

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**



**USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA PRODUCCIÓN DE  
COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE RUPA**

**RUPA**

**Tesis**

**Para optar el Grado Académico de**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ALBERT IVAN DIONISIO ARMAS**

**Asesor**

**Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE**

**Tingo María – Perú**

**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**  
**Nro. 005-2025-UPG-FRNR-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 05:00 p.m. del lunes 21 de abril del 2025, reunidos de manera presencial en la Sala de sesiones del auditorio de FIIS 1, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE RUPA RUPA”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **DIONISIO ARMAS, ALBERT IVAN.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **06:40 p.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO  
Presidente del Jurado

Dr. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE  
Miembro del Jurado



ING. M.Sc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA  
Miembro del Jurado

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE  
Asesor



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 287 - 2025 - CS-RIDUNAS

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

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

### Programa de Estudio:

Maestría en Ciencias en Agroecología Mención: Gestión Ambiental

### Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE RUPA RUPA	DIONISIO ARMAS, ALBERT IVAN	10 % Diez	Menor a 20 %

Tingo María, 01 de setiembre de 2025.

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

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**  
**MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL**



**USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA PRODUCCIÓN DE  
COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO DE RUPA**  
**RUPA**

Ejecutor	:	Dionisio Armas, Albert Ivan
Asesor	:	Dr. Casiano Aguirre Escalante
Programa de Investigación	:	Gestión Ambiental
Línea de Investigación	:	Sistemas de Gestión
Eje temático de Investigación	:	Gestión de residuos sólidos
Lugar de Ejecución	:	Ciudad de Tingo María
Duración del Trabajo	:	6 meses
Financiamiento	:	S/. 1822.50
FEDU	:	-
Propio	:	S/. 1822.50
Otros	:	-

**Tingo María – Perú**

**2025**

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño y gratitud, dedico esta tesis a mis padres, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido mi inspiración constante. A mis profesores y compañeros, por su guía y colaboración en este camino de aprendizaje. Y a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este sueño. Gracias por creer en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento de corazón a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis. A mis padres, por todo el amor brindado hacia mi persona, el apoyo incondicional y por ser mi fuente constante de motivación. A mis profesores, por su guía y sabiduría, en especial a mi asesor por su paciencia y valiosas recomendaciones. A mis amigos y compañeros, por su compañerismo y por estar siempre dispuestos a ayudar. A todos, gracias por ser parte fundamental de este logro.

## 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. Internacionales .....	3
2.1.2. Nacionales.....	4
2.1.3. Locales .....	5
2.2. Marco teórico.....	6
2.2.1. Microorganismos .....	6
2.2.2. El compost .....	9
2.2.3. Residuos sólidos .....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1. Ubicación de la zona de estudio .....	23
3.1.1. Ubicación Política.....	23
3.1.2. Ubicación Geográfica .....	23
3.1.3. Características ambientales.....	23
3.2. Material y métodos .....	23
3.2.1. Materiales y equipos .....	23
3.2.2. Metodología.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
4.1. Determinación del tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes .....	27
4.2. Determinación de la temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes .....	30

