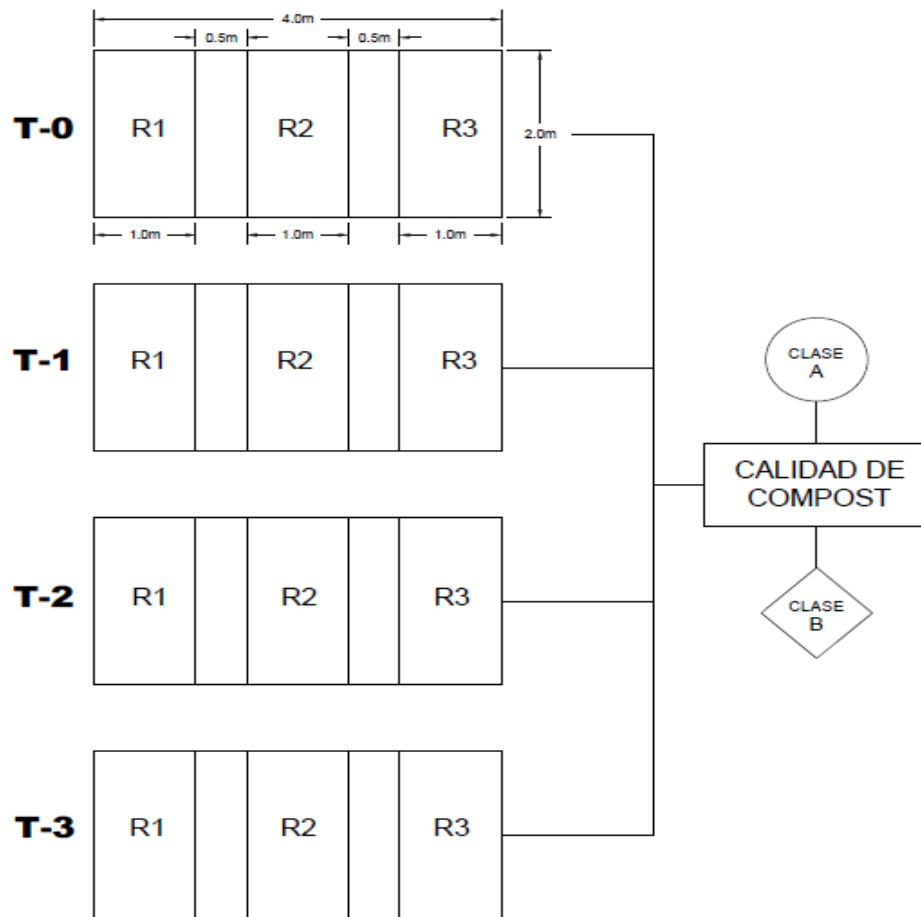


Figura 5. Diseño experimental de la investigación en el área de estudio.

Tabla 10. Composición de los tratamientos evaluados.

Tratamientos (Pilas)	Repeticiones	Descripción
T ₀	R ₁ R ₂ R ₃	Tal como se produce en la PVRSO (Residuos orgánicos domiciliarios + Estiércol de cuy + Restos de poda + Restos gruesos del compost)
T ₁	R ₁ R ₂ R ₃	Residuos orgánicos domiciliarios + Estiércol de cuy
T ₂	R ₁ R ₂ R ₃	Residuos orgánicos domiciliarios + Estiércol de oveja
T ₃	R ₁ R ₂ R ₃	Residuos orgánicos domiciliarios + Restos de podas + Estiércol de cuy

3.3.4. Variables e indicadores

Según Bernal (2010), la variable independiente es la causa, y la dependiente es el efecto en una relación entre variables. Hernández et al. (2014) señalan que la variable dependiente se mide para evaluar el efecto de la manipulación de la independiente.

En la presente investigación se consideró lo siguiente:

- Variable dependiente: Calidad de compost.
- Variables independientes: Estiércol de cuy, estiércol ovino y restos de poda.
- Variables intervinientes: Población de Pillco Marca y tiempo de compostaje.

Tabla 11. Variables e indicadores para determinar la calidad de compost.

Variables		Indicadores	Unidad de medida	
Dependiente	Independiente			
Calidad del compost	Características físicas	1. Temperatura	°C	
		2. Tamaño de partículas	mm	
		3. Contenido de humedad	%	
		4. Conductividad eléctrica	dS/m	
	Diferentes mezclas de residuos orgánicos (Estiércol de cuy, Estiércol ovino y Restos de poda)	Características químicas	5. Materia orgánica	%
			6. pH	Escala 0-14
			7. Relación C/N	Adimensional
			8. Nitrógeno total (N)	%
			9. Fósforo (P)	%
			10. Potasio (K)	%
			11. Cobre	mg/kg
			12. Zinc	mg/kg
			13. Cadmio	mg/kg
			14. Plomo	mg/kg
	Características microbiológicas	15. Coliformes fecales	NMP	
		16. <i>Salmonella sp</i>	NMP	

3.3.5. Análisis estadístico

Mediante el software STATGRAPHICS CENTURIÓN 19, los datos obtenidos de características fisicoquímicas y microbiológicas se realizó el ANOVA y la correspondiente prueba de Rangos Múltiples de Duncan con un nivel de 95% de confianza, para

comparar las medias de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos entre tratamientos. Planteando la siguiente hipótesis.

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Ho: Calidad de compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca no cumple con los valores permisibles para compost de Clase B según la NCh2880.

Ha: Calidad de compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca cumple con los valores permisibles para compost de Clase B según la NCh2880.

3.4. Metodología

Se realizó las coordinaciones generales entre los diferentes niveles de decisión de la municipalidad (Alcaldía, Gerencia Municipal, Gerencia de Medio Ambiente y el Área de Segregación), con el objetivo de realizar la investigación en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos del distrito de Pillco Marca.

Se coordinó con el responsable y operarios del Programa RECICLA de la municipalidad de Pillco Marca, para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de cuy y restos de poda; el estiércol de oveja se gestionó con un vecino de Yanag.

3.4.1. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios

La caracterización de los residuos sólidos orgánicos se realizó según la guía metodológica del MINAM, aprobada por R.M. N° 457-2018-MINAM, numeral 8.2.3: composición de los residuos. (MINAM, 2018).

La caracterización fue realizada al inicio de la fase y se aplicó para cada tratamiento de pila compostada, metodológicamente se escogió al azar un tacho (200 L) de residuos orgánicos recogidos por los operarios del programa RECICLA; una vez que se tuvo los residuos orgánicos, para conocer su composición física se procedió a realizar lo siguiente:

- * Los residuos orgánicos del tacho se vertieron sobre una manta plástica de 4x5m para evitar el contacto con la tierra. Los residuos más voluminosos se trozaron para homogeneizar la muestra y facilitar su manipulación.

- * Debido al gran volumen de residuos orgánicos, se aplicó el método de cuarteo: se dividió el material en cuatro partes, seleccionando dos opuestas para formar un montón más pequeño. Esta muestra reducida se mezcló y se dividió nuevamente en cuatro partes, eligiendo dos opuestas para obtener la muestra final a caracterizar.
- * Se ha sometido a la separación de los distintos residuos orgánicos contenidos y se pesó de manera individual según tipo de residuo; para determinar la composición física y porcentual.

3.4.2. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas del compost

3.4.2.1. Proceso de compostaje

Acondicionamiento de la base para cada pila, para lo cual se realizó plataformas de pavimento con una pendiente de 3 a 5%, permitiendo que los residuos a compostar no se mezclen con la tierra y sea más fácil el manejo de las pilas en todo el proceso. Además se realizó canaletas para la recolección de lixiviados de cada tratamiento hacia una poza.

Picado de los residuos orgánicos de tamaño superiores a 10 cm, para obtener un material homogéneo y con menor tamaño para así facilitar el proceso de descomposición.

Formación de las pilas estáticas de forma rectangular piramidal como se aprecia en la Figura 6, se armaron 3 pilas para cada tratamiento; cada una de las pilas a compostar se formó de acuerdo a la composición de cada tratamiento, como se detalla a continuación:

❖ **Tratamiento 0 (T0):** Para la formación de las tres repeticiones correspondientes al T0, se realizó tal como se produce en la planta de valorización de residuos orgánicos, donde se utilizó residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy + restos de podas + restos gruesos del compost tamizado, formando cada capa de la siguiente manera:

- * Primera capa: restos gruesos del compost tamizado + estiércol de cuy, formando 10 cm de altura.
- * Segunda capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Tercera capa: restos de podas + estiércol de cuy, formando una altura de 5 cm.

- * Cuarta capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Quinta capa: restos gruesos de compost tamizado, formando una altura de 5 cm.

❖ **Tratamiento 1 (T1):** Para la formación de las tres repeticiones correspondientes al T1, se utilizó residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy, donde cada capa se formó de la siguiente manera:

- * Primera capa: estiércol de cuy, formando una altura de 10 cm.
- * Segunda capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Tercera capa: estiércol de cuy, formando una altura de 5 cm.
- * Cuarta capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Quinta capa: estiércol de cuy, formando una altura de 5 cm.

❖ **Tratamiento 2 (T2):** Para la formación de las tres repeticiones correspondientes al T2, se utilizó residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de oveja, donde cada capa se formó de la siguiente manera:

- * Primera capa: estiércol de oveja, formando una altura de 10 cm.
- * Segunda capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Tercera capa: estiércol de oveja, formando una altura de 5 cm.
- * Cuarta capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Quinta capa: estiércol de oveja, formando una altura de 5 cm.

❖ **Tratamiento 3 (T3):** Para la formación de las tres repeticiones correspondientes al T3, se utilizó residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy + restos de podas, donde cada capa se formó de la siguiente manera:

- * Primera capa: Restos de podas + estiércol de cuy, formando una altura de 10 cm.
- * Segunda capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Tercera capa: estiércol de cuy + restos de poda, formando una altura de 5 cm.
- * Cuarta capa: residuos orgánicos domiciliarios, formando una altura de 25 cm.
- * Quinta capa: estiércol de cuy, formando una altura de 5 cm.

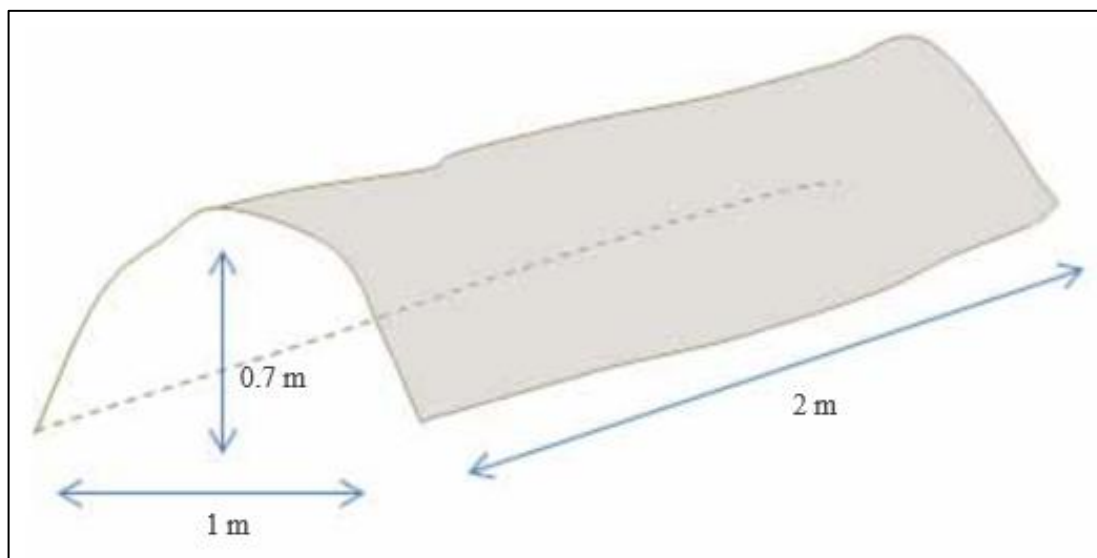


Figura 6. Dimensiones de las pilas para cada tratamiento.

Después de la formación de la segunda capa de la pila, se aplicaron 5 litros de EM Activado con una regadera de lluvia fina. Al completar la cuarta capa, se aplicaron otros 5 litros, humedeciendo las capas lo más posible para acelerar el compostaje y enriquecer el producto final. Para prevenir la proliferación de moscas, se espolvoreó cal alrededor de la pila. La segunda aplicación de EM Activado se realizó durante el segundo volteo de las pilas.

Para asegurar una degradación aeróbica adecuada, las pilas se voltearon periódicamente de forma manual con trinchas, lampas y palas, removiendo el 100% del material a un espacio contiguo para facilitar la oxigenación. El volteo se realizó cada 5 a 8 días o si la temperatura excedía los 65°C.

Después del último volteo, las pilas se dejaron reposar durante dos meses y medio para completar la fase de maduración del compostaje, permitiendo la condensación y polimerización de compuestos carbonados para formar ácidos húmicos y fúlvicos.

En la presente investigación el tiempo del proceso de compostaje (formación de pilas hasta la toma de muestras) ha durado 6 meses.

3.4.2.2. Monitoreo de parámetros

Temperatura: el monitoreo de la temperatura se realizó en las 12 unidades experimentales, dos veces por semana durante los primeros cuatro meses del

proceso de compostaje, para ello utilizó un termómetro digital y la toma de datos se realizó a una profundidad aproximada de 30 cm desde la parte superior de la pila.

pH: la medición de pH se realizó en las 12 unidades experimentales, una vez por semana durante el primer mes del proceso de compostaje y cada 15 días los siguientes tres meses del proceso. En un recipiente fue diluida una muestra de 20g de composta en 50 ml de agua destilada (relación 1:2.5), y se agitó por 10 minutos (López et al. 2002), y finalmente se realizó la lectura con el peachímetro.

3.4.2.3. Toma de muestras o muestreo

Culminado la etapa del proceso de compostaje (después de 6 meses), se tomó las muestras siguiendo el método recomendada por la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011, que consistió en lo siguiente:

- * Tomar 5 submuestras representativas de 1 kg cada una, a intervalos de 40 cm horizontal y verticalmente, asegurando una distribución equitativa entre todas las alturas y profundidades de la pila.
- * Una vez completado el número de sub-muestras, la **muestra** final de 1.5 kg, se obtuvo de la mezcla homogénea de las sub-muestras. La cual fue sometido al análisis físico, químico y microbiológico.

La muestra final se guardó en bolsas de polietileno con cierre hermético y se etiquetaron con la siguiente información:

- Identificación de la muestra (tratamiento y repetición)
- Fecha de muestreo

3.4.2.4. Características físicas, químicas y microbiológicas del compost

Tamaño de partículas (granulometría): Para definir el tamaño de partículas del compost, se tomó 500 g de la muestra en estudio de 1.5 kg, luego se procedió a su tamizado con un tamiz de orificio de 16 mm de diámetro y se agitó durante 1 minuto, para finalmente pesar la fracción menor o igual a 16 mm.

Las demás características fisicoquímicas y microbiológicas especificadas en la tabla 12, han sido determinadas y evaluadas en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Ecotoxicología, y en el Laboratorio de Microbiología General de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.4.3. Determinación de la calidad del compost

Para determinar la calidad del compost se contrastó los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con los valores permisibles encontrados en la NCh2880 y NTP201.208, descritos a continuación.

Tabla 12. Valores permisibles de los parámetros de compost según NCh2880 y NTP201.208.

Parámetros	Unidad medida	Norma NCh2880		NTP201.208
		Clase A	Clase B	
Tamaño de partículas	mm	≤ 16 mm	≤ 16 mm	–
Contenido de humedad	%	30 - 45 %	30 - 45 %	–
Conductividad eléctrica	dS/m	< 3 dS/m	≤ 8 dS/m	–
Materia orgánica	%	≥ 20 %	≥ 20 %	–
pH	-	5,0 – 8,5	5,0 – 8,5	–
Relación C/N	-	≤ 25:1	≤ 30:1	–
Nitrógeno total	%	≥ 0,5 %	≥ 0,5 %	–
Fósforo	%	–	–	0,1 – 1,0 %
Potasio	%	–	–	0,3 – 1,0 %
Cobre	mg/kg	120	1000	–
Zinc	mg/kg	200	2000	–
Cadmio	mg/kg	2	8	–
Plomo	mg/kg	100	300	–
Coliformes fecales	NMP	< 1000 NMP*/g		–
<i>Salmonella sp</i>	NMP	< 3 NMP* en 4 g		–

Fuente: NCh2880 y NTP201.208.

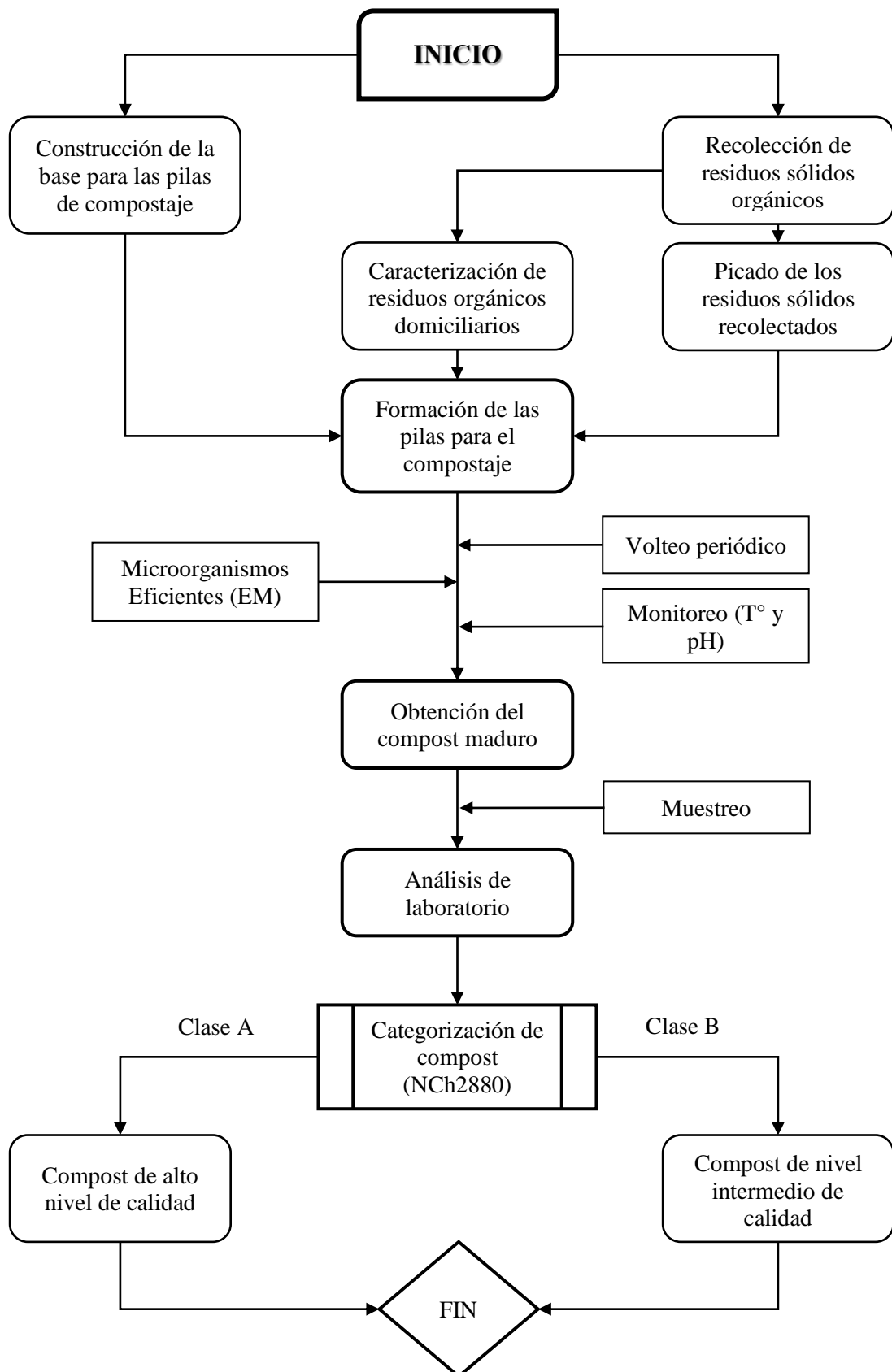


Figura 7. Flujograma del proceso de la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición de los residuos orgánicos domiciliarios

Para conocer los tipos de residuos orgánicos que se ha empleado como materia prima para la elaboración del compost en la PVRSO, se caracterizó la composición física de los residuos orgánicos para cada tratamiento evaluado. Los resultados indican que los residuos predominantes son los restos de verduras y hortalizas con el 63,39%, seguidos por restos de frutas con 20,37%, restos de tubérculos el 8,86%, restos de comida el 4,03%, pepas y semillas con 2,75%, y finalmente huesos y cáscara de huevo representan el 0,59%.

Tabla 13. Composición física de los residuos orgánicos domiciliarios.

Tipo de residuos orgánicos	Composición de residuos orgánicos domiciliarios				Total	Composición porcentual
	T0	T1	T2	T3		
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	%
Restos de frutas	4,73	6,24	4,97	5,80	21,74	20,37 %
Restos de verduras y hortalizas	15,44	18,65	16,15	17,42	67,66	63,39 %
Tubérculos	2,15	2,50	1,73	3,08	9,46	8,86 %
Pepas y semillas	0,60	0,42	1,00	0,92	2,94	2,75 %
Cascaras de huevo	0,08	0,06	0,09	0,08	0,30	0,28 %
Restos de comida	1,14	1,25	1,06	0,85	4,30	4,03 %
Huesos	0,08	0,09	0,07	0,11	0,34	0,31 %
Total	24,21	29,20	25,06	28,26	106,72	100,00

La composición física de los residuos orgánicos municipales, es influenciada por factores como la estación, el clima y la ubicación geográfica, y principalmente está conformado por carbohidratos de 30% a 69%, proteínas de 5% a 10% y lípidos de 10% a 40% (Nuñez et al., 2023), esta composición los convierte en un sustrato altamente biodegradable, idóneo para procesos biológicos como el compostaje (López et al., 2019); siendo estos residuos provenientes de actividades domiciliarias como restos de alimentos, estiércol, podas y limpieza de calles. Es fundamental conocer la composición física de los residuos orgánicos para realizar de la forma más adecuada su tratamiento a través del compostaje y obtener abonos orgánicos de calidad. (Nuñez et al., 2023).

En la presente investigación los residuos de verduras y hortalizas, restos de frutas, restos de comida y restos de tubérculos representan el 96,6% del total de residuos orgánicos

domiciliarios del material de partida, estos resultados son similares a lo encontrado por Aguirre et al. (2023), los restos de comida, cáscaras y frutas son el 93%; también Garrido et al. (2022), en Leoncio Prado, reportó que el 90,1% son los residuos orgánicos antes mencionados.

4.2. Características físicas, químicas y microbiológicas del compost

4.2.1. Monitoreo del proceso de compostaje

4.2.1.1. Temperatura

Es un parámetro muy importante en el proceso de compostaje, ya que influye directamente en la actividad bioquímica de los microorganismos (Delgado et al. 2020). Todos los tratamientos se iniciaron a compostar a temperatura ambiente, alcanzando una temperatura de 45°C en un corto tiempo de 3 a 4 días (fase mesófila). Pasando a la fase termófila todos los tratamientos, y alcanzando una temperatura máxima de 64,7 °C en el T1; esta fase termofílica duró entre 35 a 40 días y a partir de allí empezó la fase de enfriamiento prolongándose hasta el día 105 desde el inicio del proceso; y finalmente las pilas compostadas entraron a la fase de maduración, en esta fase la temperatura fue cercana a la del medio ambiente hasta culminar el proceso de compostaje, lo cual indica baja actividad microbiana y la posible madurez del compost (Delgado et al. 2020).

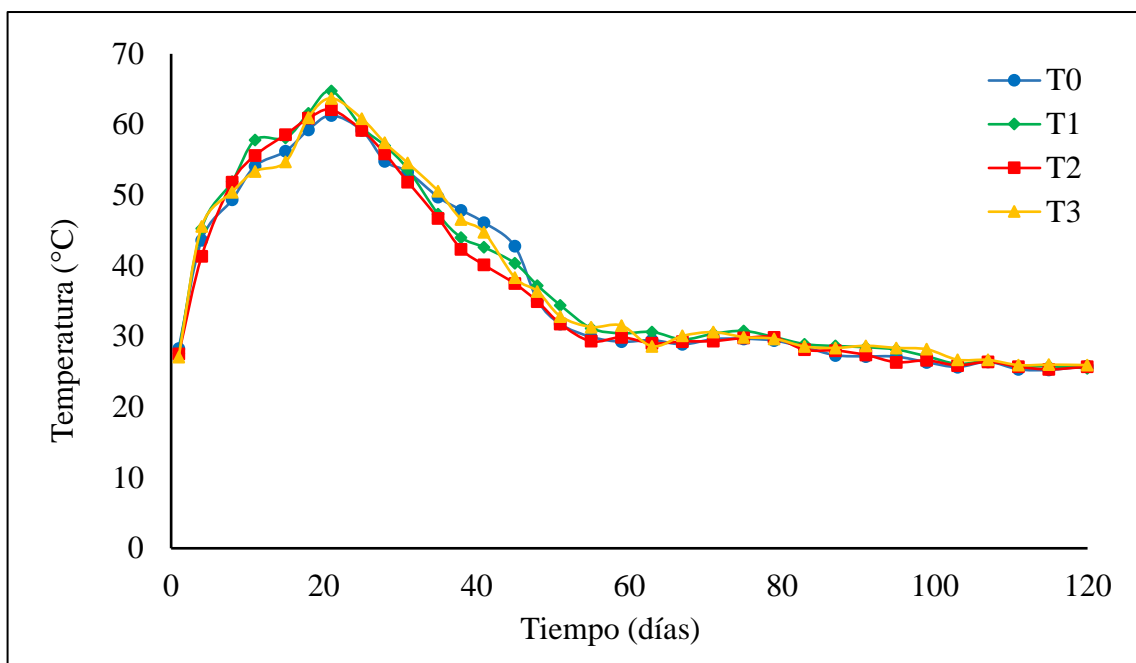


Figura 8. Comportamiento de temperatura en el proceso de compostaje de cada tratamiento.

La duración de la fase termofílica es crucial para la higienización, en donde se asegura la eliminación de bacterias patógenas en la materia orgánica, ya que a

ciertas temperaturas se eliminan los patógenos en su mayoría (Córdova et al., 2022). Bohórquez (2019) señala que la mayoría de los patógenos se eliminan a temperaturas superiores a 55°C durante tres días. Asimismo Hang et al. (2015) consideran óptimas temperaturas de 60-70°C para eliminar patógenos y semillas de malezas, advirtiendo sobre el riesgo de prolongar o superar estas temperaturas, ya que esto puede afectar a los microorganismos beneficiosos y retrasar el proceso. En el presente estudio, las temperaturas superiores a 55°C se mantuvieron por al menos 15 días y por encima de 60°C estuvo entre 3 a 5 días para todos los tratamientos. Según Román et al. (2013), temperaturas superiores a 55°C eliminan quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y contaminantes fecales como *Escherichia coli* y *Salmonella sp*, resultando en un producto higienizado.

Los resultados obtenidos, se contrasta con lo reportado por Delgado et al. (2020), quien encontró temperaturas de 65°C durante la fase termófila, que duró entre los 15 a 40 días del proceso de compostaje, similar a lo encontrado por Solórzano (2024), temperaturas de 57°C en la fase termofílica, que duró entre los 10 a 20 días del inicio del compostaje. Todos los tratamientos en estudio, durante la etapa de compostaje, pasaron por las 4 fases del compostaje y son coherentes con las referencias citadas.

4.2.1.2. pH

La Figura 9 muestra la variación del pH a lo largo del tiempo de compostaje, encontrándose similar para todos los tratamientos. Inicialmente, el pH disminuyó y luego aumentó hasta estabilizarse, concordando con lo descrito por Bohórquez (2019) sobre las fluctuaciones del pH según la fase de compostaje. Los tratamientos T1 y T2 presentaron los valores más altos de pH, según Solórzano (2024), la cantidad de estiércol influye directamente en el comportamiento del pH, por lo que puede afirmar que los tratamientos con mayor cantidad de estiércol de cuy y estiércol de oveja en el material de partida son los que tuvieron valores más altos de pH durante el proceso de compostaje.

Inicialmente, el pH fue ácido, variando de 4,73 (T1), 4,94 (T3), 5,05 (T2) y 5,17 (T0); esta disminución inicial, como señalan Cole et al. (2016), se atribuye a la degradación microbiana de almidón, monosacáridos y lípidos presentes en la biomasa, generando ácidos orgánicos. Durante la fase termofílica, el pH aumentó en todos los tratamientos, siendo todos alcalinos superando valores de 9,5. Jara et al. (2016) explican este incremento por el consumo de ácidos orgánicos y la formación de amoníaco a partir de la degradación de proteínas. Finalmente, el pH se estabilizó en valores alcalinos cercanos a 8,5, concordando con resultados de Aguirre et al. (2023), Solórzano (2024) y La Cruz (2019).

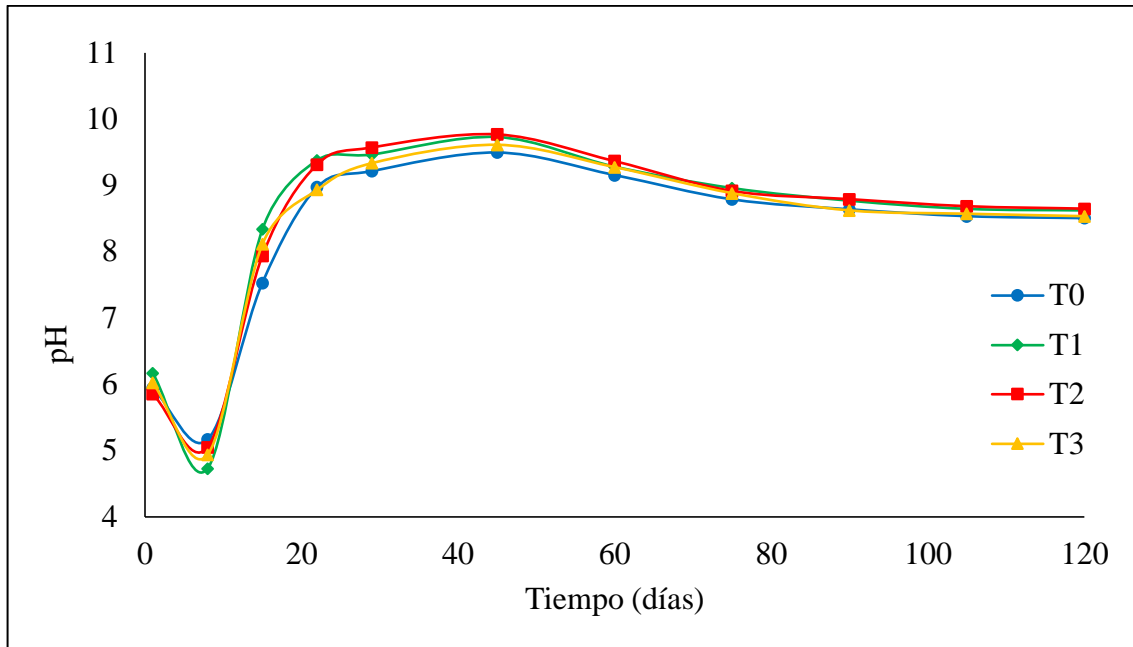


Figura 9. Comportamiento del pH en el proceso de compostaje de cada tratamiento.