4.2.1. Temperatura en proceso de compostaje.....	30
4.2.2. Potencial de hidrogeniones en proceso de compostaje.....	34
4.3. Evaluación de la calidad del compost de residuos orgánicos con microorganismos eficientes .....	38
4.3.1. Caracterización físico y químico de abono orgánico - compost.....	38
4.3.2. Calidad del abono orgánico – compost en base al nivel de pH .....	45
4.3.3. Calidad del abono orgánico – compost en base a la materia orgánica.....	47
4.3.4. Calidad del abono orgánico – compost en base a la conductividad eléctrica .....	49
4.3.5. Calidad del abono orgánico – compost en base al zinc .....	51
4.3.6. Calidad del abono orgánico – compost en base al cobre .....	53
4.3.7. Calidad del abono orgánico – compost en base a la relación carbono/nitrógeno .....	55
V. CONCLUSIONES .....	57
VII. REFERENCIAS .....	60
ANEXOS .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura. ....	13
2. Parámetros de temperatura óptimos. ....	13
3. Parámetros de humedad óptimos.....	15
4. Control del tamaño de partícula. ....	15
5. Variación del pH en las etapas del compostaje. ....	16
6. Relación C/N de los materiales usados en el compostaje. ....	17
7. Rangos de relación C/N durante el compostaje.....	18
8. Contenido de P y K en el compost. ....	19
9. Resumen de los factores que condicionan la calidad del compost.....	19
10. Granulometría de compostaje de residuos orgánicos. ....	27
11. Fluctuación de la temperatura en la elaboración de compost usando residuos orgánicos. ....	31
12. Análisis de varianza para el factor temperatura durante el proceso de compostaje.....	33
13. Prueba Tukey para la temperatura a los tres días de compostaje. ....	34
14. Fluctuación del pH en la elaboración de compost usando residuos orgánicos. ....	35
15. Análisis de varianza del pH durante el proceso de compostaje. ....	37
16. Resultados del análisis físico y químico del abono orgánico – compost. ....	45
17. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al pH.....	46
18. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la materia orgánica. ....	48
19. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la conductividad eléctrica.....	50
20. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al zinc.....	52
21. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al cobre.....	54
22. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la relación carbono/nitrógeno.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del distrito de Rupa Rupa. ....	23
2. Granulometría del compost.....	28
3. Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost usando residuos orgánicos. ....	32
4. Comportamiento del pH en la elaboración de compost usando residuos orgánicos domésticos.....	36
5. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al pH. ....	46
6. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la materia orgánica. ....	49
7. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la conductividad eléctrica. ....	51
8. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al zinc. ....	53
9. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al cobre. ....	54
10. Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la relación carbono/nitrógeno. ....	56
11. Recolección de los residuos orgánicos. ....	67
12. Elaboración y acondicionamiento de las estructuras para el compost.....	67
13. Tamizado del compost en el laboratorio.....	68
14. Embolsamiento del compost tamizado. ....	68
15. Análisis especial abono orgánico – compost a un tiempo de un mes.....	69
16. Análisis especial abono orgánico – compost a un tiempo de dos meses. ....	70
17. Análisis especial abono orgánico – compost a un tiempo de tres meses. ....	71

## RESUMEN

El empleo de microorganismos eficaces (EM) en el proceso de compostaje resultó en una granulometría más fina del compost, con un mayor porcentaje de material pasando por el tamiz: 80,37% en T<sub>1</sub>, 73,49% en T<sub>2</sub> y 59,23% en T<sub>3</sub>, lo que indica una descomposición más efectiva y homogénea de los residuos orgánicos. Las temperaturas iniciales más altas en los tratamientos con EM (45,00°C en T<sub>1</sub>, 46,67°C en T<sub>2</sub> y 47,33°C en T<sub>3</sub>) sugieren una mayor actividad microbiana y una fase termofílica más pronunciada, favorable para la degradación del material orgánico. Sin embargo, estas temperaturas se estabilizaron rápidamente, lo que indica una eficiencia en la transición a la etapa de maduración del compost. El compost mostró un incremento gradual en el pH, alcanzando niveles finales óptimos para compost maduro: 8,61 en T<sub>1</sub>, 8,67 en T<sub>2</sub> y 8,65 en T<sub>3</sub>. Esto sugiere que los EM ayudaron a neutralizar la acidez inicial, favoreciendo una adecuada maduración. El compost final obtenido en los tratamientos con EM (33,29% en T<sub>1</sub>, 36,83% en T<sub>2</sub> y 35,84% en T<sub>3</sub>) cumplió con los estándares de calidad definidos por normas internacionales como las de la FAO, sobresaliendo en la concentración de nitrógeno, materia orgánica, potasio y fósforo. En resumen, la aplicación de EM consigue un compostaje más rápido y un abono final con una mayor calidad.