Delgado et al. (2020) atribuyen la estabilización del pH a la degradación de componentes más resistentes como celulosa, hemicelulosa y la lignina, para convertirse en humus, una vez consumidas las fuentes de carbono fácilmente degradables.

4.2.2. Características físicas del compost

4.2.2.1. Tamaño de partículas

El 100% del compost de todos los tratamientos cumplió con la NCh2880, pasando por un tamiz de 16 mm, lo que asegura su clasificación como compost de Clase B, para lo cual estable que el tamaño de partículas debe de ser menor o igual a 16 mm.

Debido a que los valores de las repeticiones de todos los tratamientos fueron las mismas (error estándar de la media es igual a cero), no se realizó el análisis de varianza respecto a este parámetro.

Tabla 14. Tamaño de partículas (%) del compost de cada tratamiento.

Compost	Tamaño de partículas (%)	Según NCh2880		Calidad de compost
		Clase A	Clase B	
T0	100,0			B
T1	100,0			B
T2	100,0	≤ 16 mm	≤ 16 mm	B
T3	100,0			B

Según Vargas (2017), el tamaño de partícula del compost es crucial, ya que influye en la porosidad, la densidad aparente, la aireación y la retención de agua, por lo que el rango óptimo para cultivos es de tamaño medio-grueso, entre 0,25 y 2,5 cm. Los resultados encontrados en este estudio coinciden con los reportados por Juan de Dios (2019) y Vargas (2017).

4.2.2.2. Contenido de humedad

Los datos de contenido de humedad de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 15. ANOVA de contenido de humedad de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	269,417	3	89,8056	10,19	0,0042
Error	70,5	8	8,8125		
Total	339,917	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA indica evidencia estadística de que al menos un tratamiento es distinto respecto a su contenido de humedad, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 16. Prueba de Duncan para contenido de humedad (%) de los tratamientos.

Tratamientos	Repetición	Media	Grupos
T0	3	20,83	A
T1	3	32,83	B
T2	3	32,00	B
T3	3	28,67	B

La media del contenido de humedad del T0 (grupo A), no comparte el mismo grupo con la media del T1, T2 y T3 (grupo B), por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, con un nivel de confianza del

95.0%. Asimismo no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

Según la NCh2880, el compost de clase B debe tener un contenido de humedad entre el 30% a 45%. La Figura 10 muestra que T1 y T2 se encuentran dentro de este rango, mientras que T0 y T3 se encuentran por debajo del límite inferior, probablemente debido a la mayor proporción de residuos secos, como restos de poda y fragmentos gruesos de compost en el material de partida. Sin embargo, otras normas como la NTC5167 consideran que el contenido de humedad óptimo es de 20 a 35%, y la NADF-020 considera óptimo entre el 25% y 45% para compost a base RSU.

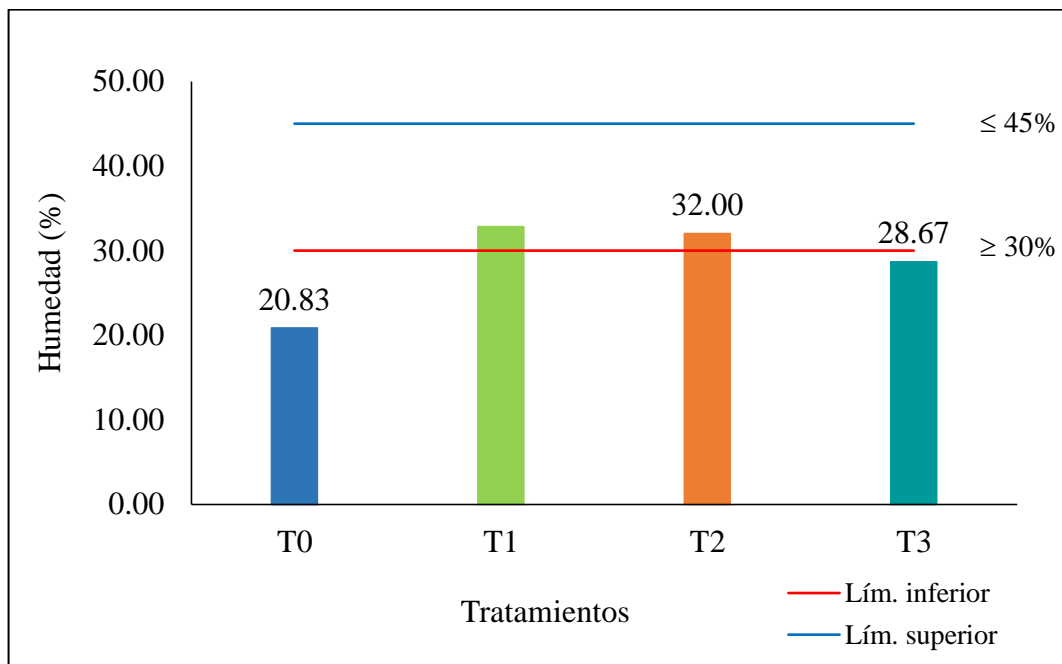


Figura 10. Contenido de humedad (%) del compost obtenido de cada tratamiento.

Los resultados obtenidos, son similares a lo encontrado por Castillo (2020), quien obtuvo un compost final con humedad de 27,17% a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y 37,35% de humedad en compost de cuatro tipos de residuos orgánicos + una dosis de EM. Solórzano (2024), encontró valores en promedio de 40,85%, 38,04% y 33,93% de contenido de humedad, en compost de residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy; no obstante Aguirre et al. (2023), registró bajos niveles de contenido de humedad entre 15% a 18,5%, al igual Ríos (2022), encontró valores entre 8,92% a 29,93% de humedad en compost producido en las diferentes municipalidades distritales de Leoncio Prado.

Garzón y Torres (2024) indican que un nivel óptimo de contenido de humedad en el compost es alrededor del 30%, que puede verse afectado por las

precipitaciones; asimismo Román et al. (2013) afirman que el compost maduro, idealmente debe tener un contenido de humedad entre el 30% y el 40 % para uso agrícola. Además, Bailón y Florida (2020) señalan que un alto contenido de humedad afecta el peso del producto y puede sesgar los cálculos de las tasas efectivas de aplicación al suelo.

4.2.2.3. Conductividad eléctrica (CE)

Los datos de CE de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 17. ANOVA de conductividad eléctrica de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	33,6715	3	11,2238	10,37	0,0039
Error	8,65673	8	1,08209		
Total	42,3282	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. El ANOVA indica evidencia estadística de que al menos un tratamiento es distinto respecto a su CE, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 18. Prueba de Duncan para conductividad eléctrica (dS/m) de los tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Grupos
T3	3	11,88	A
T1	3	13,49	A
T0	3	15,83	B
T2	3	15,85	B

La media de CE del T0 y T2 (grupo A), no comparte el mismo grupo con la media del T1 y T3 (grupo B), por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Asimismo no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

La conductividad eléctrica, en todos los tratamientos ha superado los valores permisibles de la NCh2880 para compost de clase B; encontrándose 15,83 dS/m en el T0, 13,49 dS/m en el T1, en el T2 se obtuvo 15,85 dS/m y por último en el T3 se obtuvo 11,88 dS/m. Estos valores altos de CE obtenidos en la evaluación, se deben probablemente a que el material de partida tuvo una concentración relativamente alta de sales, al respecto Delgado et al. (2020) indican que la conductividad eléctrica del compost depende principalmente de la concentración de sales del material de partida, y en menor medida, de los iones amonio o nitratos generados durante el proceso.

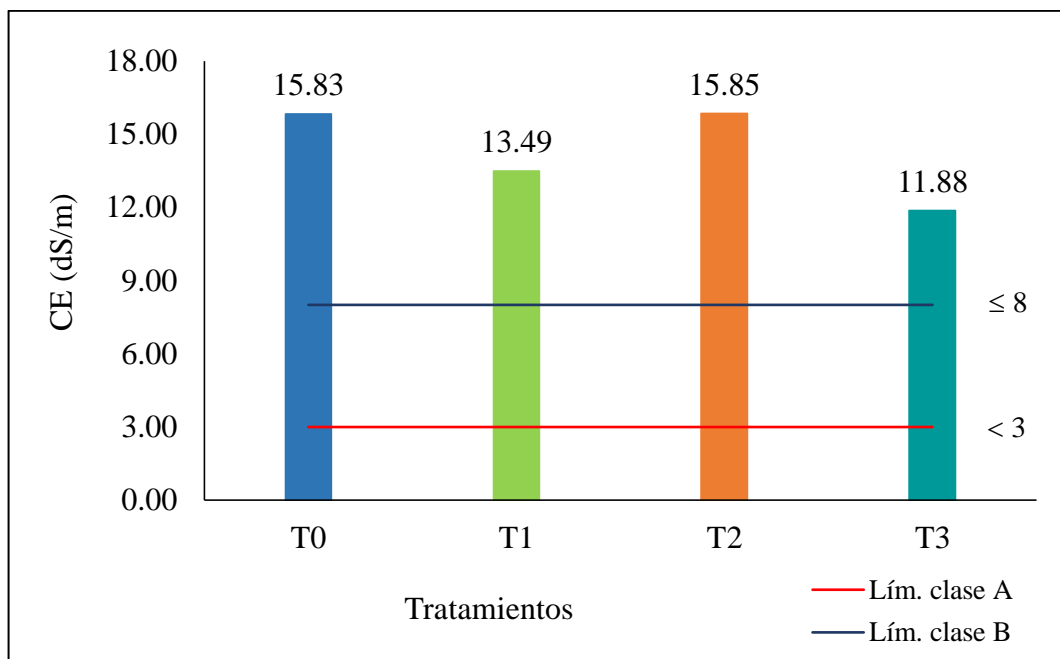


Figura 11. Conductividad eléctrica (dS/m) del compost obtenido de cada tratamiento.

Por lo general la CE del compost producidos a base de residuos sólidos orgánicos municipales es ampliamente variable de acuerdo a los antecedentes revisados. Elera y Olano (2019), en su investigación encontró valores altos de CE, obteniendo 21,6 dS/m en compost de residuos sólidos orgánicos (RSO) y 20,3 dS/m para compost de RSO + EM; asimismo Huapaya (2024), encontró valores de 21,85 dS/m en compost de RSOD y 23,86 dS/m en compost de RSOD + estiércol ovino + restos de podas; también Paredes (2013), encontró valores similares de CE al presente estudio, obteniendo 13,85 dS/m en compost de estiércol de oveja + pajilla de arroz. No obstante Solórzano (2024), encontró valores medio bajos de 6,26, 6,34 y 6,46 dS/m de compost de residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy, afirmando

que a mayor cantidad de estiércol de cuyo tenga el material de partida, la conductividad eléctrica incrementa.

4.2.3. Características químicas del compost

4.2.3.1. Potencial de hidrogeno (pH)

Los datos de pH de todos los tratamientos se compararon con el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 19. ANOVA de pH de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	0,0638917	3	0,0212972	7,54	0,0102
Error	0,0226	8	0,002825		
Total	0,0864917	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA demuestra evidencia estadística de que al menos un nivel de tratamiento presenta un efecto distinto en el pH, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 20. Prueba de Duncan para pH de los tratamientos.

Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos
T1	3	8,64	A
T3	3	8,71	AB
T0	3	8,75	BC
T2	3	8,84	C

La media de pH del T1 y T3 (grupo A), no comparte el mismo grupo con la media del T2 (grupo C), y la media de T0 (grupo B) no comparte el mismo grupo con la media de T1, por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre los grupos, con un nivel de confianza del 95,0%. Asimismo no existen diferencias

estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

El pH del compost obtenido de todos los tratamientos superaron los valores permisibles de la NCh2880 para compost de clase B, que según dicha norma el pH del compost debe estar entre 5 a 8,5. El nivel de pH más alto se encontró en el T2 siendo 8,84, seguido del T0 y T3 con niveles de pH de 8,75 y 8,71 respectivamente y el nivel más bajo de pH se encontró en el T1 con 8,64. No obstante, otras normas como la NTC5167 consideran óptimo el nivel de pH entre 4 a 9 en compost de residuos sólidos urbanos, y la OMS considera un pH óptimo entre 6 a 9 para compost comercial.

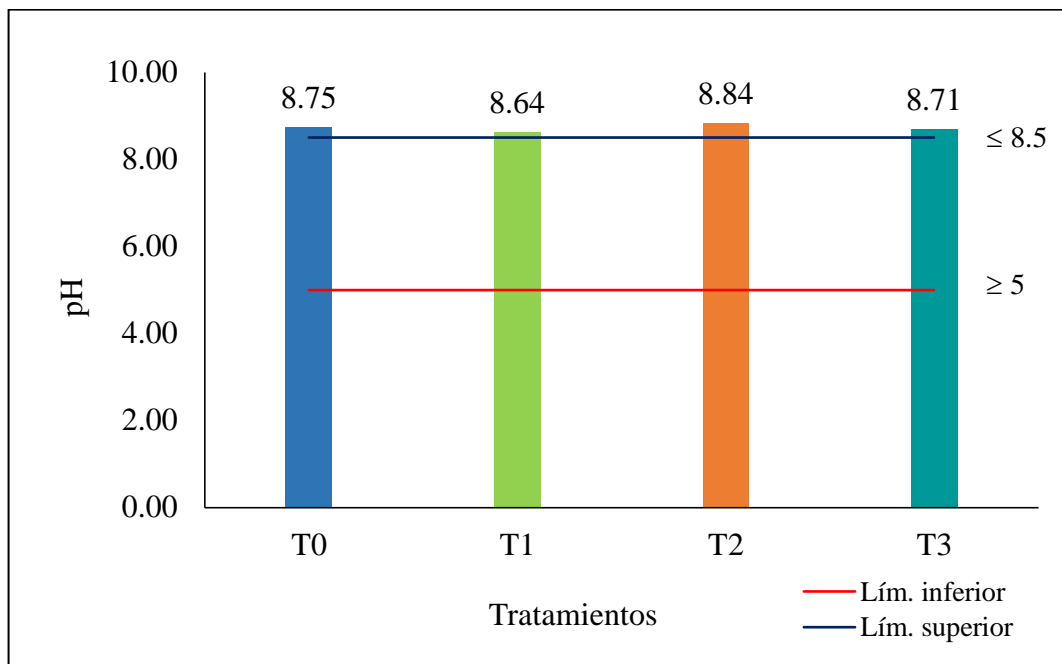


Figura 12. Nivel de pH del compost obtenido de cada tratamiento.

Los altos niveles de pH encontrados son similares a los reportados por La Cruz (2019) y Huapaya (2024), y posiblemente se deben al material inicial del compostaje, ya que los residuos orgánicos urbanos son ricos en proteínas y elevan el pH al descomponerse (Bailón y Florida, 2020; Garrido et al., 2023).

Los valores del pH en el compost procedentes de residuos sólidos orgánicos municipales es muy variable como indica Vargas (2017), al reportar valores de 8,85 y 8,95; Aguirre (2023), encontró valores de pH que oscila de 9,10 a 9,45 en la planta de valorización de la municipalidad provincial de Leoncio Prado; La Cruz (2019), reportó pH de 8,5 y 8,3 en compost de RSO + aserrín y RSO + poda y jardín respectivamente en Chilca - Huancayo y Huapaya (2024), encontró valores de pH de 9,14 en compost de RSOD y 8,10 de

pH en compost de RSOD + estiércol ovino + restos de podas. Al respecto Solórzano (2024), indica que a mayor cantidad de estiércol de cuy en el material de partida del proceso de compostaje, el valor del pH incrementa.

4.2.3.2. Materia orgánica (MO)

Los datos de contenido de materia orgánica de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 21. ANOVA de contenido materia orgánica de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	156,25	3	52,0833	21,19	0,0004
Error	19,6667	8	2,45833		
Total	175,917	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA indica evidencia estadística de que al menos un tratamiento es distinto respecto a su contenido de materia orgánica, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 22. Prueba de Duncan para materia orgánica (%) de los tratamientos.

Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos
T2	3	23,17	A
T3	3	25,17	AB
T1	3	27,17	B
T0	3	32,83	C

La media de contenido de MO del T0 (grupo C), no comparte el mismo grupo con la media del T1 (grupo B) y la media del T2 y T3 (grupo A), por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre los 3 grupos, con un nivel de

confianza del 95,0%. Asimismo no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

El contenido de MO en todos los tratamientos se encuentra dentro del rango permisible de la NCh2880 para compost de clase B, el cual establece el contenido de MO debe ser mayor o igual 20% (ver Figura 13). El tratamiento T0 presentó el valor más alto de MO (32,83%), seguido por T1 (27,17%), T3 (25,17%) y T2 (23,17%).

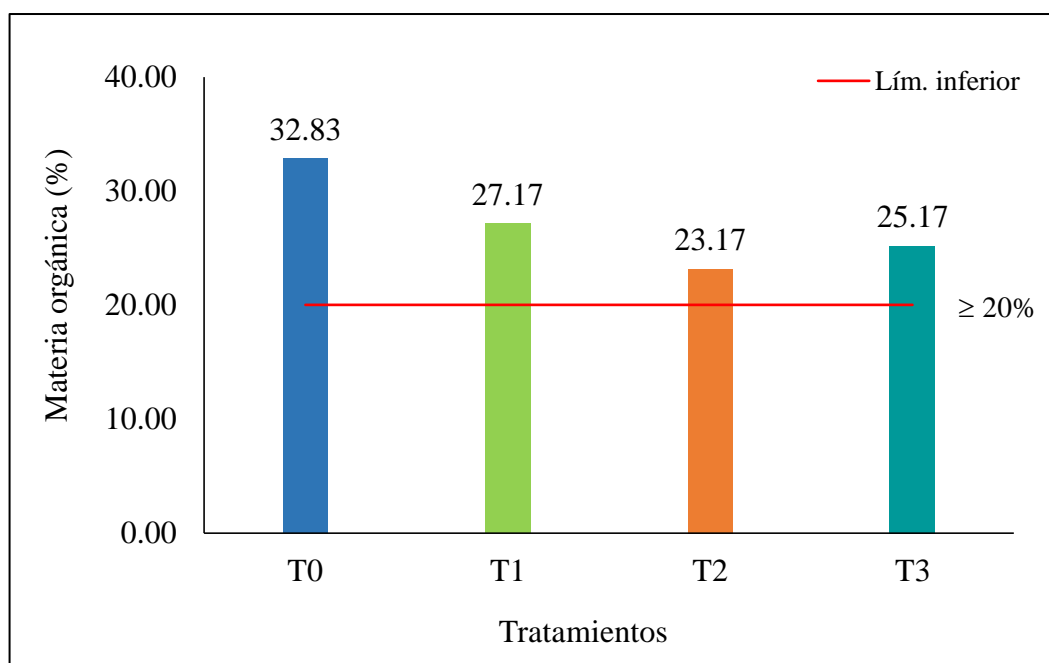


Figura 13. Materia orgánica (%) del compost obtenido de cada tratamiento.

Delgado et al. (2020) destacan la importancia del contenido de MO en el compost para su calidad agronómica; sin embargo, la materia orgánica disminuye durante el compostaje debido a la mineralización y la pérdida de carbono en forma de CO₂, lo que puede representar hasta un 20% de la masa total.

Los resultados del presente estudio, son similares a los valores reportados por Castillo (2020), en compost a partir de RSOD + estiércol ovino + estiércol vacuno, encontrando medias de 26,8% a 28,8% de MO. La Cruz (2019), encontró valores de 27.50%, 32.78% y 29.96% de materia orgánica en compost de residuos sólidos urbanos (RSU), RSU + aserrín y RSU + poda de jardín respectivamente. Asimismo Bailón y Florida (2020), reportó medias de 29.35% a 36.84 % de contenido materia orgánica en los compost producidos y comercializados en Tingo María.

4.2.3.3. Relación C/N

Los datos de la relación C/N de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 23. ANOVA de relación C/N de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	8,13462	3	2,71154	4,37	0,0423
Error	4,96447	8	0,620558		
Total	13,0991	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA demuestra evidencia estadística de que al menos un tratamiento es distinto respecto a su relación C/N, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 24. Prueba de Duncan para relación C/N de los tratamientos.

Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos
T2	3	7,55	A
T1	3	7,86	A
T3	3	8,07	A
T0	3	9,68	B

La media de la relación C/N del T0 (grupo B), no comparte el mismo grupo con la media del T1, T2 y T3 (grupo A), por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, con un nivel de confianza del 95.0%. Asimismo no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

La relación de carbono/nitrógeno en el compost se encontraron valores de 9,68 en el T0, 7,86 y 7,55 en el T1 y T2 respectivamente y 8,07 en el T3;

encontrándose todos los tratamientos dentro del límite permisible según la NCh2880 para compost de clase B, las cuales deben ser menor o igual a 30.

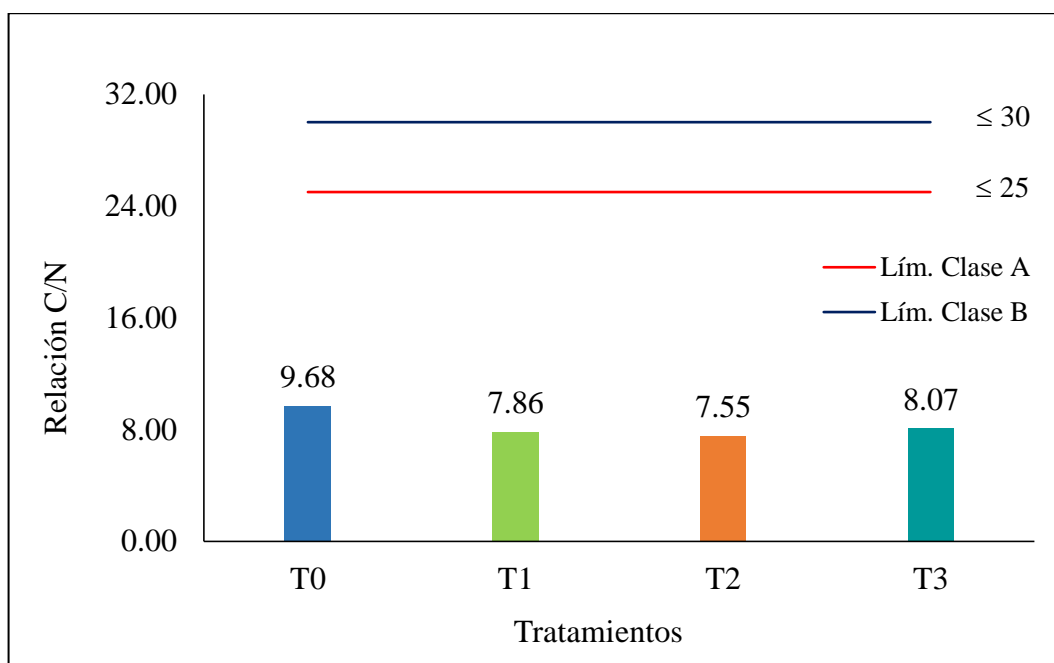


Figura 14. Relación de C/N del compost obtenido de cada tratamiento.

Según Delgado et al. (2020), una relación C/N < 15 indica alta actividad microbiana que consume el carbono de la MO. Asimismo Jara et al. (2016) señalan que compost con C/N cercano a 3 no inmoviliza el nitrógeno en el suelo. Además Bohórquez (2019) define la estabilidad o madurez del compost con una relación C/N ≤ 20 .

Los valores obtenidos de la relación C/N son similares a los reportados por Solórzano (2024), la cual obtuvo una relación C/N de 6,93, 6,56 y 6,97 en compost de residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy. La Cruz (2019), encontró valores de 14,05 y 12,20 de relación de C/N en compost de residuos sólidos urbanos (RSU) + aserrín y RSU+ poda de jardín respectivamente, y Huapaya (2024), encontró valores de 9,54 en compost de RSOD y 9,0 de relación C/N en compost de RSOD + estiércol ovino + restos de podas.

4.2.3.4. Nitrógeno total (N)

Los datos de contenido de nitrógeno total de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

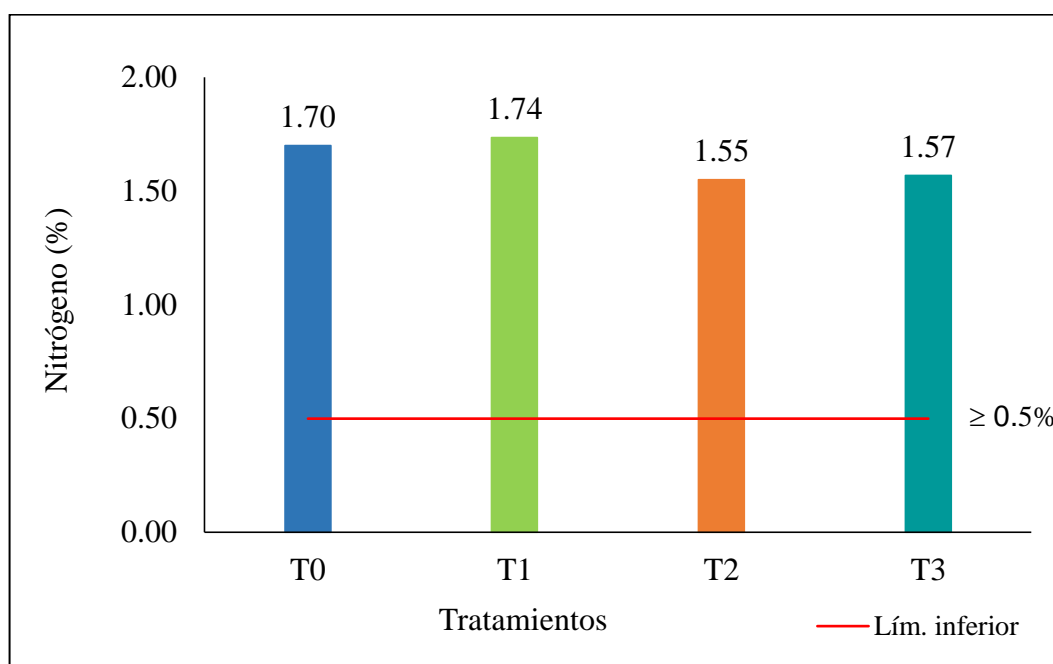
Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 25. ANOVA de nitrógeno total de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	0,0781387	3	0,0260462	0,93	0,4689
Error	0,223701	8	0,0279627		
Total	0,30184	11			

Dado que el valor de $p > 0,05$, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_a). Y a partir del ANOVA hay evidencia estadística para asegurar que no hay diferencias significativas entre los niveles de tratamiento respecto a su contenido de nitrógeno (N), con un nivel de 5% de significación.

**Figura 15.** Contenido de Nitrógeno (N) en el compost obtenido de cada tratamiento.

El contenido de nitrógeno en el compost según la NCh2880 debe ser mayor o igual a 0,5% para compost de clase B. En el presente estudio se encontraron valores de 1,70% y 1,74% de nitrógeno en el T0 y T1 respectivamente, siendo estos los valores más altos que se encontró, en el T2 se encontró 1,55% de N y 1,57% en el T3; encontrándose todos los tratamientos dentro de los valores permisibles por la NCh2880.

El nitrógeno es fundamental para el desarrollo y la absorción de nutrientes en las plantas (Ríos, 2022). El contenido de nitrógeno en todos los tratamientos variaron en pequeñas cantidades, esto se debe probablemente a la composición del material

inicial que se sometió al compostaje, siendo este afirmado por Vargas (2017), al indicar que la variabilidad del contenido de N es probablemente a la composición y proporción del material de partida utilizado en el compostaje, asimismo Román et al. (2013), indica que el contenido en N del compost tiene una gran variabilidad, ya que depende de los materiales de origen.

En general el contenido de N en compost producidos a base de residuos sólidos orgánicos es variable. Solórzano (2024), encontró valores de 1,90%, 1,99%, 2,21% y 2,27% de N en compost de residuos orgánicos domiciliarios con estiércol de cuy, además afirma que a mayor cantidad de estiércol de cuy en el material de partida, el contenido de nitrógeno incrementa. Bailón y Florida (2020), reportaron medias entre 1.43% a 2.48 % de nitrógeno en los compost producidos y comercializados en Tingo María; y Sinche (2022), reportó valores de 1,31% y 1,46% de contenido NT. Asimismo Cancio (2024), encontró valores medio bajos de 1,0%, 0,84 y 0,83% de N en compost de residuos sólidos orgánicos + estiércol de cuy + planta acuática, similares a lo reportado por Castillo (2020), medias entre 0,94% a 1,0% de contenido de nitrógeno en compost de residuos sólidos orgánicos + estiércol ovino + estiércol vacuno.