**Palabra claves:** Microorganismos eficientes (EM), compostaje, granulometría y calidad del compost.

## ABSTRACT

The use of effective microorganisms (EM) in the composting process resulted in finer compost granulometry, with a higher percentage of material passing through the sieve: 80.37% in T<sub>1</sub>, 73.49% in T<sub>2</sub>, and 59.23% in T<sub>3</sub>, indicating a more effective and homogeneous decomposition of organic waste. The higher initial temperatures in the EM treatments (45.00°C in T<sub>1</sub>, 46.67°C in T<sub>2</sub>, and 47.33°C in T<sub>3</sub>) suggest greater microbial activity and a more pronounced thermophilic phase, favorable for the degradation of organic material. However, these temperatures quickly stabilized, indicating an efficient transition to the compost maturation stage. The compost showed a gradual increase in pH, reaching optimal final levels for mature compost: 8.61 in T<sub>1</sub>, 8.67 in T<sub>2</sub>, and 8.65 in T<sub>3</sub>. This suggests that EM helped neutralize the initial acidity, promoting proper maturation. The final compost obtained from the EM treatments (33.29% in T<sub>1</sub>, 36.83% in T<sub>2</sub>, and 35.84% in T<sub>3</sub>) met the quality standards defined by international regulations such as those of the FAO, excelling in the concentration of nitrogen, organic matter, potassium, and phosphorus. In short, the application of EM results in faster composting and a higher-quality final compost.

**Keywords:** Efficient microorganisms (EM), composting, granulometry and compost quality.

## I. INTRODUCCIÓN

Los restos compactos generados por las actividades humanas impactan negativamente en el medio ambiente, principalmente debido a su manejo deficiente. Este problema está estrechamente vinculado con el crecimiento demográfico, la industrialización y los patrones de consumo insostenibles. Actualmente, en las zonas urbanas se produce volúmenes grandes de desechos orgánicos, los cuales se componen principalmente de restos de comida, plásticos y desechos peligrosos. Estos últimos, como los residuos industriales y hospitalarios, suponen un riesgo significativo para la salud si no se administran de manera adecuada. Algunos de los problemas más destacados que resultan de esta situación incluyen el aumento de vectores de enfermedades, la contaminación estética y el daño al paisaje.

Frente a esta situación, los gobiernos locales tienen la responsabilidad de implementar proyectos integrales para la gestión de los residuos sólidos. Esto incluye la inclusión y mejora constante de programas educativos para fomentar el reciclaje, reutilización y reducción de estos residuos, abarcando desde la segregación en su origen (orgánicos, reciclables e inservibles) hasta la conversión de estos residuos en materiales valiosos como alimento para animales, vermicompost, biocombustibles y compost. Entre las estrategias con mayor eficiencia para utilizar los residuos orgánicos es el compostaje, que desde una perspectiva ambiental disminuye el peso de los residuos, así como su volumen y peligrosidad estos residuos, permitiendo además el reciclaje del contenido en estos residuos.

La técnica del compostaje ha sido objeto de extensas investigaciones y se aplica frecuentemente en la agricultura ecológica, dado que permite el reciclaje de los desechos orgánicos producidos en los hogares, actividades agropecuarias y agroindustriales, reduciendo así la contaminación ambiental. De manera similar, el uso de ME se ha vuelto en una solución biotecnológica para que la descomposición de estos residuos sea más rápida.

Este estudio plantea el siguiente problema de investigación: ¿Cómo afecta el uso de microorganismos eficientes en la producción de compost de residuos sólidos orgánicos del distrito de Rupa Rupa?

La hipótesis formulada es que el uso de microorganismos eficientes mejora significativamente la producción de compost en esta localidad.

Esta indagación tiene como objetivo proporcionar datos sobre la evaluación del método de compostaje de desechos orgánicos utilizando microorganismos eficientes, dada la escasez de información sobre las mejores fuentes de fertilizante orgánico y la calidad

requerida para optimizar el crecimiento de las plantas. Los resultados logrados serán utilizados por los habitantes del distrito de Rupa Rupa para tratar la problemática de contaminación dada por los desechos sólidos y para incorporar en sus cultivos este abono orgánico, lo cual beneficia al suelo mejorando en este su calidad.

### **1.1. Objetivo general**

- Determinar el uso de microorganismos eficientes en la producción de compost de residuos sólidos orgánicos del distrito de Rupa Rupa.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes.
- Determinar la temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes.
- Evaluar la calidad del compost de residuos orgánicos con microorganismos eficientes.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacionales

Según Munizaga (2023) en su trabajo de investigación utilizó microorganismos eficientes en el compostaje de desechos domésticos orgánicos. Se probaron tres tratamientos con distintos porcentajes de EM (0.25%, 0.5% y 1%). Al realizar las evaluaciones químicas para poder identificar la concentración de metales pesados, macronutrientes, conductividad eléctrica, pH y la reducción de volumen. Los resultados revelaron que los residuos alimenticios tenían el mayor volumen inicial, pero los tratamientos T1 y T2 lograron reducir este volumen hasta un 20%. Los niveles de metales pesados como plomo (Pb), níquel (Ni), cobre (Cu) y cadmio (Cd) se mantuvieron dentro de los rangos aceptables para su uso como abonos orgánicos. Se evidenció una disminución mayor en los tratamientos con 0.5% y 1% de EM. Además, todos los tratamientos registraron una baja en la conductividad eléctrica y el pH. La toxicidad aguda detectada fue nula en los abonos que fueron utilizados para *Eisenia Foetida*, sin embargo el abono puro (100%) impidió la germinación de *Lactuca sativa*. En resumen, el compostaje fue más efectivo y menos tóxico con una concentración de 0.5% de EM.

Zhou et al. (2020) diseñó un dispositivo innovador para compostar desechos alimentarios en el hogar, utilizando un agente microbiano termofílico compuesto por cuatro microorganismos de desechos locales y madera podrida. En cuatro días de compostaje, el dispositivo logró que la cantidad presente de carbono orgánico diluido en agua en NTK (nitrógeno orgánico total). (WSOC/TON) en el compost maduro fuera inferior a 0.55. Además, el índice de germinación (IG) alcanzó el 89.7%, obteniendo un valor de 5.57 en el pH y de 1984  $\mu\text{S cm}^{-1}$  en conductividad eléctrica (CE). El compost resultante cumplió con los estándares de calidad del suelo y fue apto para su uso como suelo de siembra. La evaluación tecnoeconómica mostró que este modelo de compostaje doméstico ahorra costos en transporte, mano de obra y clasificación en comparación con sistemas centralizados. El costo total del dispositivo fue de 0.033 dólares por kilogramo de desechos, y el beneficio neto del abono maduro fue de 89.06 dólares anuales.

En la finca "Los Recuerdos" en San Luis de Palenque, Pérez (2020) analizó el impacto de los microorganismos beneficiosos (Bio-Heral) en la producción de abono a partir de residuos orgánicos. Se empleó un tratamiento control sin microorganismos y

tres tratamientos con microorganismos efectivos al 20%, 15% y 10% en 100 ml de agua. Se encontró que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas; en comparación con el tratamiento sin EM, los valores físicos y químicos fueron similares. Los tratamientos presentaron rangos de pH entre 8.1 y 8.7, materia orgánica entre 12.90% y 17.40%, relación C/N entre 11.51 y 11.60, nitrógeno entre 0.65% y 0.87%, fósforo entre 257.3 ppm y 289.9 ppm, potasio entre 14.76 meg/100 g y 21.94 meg/100 g, magnesio entre 6.60 meg/100 g y 13.20 meg/100 g, calcio entre 13.20 meg/100 g y 16.40 meg/100 g, azufre entre 195.63 ppm y 322.56 ppm, hierro entre 112.50 ppm y 152.50 ppm, boro entre 1.27 ppm y 4.29 ppm, cobre entre 1.20 ppm y 5.20 ppm, manganeso entre 383.75 ppm y 481.25 ppm, y zinc entre 28.75 ppm y 78.75 ppm.

### **2.1.2. Nacionales**

El impacto de los EM en el compostaje de desechos orgánicos en Cacatachi fue estudiado por Melendrez y Sánchez (2019). Evaluaron con tres repeticiones en los cuatro tratamientos (0, 0.25, 0.5 y 1 L de EM por cada 10 L de solución acuosa) mediante un diseño experimental totalmente al azar. Durante 45 días, cada dos días se observaron variables como la relación C/N, la materia orgánica, la temperatura, el pH y la humedad. Se realizaron correcciones según un manual de compostaje. La relación C/N en un principio era de 31.25. Los análisis revelaron que, excepto la relación C/N, el resto de parámetros no cumplían con normas referenciales como la chilena con respecto a calidad de compost. Los tratamientos T2 y T3 fueron los más eficaces, destacando el T2 con una concentración de 0.5 L de EM por cada 10 litros de agua. Se determinó que el tratamiento T2 es la mejor opción como abono orgánico como abono orgánico.