4.2.3.5. Fósforo (P)

Los datos de contenido de fósforo de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 26. ANOVA de contenido fósforo de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	0,456648	3	0,152216	116,58	0,000001
Error	0,0104453	8	0,00130567		
Total	0,467094	11			

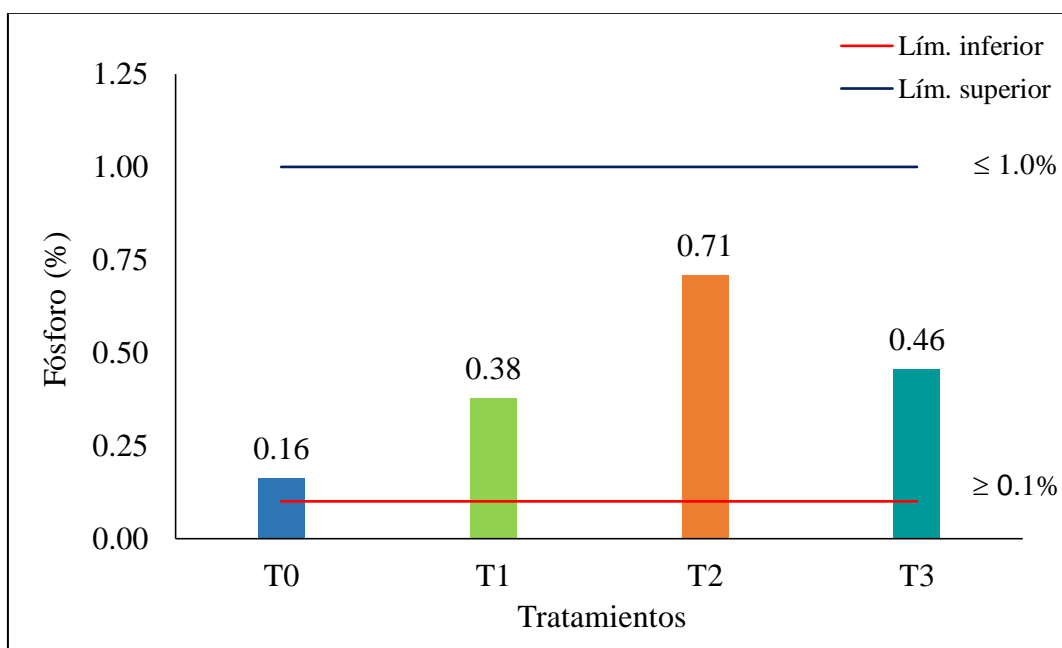
Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA indica evidencia estadística de que al menos un tratamiento difiere en su contenido de fósforo, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 27. Prueba de Duncan para fósforo (%) de los tratamientos.

Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos
T0	3	0,16	A
T1	3	0,38	B
T3	3	0,46	C
T2	3	0,71	D

Las medias de contenido de fósforo de todos los tratamientos son significativamente diferentes, ya que no comparten un mismo grupo, a un nivel de confianza del 95,0%.

El fósforo es fundamental en el metabolismo microbiano debido a su papel para formar compuestos celulares ricos en energía (Delgado et al., 2020). En la Figura 16 se aprecia los contenidos de fósforo, encontrándose en el T0 (0,16%), T1 (0,38%), T2 (0,71%) y en el T3 (0,46%). Aunque la NCh2880 no considera el fósforo para definir la calidad del compost, los valores obtenidos se contrastaron con la NTP 201.108 (2021), la cual establece un rango de 0,1% a 1,0%, encontrándose todo los tratamientos dentro del rango permisible. Según Solórzano (2024), el alto contenido de fósforo es beneficioso para la transferencia de energía y en la eficiencia de la fotosíntesis de las plantas.

**Figura 16.** Contenido de Fósforo (P) en el compost obtenido de cada tratamiento.

Los resultados del contenido de fósforo coinciden con los reportados por Solórzano (2024), quien encontró promedios de 0,13% a 0,64% en composta de residuos orgánicos domésticos con estiércol de cuy, asimismo, La Cruz (2019) reportó 0,60% de fósforo en compost de residuos sólidos urbanos y poda de jardines, y Huapaya (2024) reportó valores promedios de 0,61% y 0,32%.

4.2.3.6. Potasio (K)

Los datos de contenido de potasio de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 28. ANOVA de contenido de potasio de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	0,029438	3	0,00981267	20,53	0,0004
Error	0,003824	8	0,000478		
Total	0,033262	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. El ANOVA indica evidencia estadística de que al menos un nivel de tratamiento difiere en su contenido de potasio, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 29. Prueba de Duncan para potasio (%) de los tratamientos.

Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos
T0	3	0,99	A
T3	3	1,05	B
T1	3	1,06	B
T2	3	1,13	C

La media de contenido de potasio del T0 (grupo A), no comparte el mismo grupo con la media del T1 y T3 (grupo B) y con la media del T1 (grupo C), por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre los 3 grupos, con un nivel

de confianza del 95,0%. Asimismo no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

El contenido de K que se obtuvo en el T0 fue de 0,99%, 1,06% en T1, 1,13% en T2 y 1,05% en T3. Si bien la NCh2880 no considera el potasio para evaluar la calidad del compost, los valores obtenidos se contrastaron con la NTP201.208 la cual establece que el rango óptimo es de 0,3% a 1,0% de potasio.

Según Aguirre et al. (2023), el K es fundamental en la síntesis de proteínas y carbohidratos, y juega un papel crucial en la fotosíntesis y en la estructura de la planta; asimismo Solórzano (2024), refiere que el compost bien provista de K favorece a que las plantas no sufran enfermedades, aumenta su capacidad de resistencia a la sequía y heladas.

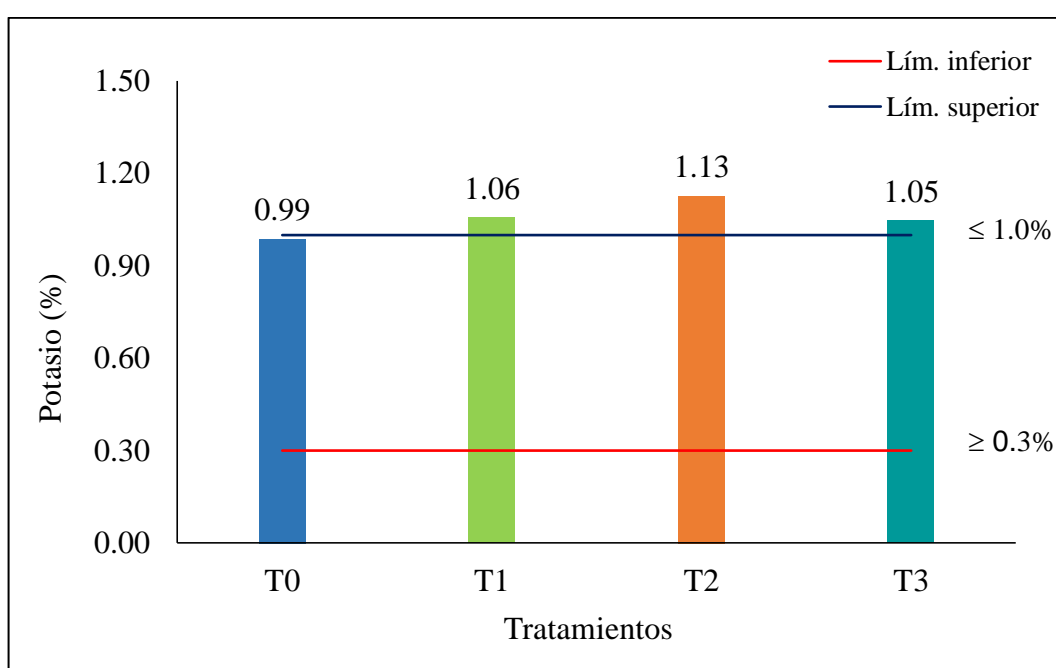


Figura 17. Contenido de Potasio (K) en el compost obtenido de cada tratamiento.

En la figura 17 se aprecia que el compost del T0 es el único que se encuentra dentro del rango permisible de la NTP201.208, además precisar que el contenido de K en los demás tratamientos se encontró muy cercano al 1,0%. Sin embargo, otras normas como NADF-020 consideran que el contenido de K en compost debe estar entre 1 a 3%, y la NTC5167 establece que el K en compost debe ser mayor o igual 1%.

Los resultados obtenidos fueron similares a los que reportaron Huapaya (2024), de 1,61% de K en compost de residuos sólidos orgánicos y 1,60% de K en compost de RSO + estiércol ovino + restos de podas; y Solórzano (2024) encontró valores

medías entre 1,07% a 1,76% de K. Asimismo Castillo (2020) y Garrido et al. (2023), reportaron valores medias más bajos entre 0.34% a 0.57% de K, en compost de residuos sólidos urbanos.

4.2.3.7. Cobre (Cu)

Los datos de contenido de cobre de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 30. ANOVA de cobre de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	16090,9	3	5363,64	11,16	0,0031
Error	3845,33	8	480,667		
Total	19936,3	11			

Dado que el valor de $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA indica evidencia estadística de que al menos un tratamiento difiere en su contenido de cobre, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 31. Prueba de Duncan para cobre (mg/kg) de los tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Grupos
T0	3	108,67	A
T1	3	164,33	B
T3	3	194,00	B
T2	3	202,00	B

La media de contenido de cobre del T0 (grupo A), no comparte el mismo grupo con las medias del T1, T2 y T3 (grupo B), por lo cual se afirma que hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, con un nivel de confianza del 95,0%. Asimismo no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de aquellos tratamientos que comparten un mismo grupo.

El cobre es un micronutriente de gran importancia en pequeñas cantidades en la producción agrícola, pero en altas concentraciones puede volver tóxico al medio ambiente, siendo un factor de riesgo para los seres vivos (Dueñas et al. 2022), sin embargo en pequeñas concentraciones es importante para el metabolismo vegetal y animal (Ríos, 2022).

El contenido de Cu en el compost según la NCh2880 debe ser ≤ 1000 mg/kg, para compost de clase B. La Figura 18 muestra concentraciones de 108,67 mg/kg (T0), 164,33 mg/kg (T1), 202 mg/kg (T2) y 194 mg/kg (T3), todas por debajo del límite permisible de la NCh2880, para compost de clase B en todas las evaluaciones.

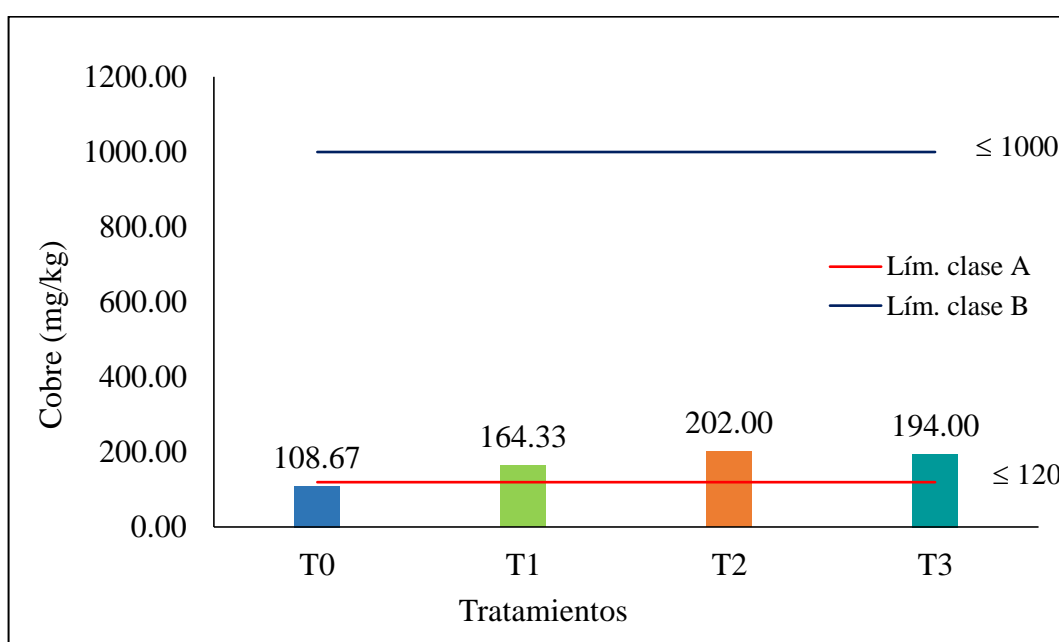


Figura 18. Contenido de Cobre (Cu) en el compost obtenido de cada tratamiento.

La presencia de cobre en el compost podría ser debido a una segregación deficiente de los residuos sólidos orgánicos en la fuente de origen. Vargas (2017) señala que una segregación adecuada de los residuos orgánicos en origen es fundamental para reducir la presencia de metales pesados en el compost, ya que la falta de la segregación incrementa el contenido de metales pesados debido a la disolución provocada por las condiciones ácidas de la fracción orgánica; la cual se puede corroborar con lo reportado por Gracia (2012) donde demostró una disminución significativa en la concentración de cobre en compost procedente de residuos urbanos no segregados y segregados en origen, disminuyendo el contenido de Cu de 395 mg/kg a 28 mg/kg. Asimismo, otra de las causas de la presencia de cobre en el compost, es el uso de fungicidas con contenido de cobre para el control de hongos en

cultivos como la cebolla china, tomate, papa, etc. (Carrasco et al. 2023), las cuales formaron parte de la fracción orgánica del material de partida que se compostó.

Los resultados encontrados respecto al contenido de Cu fue similar a los reportado por La Cruz (2019), donde obtuvo valores medias entre 155 mg/kg a 161 mg/kg en compost de residuos sólidos urbanos con aserrín y restos de podas; asimismo Castillo (2020), encontró valores más bajos entre 12 mg/kg a 29 mg/kg; al igual que Garrido et al. (2023), reportó medias entre 15,73 mg/kg a 23,57 mg/kg de Cu en compost de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado.

4.2.3.8. Zinc (Zn)

Los datos de contenido de zinc de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 32. ANOVA de zinc de los tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Tratamientos	590,917	3	196,972	0,82	0,5191
Error	1925,33	8	240,667		
Total	2516,25	11			

Dado que el valor de $p > 0,05$, se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Ha). Y a partir del ANOVA hay evidencia estadística para asegurar que no hay diferencias significativas entre los niveles de tratamiento respecto a su contenido de zinc (Zn), con un nivel de 5% de significación.

El zinc es otro micronutriente que se encuentra en el compost, necesario para las plantas pero en cantidades muy pequeñas; es necesario para el metabolismo, formación de clorofila, la síntesis de carbohidratos y la maduración de semillas (Román et al., 2013). Sin embargo en concentraciones altas son tóxicas y muy peligrosas por su capacidad de bioacumulación y bioadsorción en los sistemas vivos (Nuñez et al., 2023).

El contenido de zinc en el compost según la NCh2880 debe ser menor o igual a 2000 mg/kg para compost de clase B. En la figura 19 se puede apreciar que se

encontró concentraciones de 111,0 mg/kg en el T0, 127,67 mg/kg en el T1, 110,33 mg/kg en el T2 y por ultimo 114,0 mg/kg en el T3; concentraciones que se encuentran muy por debajo de los valores permisibles señalados en la NCh2880.

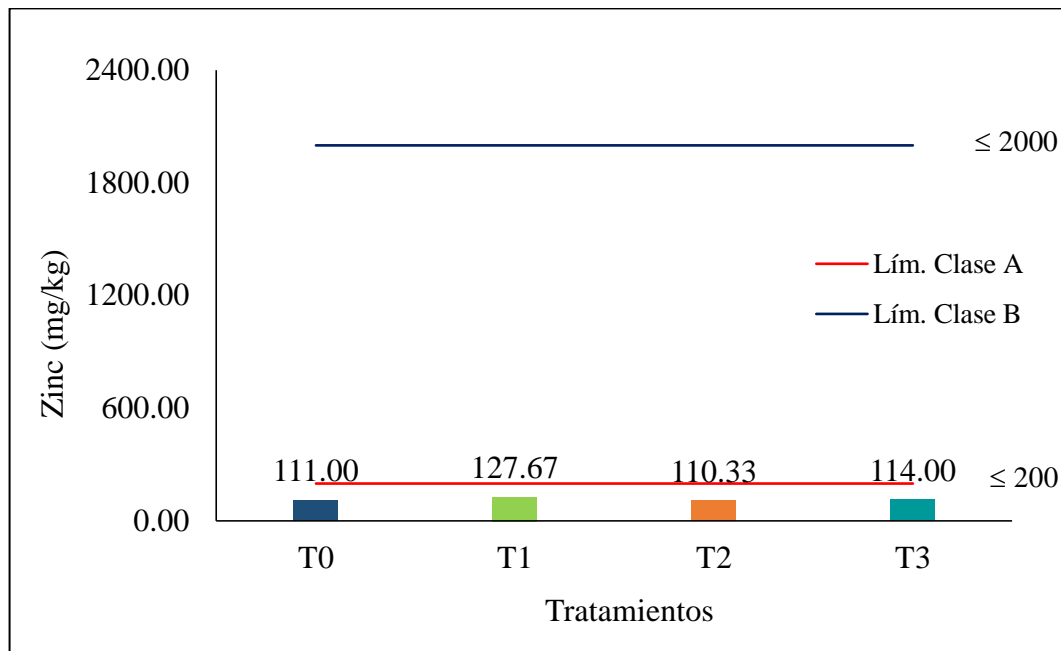


Figura 19. Contenido de Zinc (Zn) en el compost obtenido de cada tratamiento.

Los niveles de Zn en todos los tratamientos estuvieron por debajo de los límites permitidos por la NCh2880, lo cual, según Aguirre (2023), puede atribuirse a la naturaleza y procesamiento de los residuos compostados. Estos resultados son consistentes con los valores de Zn reportados por Castillo (2020), Aguirre (2023) y Garrido et al. (2023) en compost de residuos sólidos orgánicos urbanos.

4.2.3.9. Cadmio (Cd)

Dado que no se encontró contenido de cadmio en todos los tratamientos, no se realizó el ANOVA respecto a este parámetro, quedando aceptada la categorización como compost de Clase B según la NCh2880.

El cadmio, uno de los metales traza más solubles y peligrosos por su alta movilidad, presenta efectos nocivos en las plantas incluso en bajas concentraciones (Dueñas et al., 2022). En la presente investigación no se encontró cadmio en el compost de ninguno de los tratamientos, cumpliendo con el límite de ≤ 8 mg/kg establecido por la NCh2880 para compost clase B.

Tabla 33. Contenido de cadmio (Cd) en el compost obtenido de cada tratamiento.

Compost	Cadmio (mg/kg)	Concentración máxima permisible según NCh2880		Calidad de compost
		Clase A	Clase B	
T0	0,0*			B
T1	0,0*			B
T2	0,0*	2 mg/kg	8 mg/kg	B
T3	0,0*			B

* Valor No Detectado – menor al límite de detección 0,002 ppm

Según Li et al. (2018), el alto nivel de pH del compost es un factor fundamental para estabilizar metales pesados. Además la adición de microorganismos eficientes (EM) favorece la pasivación de metales pesados al acelerar la degradación de la materia orgánica, generando ácidos húmicos y fúlvicos que tiene alta posibilidad de que se unan a los iones metálicos (Nuñez et al., 2023).

No obstante, algunos autores han detectado cadmio en compost a base de residuos sólidos orgánicos municipales, con valores medios de 0,12 a 0,14 mg/kg de Cd (Garrido et al., 2023); y 0,15 mg/kg en compost de RSOD con estiércol de cuy y 0,03 mg/kg de Cd en compost de RSOD con estiércol de conejo (Sinche, 2022).

4.2.3.10. Plomo (Pb)

Los datos de contenido de plomo de todos los tratamientos se compararon mediante el ANOVA, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: No existe efecto de tratamiento, todos son iguales, cuando $p > 0,05$.

Ha: Si existe efecto de tratamiento, al menos uno es distinto, cuando $p < 0,05$.

Tabla 34. ANOVA de plomo de los tratamientos.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	p
Tratamientos	24,7158	3	8,23861	22,02	0,0003
Error	2,99333	8	0,374167		
Total	27,7092	11			

Dado que $p < 0,05$, se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). El ANOVA demuestra evidencia estadística de que al menos un

tratamiento difiere respecto al contenido Pb, con un nivel de 5% de significación; para identificar qué tratamientos difieren, se realizó la prueba de medias de Duncan.

Tabla 35. Prueba de Duncan para plomo (mg/kg) de los tratamientos.

Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos
T3	3	6,70	A
T0	3	7,89	B
T2	3	9,22	C
T1	3	10,54	D

Las medias de contenido de plomo de todos los tratamientos son significativamente diferentes, ya que no comparten un mismo grupo, a un nivel de confianza del 95,0%.

Según la NCh2880 el contenido de plomo en el compost debe ser ≤ 300 mg/kg para compost de clase B. En la figura 20 se aprecia concentraciones muy bajas de contenido de plomo en todos los tratamientos, encontrándose muy por inferior al límite permisible señalados en la NCh2880.

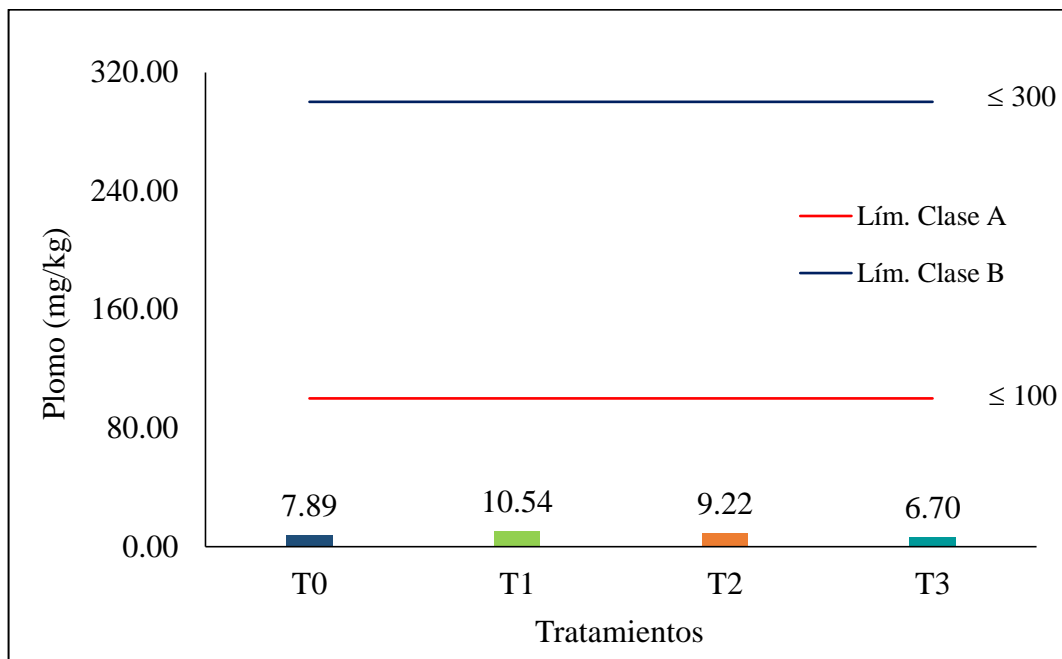


Figura 20. Contenido de Plomo (Pb) en el compost obtenido de cada tratamiento.

En general los valores obtenido de concentraciones de plomo en todos los tratamientos son bajos e inferior al límite permisible de la NCh2880, los cuales son

similares a los encontrados por Castillo (2020), Sinche (2022) y Garrido et al. (2023). Además es importante precisar que el bajo contenido de plomo en el compost obtenido, facilita su uso como enmienda orgánica en la agricultura.

4.2.4. Características microbiológicas del compost

4.2.4.1. Coliformes fecales

Debido a la ausencia de coliformes fecales en todos los tratamientos, no se pudo realizar el análisis de varianza respecto a este parámetro, quedando aceptada la categorización como compost de Clase B, según la NCh2880.

Tabla 36. Cantidad de coliformes fecales del compost obtenido de cada tratamiento.

Compost	Coliformes fecales (NMP/g)	Valor permisible según NCh2880		Calidad de compost
		Clase A	Clase B	
T0	0,0			B
T1	0,0	< 1000 NMP/g de compost		B
T2	0,0			B
T3	0,0			B

Según la NCh2880 la presencia de coliformes fecales debe ser menor a 1000 NMP/g para compost de clase B. En la tabla 36 se puede apreciar que no se encontró microorganismos de coliformes fecales en el compost de ninguno de los tratamientos; esto se debe probablemente a altas temperaturas alcanzadas durante la fase termofílica, llegando hasta los 64.7 °C. Al respecto Bohórquez (2019), refiere que los microorganismos patógenas se destruyen rápidamente cuando las pilas de compost están sujetas a temperaturas de 55 °C durante 3 días. La ausencia de coliformes fecales en compost a base de residuos sólidos orgánicos municipales también ha reportado Juan de Dios (2019).

4.2.4.2. Salmonella sp

Debido a la ausencia de *Salmonella sp* en todos los tratamientos, no se pudo realizar el análisis de varianza respecto a este parámetro, quedando aceptada la categorización como compost de Clase B, según la NCh2880.

Tabla 37. Cantidad de *Salmonella sp* del compost obtenido de cada tratamiento.

Compost	<i>Salmonella sp</i> (NMP/4g)	Según NCh2880		Calidad de compost
		Clase A	Clase B	
T0	0,0			B
T1	0,0	< 3 NMP/4g de compost		B
T2	0,0			B
T3	0,0			B

No se encontró presencia de *Salmonella sp* en ninguno de los tratamientos evaluados, esto se debe principalmente a las altas temperatura alcanzadas durante la etapa de compostaje. Román et al. (2013) indicaron que la eliminación de *Salmonella sp* en compostaje requiere 55 °C durante 1 hora, o 65 °C durante 15-20 minutos. Vargas (2017), Juan de Dios (2019) y Garrido et al. (2023) también reportaron ausencia de *Salmonella sp* en compost de residuos sólidos orgánicos municipales.

4.3. Calidad del compost

La categorización de la calidad del compost obtenido de todos los tratamientos se aprecia en la tabla 38, donde se realizó el contraste de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos obtenidos con la NCh2880 y la NTP201.208, para determinar la calidad del compost final de cada uno de los tratamientos.

Tabla 38. Calidad de compost en base a sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Parámetros	Calidad según NCh2880		Compost							
	Clase A	Clase B	T0	T1	T2	T3				
Tamaño de partículas (%)	≤ 16 mm	≤ 16 mm	100,0	A	100,0	A	100,0	A	100,0	A
Contenido de humedad	30 - 45 %	30 - 45 %	20,83	I	32,83	A	32,0	A	28,67	I
Conductividad eléctrica	< 3 dS/m	≤ 8 dS/m	15,83	S	13,49	S	15,85	S	11,88	S
Materia orgánica	≥ 20 %	≥ 20 %	32,83	A	27,17	A	23,17	A	25,17	A
pH	5,0 - 8,5	5,0 - 8,5	8,75	S	8,64	S	8,84	S	8,71	S
Relación C/N	≤ 25:1	≤ 30:1	9,68	A	7,86	A	7,55	A	8,07	A
Nitrógeno total	≥ 0,5 %	≥ 0,5 %	1,70	A	1,74	A	1,55	A	1,57	A
Fósforo*	NTP201.208: 0,1-1%		0,16	-	0,38	-	0,71	-	0,46	-
Potasio*	NTP201208: 0,3-1%		0,99	-	1,06	-	1,13	-	1,05	-
Cobre (mg/kg)	120	1000	108,67	A	164,33	B	202,0	B	194,0	B
Zinc (mg/kg)	200	2000	111,0	A	127,67	A	110,33	A	114,0	A
Cadmio (mg/kg)	2	8	0,0	A	0,0	A	0,0	A	0,0	A
Plomo (mg/kg)	100	300	7,89	A	10,54	A	9,22	A	6,70	A
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g		0,0	A	0,0	A	0,0	A	0,0	A
<i>Salmonella sp</i>	< 3 NMP en 4 g		0,0	A	0,0	A	0,0	A	0,0	A
Calidad final por tratamiento			B		B		B		B	

I: Inferior al valor permisible; S: Superior al valor permisible; * parámetros contrastado según la Norma Técnica Peruana NTP201.208.

De acuerdo al análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del compost de los tratamientos, se categoriza la calidad del compost para todos los tratamientos como Clase B, en contraste con la norma NCh2880, debido a que la conductividad eléctrica y el pH excedieron los valores permisibles de 3 dS/m y 8.5 de pH, en todos los tratamientos;

además precisar que el contenido de humedad del T0 y el T3 se encontró por debajo de límite permisible. Asimismo el contenido Potasio excedió el límite máximo permisibles de la NTP201.208 en el T1, T2 y T3.

Por lo tanto, el compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la PVRSO del distrito de Pillco Marca, son de calidad intermedia (Clase B). Para el uso agrícola es necesario realizar medidas correctivas mezclando con otros elementos adecuados como los sulfatos o compuestos nitrogenados para reducir el pH (Aguirre et al., 2023); asimismo para disminuir la CE es necesario realizar un riego eficiente post-aplicación del compost, ya que el riego disminuye las sales solubles.

La calidad del compost obtenido, se contrasta con las investigaciones de Leiva y Tapia (2020) y Garrido et al. (2023) quienes también obtuvieron compost de Clase B a partir de residuos orgánicos domiciliarios y urbanos, respectivamente. Asimismo, Solórzano (2024) reportó compost de Clase B según la NCh2880, proveniente de residuos orgánicos domiciliarios con diferentes concentraciones de estiércol de cuy.

V. CONCLUSIONES

1. El 63,39% de la materia orgánica compostada, son restos de verduras y hortalizas, el 20,37% fueron restos de frutas, el 8,86% son restos de tubérculos y 4,03% restos de comida, siendo estos residuos predominantes los que formaron el material de partida de cada tratamiento.
2. Las características fisicoquímicas de granulometría, materia orgánica, relación C/N, N, Cu, Zn, Cd y Pb se encontraron dentro de los valores permisibles de la NCh2880, sin embargo se encontró valores altos de pH y CE, y niveles bajos de contenido humedad en el T0 y T3. Asimismo no se encontró presencia de patógenos (coliformes fecales y *salmonella sp*) en los compost evaluados. Los parámetros de humedad, CE, pH, materia orgánica, relación C/N, P, K, Cu y Pb presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, no obstante el contenido de N y Zn no presentaron diferencias estadísticamente significativas.
3. Los compost obtenidos de las diferentes mezclas de residuos orgánicos (T0, T1, T2 y T3) son de Clase B o calidad intermedia de acuerdo a lo contrastado con la NCh2880, a pesar de tener niveles adecuados de macronutrientes, bajo contenido en metales pesados (Cd, Cu Pb y Zn), y la ausencia de patógenos; los valores altos de pH y CE comprometen negativamente la calidad.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. La municipalidad y la población del distrito de Pillco Marca deben mejorar la segregación de los residuos sólidos orgánicos en la fuente, para disminuir impurezas (plásticos, metales y huesos), y optimizar la calidad del compost.
2. Analizar las características fisicoquímicas de los residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de cuy y oveja antes de iniciar el proceso de compostaje.
3. Realizar análisis de pesticidas en los residuos orgánicos domiciliarios.
4. Analizar los micronutrientes en los compost obtenidos.
5. Aplicar el compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos en la PVRSO del distrito de Pillco Marca, en el mantenimiento y creación de áreas verdes urbanas, forestación, reforestación y otros usos similares.
6. Realizar estudios de fitotoxicidad en las plantas aplicadas el compost, para contrastar sus efectos y la calidad.
7. Realizar estudios adicionales para reducir el pH, la conductividad eléctrica y el contenido de cobre, para obtener compost de clase A.

VII. REFERENCIAS

- Aguirre, J. (2023). *Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producido en la planta de valoración de la municipalidad provincial de Leoncio Prado* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/970b04c1-e8b0-4d3f-8cc4-ef440454c3c0>.
- Aguirre, J., Florida, N., Ríos, E. y Lévano, J. (2024). Producción y caracterización de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 27(1), 1-9. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2432>.
- Alarcón, P., Acosta, S., Correal, M., Piamonte, C., Rihm, J., Breukers, L., Durón, L., González, G., Hernández, C., Sagasti, C., y Rojas, A. (2023). Evaluación regional de flujo de materiales: residuos sólidos municipales para América Latina y el Caribe EVAL 2023. <https://doi.org/10.18235/0004841>.
- Ansorena, J., Batalla, E. y Merino, D. (2014). *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*. https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000304.pdf.
- Bailón, M. y Florida, N. (2021). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa, Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>.
- Barreros, E. (2017). *Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (Cavia porcellus), enriquecido* [Tesis para optar título profesional, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/75555d0d-9493-4e4c-8a3f-041d8ed22ac3>.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación; Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3ª ed.). Prentice Hall – PEARSON.
- Bohórquez, W. (2019). *El proceso de compostaje*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/c126956c-da9f-436e-85ed-581720265134>.
- Bonilla, C., Díaz, J., Girón, K., León, M., Ortiz, O. y Suarez, A. (2020). Dinámica de la descomposición de residuos orgánicos. *Suelos Ecuatoriales*, 50(2), 31-39. [https://doi.org/10.47864/SE\(50\)2020p31-39_123](https://doi.org/10.47864/SE(50)2020p31-39_123).

- Cancio, R. (2024). *Evaluación de la calidad de compost producido con diferentes proporciones de residuos vegetales de mercado y plantas acuáticas, Huacho 2022*. [Tesis de Maestría en Ecología y Gestión Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional UNJFSC. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8972>.
- Carrasco, T., Olivo, Z., Sánchez, J. y Mendoza, P. (2023). Evaluación del efecto antifúngico del sulfato de cobre (II) pentahidratado en *Moniliophthora roreri*. *Journal of Basic Sciences*, 9(25), 8-18. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9493701.pdf>.
- Castillo, L. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8245>.
- Cole, A., Roberts, D., Garside, A., Nys, R. y Paul, N. (2016). Seaweed compost for agricultural crop production. *Journal of Applied Phycology*, 28, 629-642. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0544-2>.
- Córdova, J., Vargas, B., Vargas, N. y Vega, P. (2022). Obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy. *Perfiles*, 28(1), 29-35. <https://doi.org/10.47187/perf.li28.181>.
- Delgado, M., Mendoza, K., Gonzales, M., Tadeo, J. y Martin, J. (2020). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Int. Contam. Ambiental*, 35(4), 965-977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>.
- Dueñas, J., Intriago, F. (2022). Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica*, 27, 26-35. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8393250.pdf>.
- Elera, S. y Olano, E. (2019). *Determinación de la Calidad del Compost con Aplicación de Microorganismos Eficientes en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos, la Pushura Provincia Jaén* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/152>.
- Fernández, C. (2023). Evaluación de la calidad del compost comunitario producido en proyecto piloto en la isla de Tenerife y plan de mejora. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/32691>.
- García, X. (2017). *Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje* [Tesis de

- maestría en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio la Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2823>.
- Garrido, L., Florida, N., Nazar, J. y Rengifo, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Producción + limpia*, 18 (1), 118-137. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>.
- Garzón, D. y Torres, G. (2024). Evaluación del proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos del Instituto Técnico Central y la Universidad de América, empleando un reactor de laboratorio (Proyecto Integral de Grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de América). <https://repository.uamerica.edu.co/items/b9c854d7-05d3-45c5-9160-7b3679d3308c>.
- Gracia, J. (2012). *Efectos de los compost sobre las propiedades del suelo: evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen* [Tesis de maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional UPC. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/3123>.
- Hang, S., Castán, E., Negro, G., Daghero, A., Buffa, E., Ringuelet, A., Satti, P. y Mazzarino, M. (2015). Compostaje de estiércol de feedlot con aserrín/viruta: características del proceso y del producto final. *Agriscientia*, 32 (1), 55-65. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2015000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). Mc Graw Hill Education.
- Huapaya, Y. (2024). Evaluación del compostaje a diferentes composiciones para aprovechar los residuos orgánicos domiciliarios de la ciudad de puno para contribuir en contrarrestar el cambio climático. *Journal of High Andean Research*, 26(1), 24-35. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.577>.
- Huayllani, K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/3823>.
- INACAL. (2021). *NTP201.208: Fertilizantes. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos*. Perú.

- INN. (2004). *NCh.2880: Compost - clasificación y requisitos*. https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf.
- Jara, M., Salazar, C., García, Y., Arteaga, Y., Rodríguez, Y. y Chafla, A. (2016). Parámetros físico-químicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(3), 252-263. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6067739>.
- Juan de Dios, M. (2019). *Calidad de compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos producidos en el caserío de Marona, Tingo María – región Huánuco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/b49b1839-996b-474e-b46f-bc326ee0f873>.
- La Cruz, H. (2019). *Calidad de compost de residuos sólidos orgánicos domiciliarios utilizando aserrín de Eucalyptus globulus Labill y restos de poda jardín Chilca – Huancayo* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5442>.
- Leiva, L. y Tapia, R. (2020). *Características fisicoquímicas del compost de calidad agrícola, producido a partir de residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de vacuno y/o de cuy, Bagua, Amazonas, 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional UNTRM. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2073>.
- Li, H., Wang, J., Zhao, B., Gao, M., Shi, W., Xie, Z., Zhou, B., Lu, C. y He, J. (2018). The role of major functional groups: Multi-evidence from the binding experiments of heavy metals on natural fulvic acids extracted from lake sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 162, 514-520. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.038>.
- López, R., Murillo, B., Benson, M., Lopez, E. y Valle, G. (2002). *Manual análisis químico de suelos*. Mexico.
- López, J., Latorre, M., Unger, P., Schneider, R., Coll, C., y Venus, J. (2019). Assessing the organic fraction of municipal solid wastes for the production of lactic acid. *Biochemical Engineering Journal*, 150, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.107251>.
- MDPM. (2019). *Diagnóstico Ambiental Local (DAL) del distrito de Pillco Marca*. Municipalidad distrital de Pillco Marca.

- MINAM. (23 de diciembre de 2016). Decreto Legislativo N° 1278; Decreto Legislativo que aprueba la ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*, 4(1466666), 607472-607488. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>.
- MINAM. (21 de diciembre de 2017). Aprueban el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278; Decreto Legislativo que aprueba la ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*, 10(1599663), 18-49. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-014-2017-minam/>.
- MINAM. (2018). Guía para elaborar la caracterización de Residuos Sólidos. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279521-guia-para-elaborar-la-caracterizacion-de-residuos-solidos>.
- MINAM. (2024). Compromiso 3: implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales. https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/MINAM_PPT.pdf.
- Miranda, R., Lascano, M., Caballero, A. y Bosque, H. (2014). Influencia de la dosis de estiércol ovino y bioinsumo en la mineralización del nitrógeno. *Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 1(1), 92-98. http://www.scielo.org.bo/pdf/riarn/v1n1/v1n1_a12.pdf.
- Munizaga, D. y Alcívar, U. (2023). Producción de compost a partir de desechos sólidos orgánicos domésticos mediante el uso de Microorganismos Eficientes. *Journal Scientific MQR Investigar*, 7(2), 3-21. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.3-21>.
- Núñez, W., Sotomayor, D., Ballardo, C. y Herrera, E. (2023). Potencial de la biomasa fúngica: producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 79-91. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.008>.
- Paredes, D. (2013). *Elaboración de compost a partir de estiércol de ovino con cuatro (04) tipos de rastrojos de cosecha agrícola en el fundo Miraflores de la UNSM-T - distrito Banda de Shilcayo* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM-T. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/08268b20-612e-441b-be4f-1481cf7632c9>.
- Ríos, E. (2022). *Calidad de compost a base de residuos sólidos urbanos en la provincia Leoncio Prado 2022*. [Tesis de maestría en Ciencias en Agroecología, Universidad Nacional

- Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/7edb63c1-65f6-4d62-991e-3c3e43cc9db0>.
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor; Experiencias en América Latina*. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>.
- Santiago, M. (2023). *Elaboración de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos municipales para mejorar las áreas verdes en la provincia de Oyon*. [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional UNJFSC. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8669>.
- SENAMHI. (2024). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- Sinche, A. (2022). Efecto del porcentaje de estiércol de cuy y estiércol de conejo en el proceso de compostaje de los residuos sólidos domiciliarios de la cabecera parroquial San Luis. (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17671/1/236T0648.pdf>.
- Solórzano, L. (2024). *Efecto del estiércol de cuy en la calidad del compost de residuos orgánicos domiciliarios del asentamiento humano Kahuachi, Pillco Marca, Huánuco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/bd35fcc3-9f49-4e75-8890-51693f5c4ae6>.
- Supo, J. (2014). *Seminarios de investigación científica*. Lima.
- Vargas, Y. (2017). *Calidad del compost producidos a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el centro de protección ambiental “Santa Cruz”, ciudad de Concepción* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4145>.
- Vidal, L., Gutiérrez, J., Saldaña, C., Palomino, E., Carrasco, C. y Torres, N. (2024). Producción de compost mediante la degradación de residuos sólidos orgánicos con microorganismos efectivos en Huánuco. *Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11(2), 37-46. <https://doi.org/10.53287/etxd3287pd78d>.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de la investigación

Tabla 39. Datos tomados de temperatura (°C) de las pilas durante el proceso de compostaje.

Evaluación	Tratamiento (pilas)	Repeticiones			Media
		R1	R2	R3	
1	T0	28,3	28,3	28,3	28,3
	T1	27,6	27,6	27,6	27,6
	T2	27,5	27,5	27,5	27,5
	T3	27,1	27,1	27,1	27,1
2	T0	42,4	43,9	44,6	43,6
	T1	45,1	44,2	46,5	45,3
	T2	41,2	42,7	40,1	41,3
	T3	45,4	48,8	42,5	45,6
3	T0	50,6	48,5	48,9	49,3
	T1	49,7	52,7	53,3	51,9
	T2	51,8	52,8	50,9	51,8
	T3	51,2	50,3	49,8	50,4
4	T0	55,3	54,7	52,3	54,1
	T1	58,3	57,5	57,6	57,8
	T2	54,7	56,0	56,1	55,6
	T3	52,3	54,9	52,9	53,4
5	T0	56,6	55,3	56,7	56,2
	T1	57,2	58,8	58,2	58,1
	T2	58,9	59,1	57,7	58,6
	T3	52,8	53,6	57,8	54,7
6	T0	59,2	60,4	58,2	59,3
	T1	62,7	60,8	61,3	61,3
	T2	61,5	59,9	61,2	60,9
	T3	61,1	59,2	62,7	61,0
7	T0	61,6	62,3	59,9	61,3
	T1	64,1	65,4	64,7	64,7
	T2	62,3	61,5	62,4	62,1
	T3	64,9	61,4	64,8	63,7
8	T0	58,9	58,7	59,8	59,1
	T1	60,3	58,6	59,8	59,6
	T2	59,8	59,5	58,2	59,2
	T3	60,8	60,2	61,4	60,8

Evaluación	Tratamiento	R1	R2	R3	Media
9	T0	56,5	52,6	55,3	54,8
	T1	56,9	57,0	57,1	57,0
	T2	53,2	58,8	55,6	55,9
	T3	58,6	56,7	56,9	57,4
10	T0	53,2	51,8	54,9	53,3
	T1	54,8	53,3	52,9	53,7
	T2	49,5	52,4	53,7	51,9
	T3	55,6	53,9	54,1	54,5
11	T0	49,5	50,4	49,2	49,7
	T1	48,2	47,1	46,5	47,3
	T2	45,7	46,6	47,8	46,7
	T3	49,9	50,6	51,1	50,5
12	T0	47,3	48,1	48,2	47,9
	T1	44,6	45,1	42,2	44,0
	T2	42,2	41,3	43,5	42,3
	T3	45,6	47,9	46,2	46,6
13	T0	45,2	46,0	47,5	46,2
	T1	42,3	41,2	44,3	42,6
	T2	40,5	39,6	40,2	40,1
	T3	43,7	45,7	44,8	44,7
14	T0	41,4	44,7	42,2	42,8
	T1	39,6	39,1	42,4	40,4
	T2	37,5	36,2	38,7	37,5
	T3	36,0	40,9	38,1	38,3
15	T0	34,6	34,2	36,5	35,1
	T1	35,1	37,8	38,7	37,2
	T2	33,6	35,3	35,9	34,9
	T3	36,4	34,5	38,2	36,4
16	T0	30,9	32,1	32,2	31,7
	T1	32,6	35,2	35,4	34,4
	T2	31,8	31,9	31,6	31,8
	T3	32,5	31,9	34,1	32,8
17	T0	29,3	30,3	30,2	29,9
	T1	30,1	32,1	31,3	31,2
	T2	28,3	30,7	28,9	29,3
	T3	29,8	31,3	32,9	31,3

Evaluación	Tratamiento	R1	R2	R3	Media
18	T0	30,2	28,4	29,1	29,2
	T1	29,9	30,5	30,9	30,4
	T2	30,2	28,8	30,6	29,9
	T3	30,7	30,4	33,5	31,5
19	T0	28,1	30,8	29,5	29,5
	T1	31,3	29,4	31,2	30,6
	T2	28,5	28,2	30,3	29,0
	T3	28,6	29,8	27,4	28,6
20	T0	29,7	28,1	28,8	28,9
	T1	28,8	29,2	30,7	29,6
	T2	29,4	29,3	29,1	29,3
	T3	29,4	30,6	30,2	30,1
21	T0	29,2	29,1	30,5	29,6
	T1	29,1	31,8	30,2	30,4
	T2	28,6	30,2	29,2	29,3
	T3	30,7	30,3	30,8	30,6
22	T0	30,6	29,9	28,5	29,7
	T1	30,2	31,3	30,8	30,8
	T2	29,5	30,4	29,4	29,8
	T3	29,4	29,6	30,7	29,9
23	T0	29,7	30,1	28,4	29,4
	T1	29,3	30,9	29,5	29,9
	T2	28,8	30,6	30,2	29,9
	T3	29,5	30,2	29,3	29,7
24	T0	28,5	28,2	28,7	28,5
	T1	28,2	29,4	29,1	28,9
	T2	28,1	27,5	28,7	28,1
	T3	27,8	28,8	29,1	28,6
25	T0	27,6	27,3	27,1	27,3
	T1	27,6	28,9	29,4	28,6
	T2	27,8	28,3	27,9	28,0
	T3	28,3	28,1	28,7	28,4
26	T0	28,0	26,1	27,4	27,2
	T1	28,3	27,6	29,5	28,5
	T2	27,3	27,6	27,2	27,4
	T3	28,5	28,2	29,3	28,7

Evaluación	Tratamiento	R1	R2	R3	Media
27	T0	27,5	26,5	27,4	27,1
	T1	28,2	27,9	28,3	28,1
	T2	26,5	25,8	26,7	26,3
	T3	27,8	28,3	29,0	28,4
28	T0	26,6	26,3	26,1	26,3
	T1	27,9	26,4	27,2	27,2
	T2	26,2	26,3	27,3	26,6
	T3	27,7	28,3	28,5	28,2
29	T0	25,8	26,1	25,1	25,7
	T1	26,2	25,7	26,4	26,1
	T2	25,5	26,9	25,3	25,9
	T3	26,2	27,1	26,8	26,7
30	T0	26,9	26,5	25,8	26,4
	T1	26,8	25,9	26,8	26,5
	T2	26,2	26,9	26,1	26,4
	T3	27,1	26,7	26,2	26,7
31	T0	25,2	25,7	25,1	25,3
	T1	25,9	25,6	25,8	25,8
	T2	26,1	25	26	25,7
	T3	25,5	26,2	26,1	25,9
32	T0	25,3	25,1	25,4	25,3
	T1	26,2	25,3	25,8	25,8
	T2	24,9	25,2	25,9	25,3
	T3	25,8	26,7	25,5	26,0
33	T0	25,4	26,4	25,6	25,8
	T1	25,1	25,5	25,9	25,5
	T2	25,2	26,2	25,7	25,7
	T3	26,3	25,4	26,1	25,9

Tabla 40. Datos tomados de pH de las pilas durante el proceso de compostaje.

Evaluación	Tratamiento	Repeticiones			Media
		R1	R2	R3	
1	T0	5,74	5,74	5,74	5,74
	T1	6,17	6,17	6,17	6,17
	T2	5,85	5,85	5,85	5,85
	T3	6,02	6,02	6,02	6,02
2	T0	5,35	5,09	5,06	5,17
	T1	4,69	4,92	4,58	4,73
	T2	4,96	5,05	5,14	5,05
	T3	5,02	4,91	4,88	4,94
3	T0	7,84	7,58	7,17	7,53
	T1	8,78	8,01	8,22	8,34
	T2	7,89	8,05	7,88	7,94
	T3	8,06	8,11	8,17	8,11
4	T0	9,03	8,95	8,94	8,97
	T1	9,21	9,56	9,37	9,38
	T2	9,20	9,38	9,35	9,31
	T3	8,84	8,94	9,02	8,93
5	T0	9,14	9,12	9,39	9,22
	T1	9,53	9,45	9,42	9,47
	T2	9,54	9,69	9,49	9,57
	T3	9,25	9,35	9,41	9,34
6	T0	9,42	9,48	9,59	9,50
	T1	9,61	9,82	9,76	9,73
	T2	9,86	9,71	9,74	9,77
	T3	9,69	9,57	9,58	9,61
7	T0	9,09	9,24	9,14	9,16
	T1	9,25	9,32	9,28	9,28
	T2	9,34	9,31	9,45	9,37
	T3	9,12	9,25	9,46	9,28
8	T0	8,89	8,70	8,78	8,79
	T1	8,99	9,04	8,86	8,96
	T2	9,02	8,91	8,82	8,92
	T3	8,84	8,94	8,87	8,88

Evaluación	Tratamiento	R1	R2	R3	Media
9	T0	8,68	8,73	8,51	8,64
	T1	9,02	8,55	8,74	8,77
	T2	8,85	8,79	8,74	8,79
	T3	8,66	8,62	8,59	8,62
10	T0	8,60	8,52	8,49	8,54
	T1	8,74	8,48	8,72	8,65
	T2	8,73	8,65	8,68	8,69
	T3	8,65	8,42	8,65	8,57
11	T0	8,46	8,61	8,45	8,51
	T1	8,61	8,70	8,56	8,62
	T2	8,62	8,64	8,69	8,65
	T3	8,63	8,45	8,53	8,54

Anexo 2. Medios probatorios de la investigación

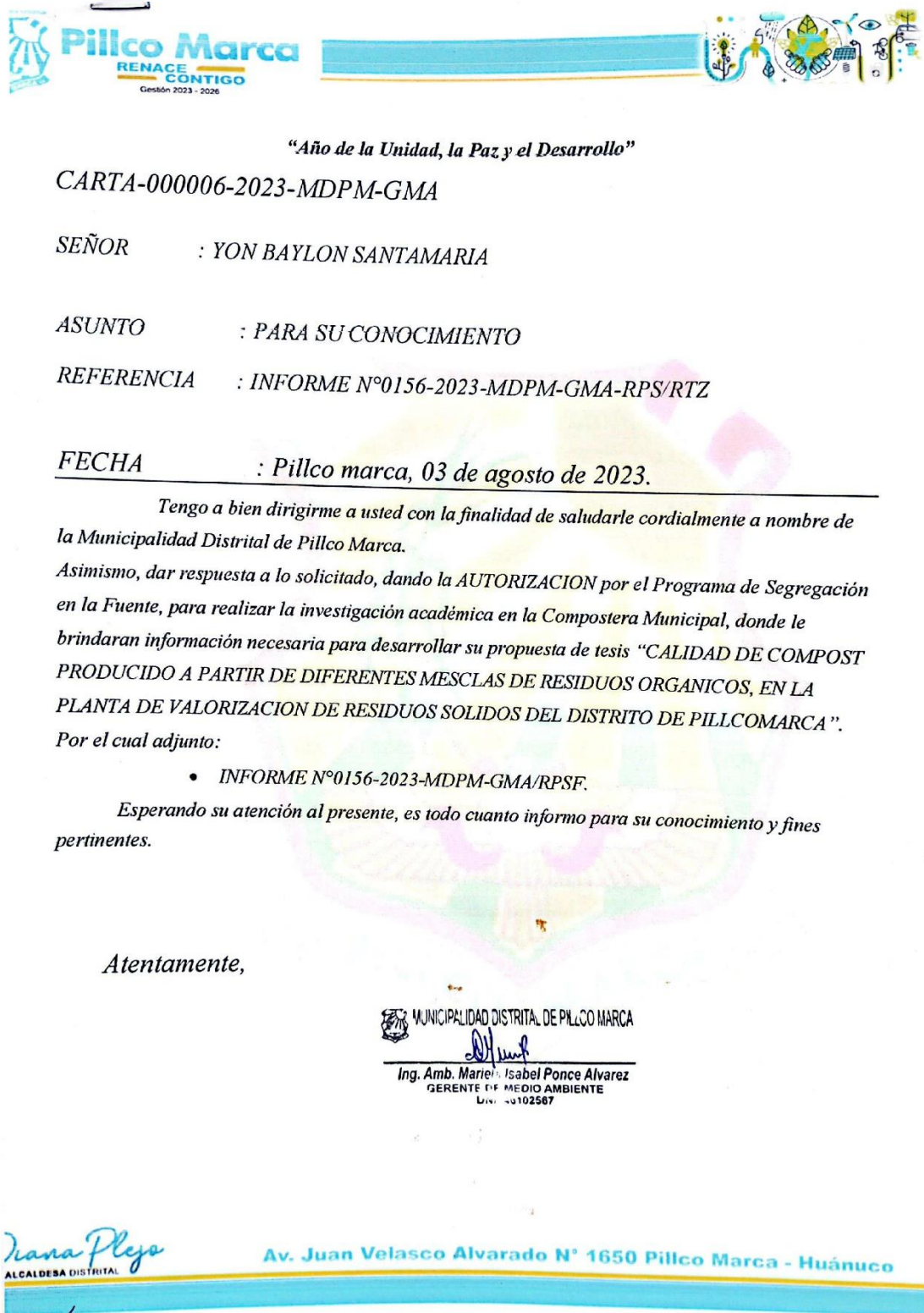


Figura 21. Permiso para el uso de la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TINGO MARÍA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES
DIRECCIÓN



Carretera Central KM 1.21 correo electrónico: jose.guerra@unas.edu.pe

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

Tingo María, 19 de junio de 2024

CARTA N° 030-2024-JKGL-DACAM-FRNR-UNAS

Señor

YON BAYLON SANTAMARIA

Tesista de la especialidad de ingeniería ambiental de la UNAS

Presente. -

ASUNTO : VISITA DE VERIFICACIÓN DE DESARROLLO DE TESIS PROFESIONAL

Por medio de la presente, saludarle y a la vez, indicarle la conformidad del desarrollo de culminación de sus tesis profesional titulado: CALIDAD DE COMPOST PRODUCIDO DE DIFERENTES MEZCLAS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE PILLCO MARCA - HUÁNUCO.

Sin mas que mencionar, me despido de usted.

Atentamente;

Dr. JOSE RALIÓN GUERRA LU
Presidente de Tesis

Figura 22. Conformidad de visita de la supervisión del desarrollo de la investigación.



1. DATOS

SOLICITANTE:	BAYLON SANTAMARIA YON	MUESTREO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	12/03/2024
PROVINCIA:	HUANUCO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	12/03/2024
DISTRITO:	PILLOCO MARCA	FECHA DE REPORTE:	25/03/24
SECTOR:	---	RECIBO O FACTURA:	38847
MUESTRA:	COMPOST	OBSERVACION:	---

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA										RESULTADOS EN BASE SECA									
Código	Dato	PH	CE (dS/m)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	C (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Cd ppm	Pb ppm			
E0410-1	COMPOST	8.83	17.3	21.00	79.00	31.50	47.50	15.7500	1.5680	10.0446	0.359	0.990	97	1003	123	274	VND	8.215			
E0410-2	COMPOST	8.70	14.07	21.50	78.50	33.00	45.50	16.5000	1.7920	9.2076	0.382	0.985	122	1029	118	363	VND	8.110			
E0410-3	COMPOST	8.71	16.12	20.00	80.00	34.00	46.00	17.0000	1.7360	9.7926	0.384	0.984	114	1003	85	341	VND	7.358			
E0410-4	COMPOST	8.70	14.41	28.50	71.50	27.50	44.00	13.7500	1.6800	8.1845	0.805	1.067	155	1124	159	395	VND	10.235			
E0410-5	COMPOST	8.64	12.82	32.50	67.50	28.50	39.00	14.2500	1.9600	7.2704	0.927	1.081	122	1233	161	383	VND	11.356			
E0410-6	COMPOST	8.57	13.24	37.50	62.50	25.50	37.00	12.7500	1.5680	8.1314	0.878	1.021	106	1303	173	388	VND	10.014			
E0410-7	COMPOST	8.88	16.62	32.50	67.50	24.50	43.00	12.2500	1.4000	8.7500	1.764	1.140	117	1228	188	487	VND	9.564			
E0410-8	COMPOST	8.82	16.06	33.00	67.00	21.00	46.00	10.5000	1.6800	6.2500	1.619	1.138	110	1052	240	420	VND	9.210			
E0410-9	COMPOST	8.82	14.86	30.50	69.50	24.00	45.50	12.0000	1.5680	7.6531	1.492	1.100	104	1004	178	445	VND	8.897			
E0410-10	COMPOST	8.74	12.08	25.50	74.50	26.50	48.00	13.2500	1.7920	7.3940	1.007	1.044	113	1028	184	399	VND	6.325			
E0410-11	COMPOST	8.71	12.16	28.00	72.00	23.50	48.50	11.7500	1.4560	8.0701	1.131	1.029	103	1011	215	417	VND	7.589			
E0410-12	COMPOST	8.69	11.41	32.50	67.50	25.50	42.00	12.7500	1.4560	8.7569	1.006	1.069	126	1051	183	427	VND	6.187			

VND: Valor No Detectado - Menor al Limite de Detección 0.02 ppm.

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 LASAE. 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 María



[Signature]

Dr. HUGO HUGO HUAMAN YUPANQUI

Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central Km 121 - Tingo María

analisisdesuelos.usna@hotmail.com

CELULAR 944407531

Figura 23. Resultados del análisis fisicoquímico del compost obtenido de los tratamientos.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 9 : Compost T0 R1
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



César S. López López
Dr. Mchlgo. Btonlgo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General

Figura 24. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₀R₁.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 11 : Compost T0 R2
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.




 Dr. Mchlgo. Btchnlgo. César S. López López
 Laboratorio Microbiología General

Figura 25. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₀R₂.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 10 : Compost T0 R3
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



C. S. López López
 Dr. Mchlg. Btchnlg. César S. López López
 Laboratorio Microbiología General

Figura 26. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₀R₃.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 1 : Compost T1 R1
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:
 - Coliformes fecales
 - Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.




Dr. Mcdlgo. Btcrnigo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General

Figura 27. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₁R₁.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 8 : Compost T1 R₂
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



César S. López López
Dr. Mcblgo. Btchnlgo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General

Figura 28. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₁R₂.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 6 : Compost T1 R3
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



César S. López López
Dr. Mchgo. Btcnlgo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General

Figura 29. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₁R₃.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 12 : Compost T2 R1
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.




Dr. Mchgo. Benigno César S. López López
Laboratorio Microbiología General

Figura 30. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₂R₁.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 7 : Compost T2 R2
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



César S. López-López
Dr. Mchgo. Btenlgo. César S. López-López
Laboratorio Microbiología General

Figura 31. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₂R₂.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 4 : Compost T2 R3
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



César S. López López
Dr. Mcdlgo. Btchlgo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General

Figura 32. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₂R₃.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 2 : Compost T3 R1
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:
 - Coliformes fecales
 - Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



[Handwritten Signature]
Dr. Mcdlgo. Btenlgo. César S. López López
 Laboratorio Microbiología General

Figura 33. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₃R₁.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 3 : Compost T3 R2
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



[Handwritten Signature]
Dr. Mcblgo. Bcnlgo. César S. López López
 Laboratorio Microbiología General

Figura 34. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₃R₂.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 00038550

Muestra 5 : Compost T3 R3
Procedencia : Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pillco Marca - Huánuco
Atención a : Bach. Baylon Santamaria Yon
Fecha recepción : 07 de Marzo del 2024
Análisis solicitados:

- Coliformes fecales
- Patógeno: Salmonella

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Coliformes fecales	Ausencia	Ausencia
- Salmonella	Ausencia/25gr	Ausencia/25gr

CONCLUSIONES:

La muestra analizada no presenta microorganismos patógenos

Tingo María, 03 de Mayo de 2024.



César S. López López
 Dr. M. Biol. Benigno César S. López López
 Laboratorio Microbiología General

Figura 35. Resultado del análisis microbiológico del compost obtenido del T₃R₃.

Anexo 3. Panel fotográfico



Figura 36. Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad distrital de Pillco Marca



Figura 37. Acondicionamiento de la base para la formación de las pilas.



Figura 38. Caracterización de residuos sólidos orgánicos.



Figura 39. Picado de los residuos sólidos orgánicos de tamaño grande.



Figura 40. Formación de pilas para el proceso de compostaje de cada tratamiento.



Figura 41. Aplicación de EM en la formación de las pilas.



Figura 42. Volteo periódico de las pilas de compostaje de cada tratamiento.



Figura 43. Medición de la temperatura durante el proceso de compostaje.



Figura 44. Medición del pH durante el proceso de compostaje.



Figura 45. Fase de maduración de las pilas de compostaje.



Figura 46. Toma de muestras de las pilas de cada tratamiento.



Figura 47. Rotulación de las muestras para su análisis fisicoquímico y microbiológico.



Figura 48. Supervisión de la investigación del presidente del jurado de tesis.