Ludeña (2019) en su investigación evaluó la acción de los microorganismos eficaces sobre la descomposición de restos orgánicos y excremento de ganado vacuno en José Gálvez, Celendín. Utilizando un diseño de bloques completamente aleatorio para evaluar cuatro tratamientos con distintas cantidades de microorganismos eficaces, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se obtuvieron resultados que evidenciaron que los ME disminuyeron significativamente el período requerido para producir compost: Tiempo de 80 días en el T2, tiempo de 70 días en el T3, y tiempo de 60 días en el T4, teniendo como contraste los 135 días del tratamiento de control (T1). Estos resultados evidencian un impacto positivo y notable en la descomposición de materia orgánica y estiércol. El coeficiente de variación (C.V.) de 8.20 indicó una alta consistencia en los resultados, lo que refuerza la confiabilidad del estudio.

Según Poccori. R (2022) en su investigación de tipo experimental utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados para evaluar cómo los microorganismos eficaces, mejorados con roca fosfórica, influyen en las características físicas, químicas y biológicas del compost generado a partir de desechos orgánicos municipales en Chuquibambilla – Grau. Se implementaron tres tratamientos y un control. En el presente estudio se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza, que confirmaron que los datos pertenecen a una población normal. La prueba de hipótesis se realizó utilizando ANOVA, con un nivel de significancia por debajo de 0.05, seguida de una comparación de medias múltiples con la prueba de Tukey, con una confiabilidad del 95%.

Los resultados evidenciaron una correlación significativa positiva en los tratamientos evaluados. El tratamiento control T4 (testigo) se compone de tres unidades de EM y 10 kilogramos de RF. El segundo tratamiento T2 (2 Litros Microorg. Eficientes + 10 Kg de RF) reveló maximizar la calidad de los parámetros biológicos y físicoquímicos del compost., clasificándose en la categoría B de acuerdo con la norma técnica chilena así como colombiana. La excelencia de estos parámetros califica el compost como adecuado para su utilización en la agricultura y la abonación de diversos cultivos.

Castillo (2020) realizó un estudio para determinar la calidad del compost producido con una mezcla de estiércol bovino, ovino, desechos de mercado y residuos agrícolas, aplicando tres dosis de EM al 5% en Huayucachi, Huancayo. El compost obtenido cumplió con los parámetros establecidos por la FAO. La humedad varió entre 31.63 - 50.50%, y la conductividad eléctrica oscilaba entre 3.26 - 3.97 dS.m<sup>-1</sup>, dentro del rango de calidad B según el IIAP y la NTCH. Los valores oscilaron entre 6.97 - 7.44 con respecto al pH. La materia orgánica se situó entre 26.81 - 28.85%, con respecto al valor del nitrógeno estaba entre 0.98 - 1.00%, y el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 1.27% y 1.54%, todos cumpliendo o superando los estándares de la FAO y la NTCH. Los valores de K<sub>2</sub>O fluctuó entre 0.46% y 0.57%, estando de los parámetros establecidos por la FAO, pero por debajo del estándar del IIAP. Con respecto a la relación C/N varió entre 16.54:1 - 17.08:1, superando el rango de la FAO, pero siendo aceptable según la NTCH.

### **2.1.3. Locales**

Vidal (2023) realizó un estudio en Castillo Grande, Perú, evaluando el uso de microorganismos provenientes de hojarasca para el T1, la madera en descomposición para el T2 y las raíces para el T3, para la descomposición de desechos orgánicos y procese del compost. Mediante los análisis de ANVA, las pruebas de Duncan y Kruskal-Wallis, se

concluyó que el tratamiento T1 (hojarasca) obtuvo el tiempo de descomposición más rápido (39.3 días) y presentó la mayor concentración de microorganismos aerobios viables con  $2034.67 \times 10^3$  UFC/g. Por su parte, el tratamiento T2 (madera en descomposición) generó el mayor volumen de compost con valor de 299.67 kg y la mayor cantidad de colonias de actinomicetos y hongos con valores de 61.67 y  $54.00 \times 10^3$  UFC/g respectivamente. Además, el tratamiento T1 sobresalió en términos de humedad, materia orgánica seca, fósforo, nitrógeno, magnesio, sodio, potasio, cobre, zinc y manganeso con valores de 19.98%, 54.26%, 0.12%, 2.61%, 0.10%, 0.57%, 3.42%, 2.70 ppm, 43.52 ppm y 147.29 ppm respectivamente. En contraste, el tratamiento T3 (raíces) presentó los mayores niveles de calcio con 2.62% y hierro con 0.29 ppm.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Microorganismos**

Según Higa (2002), el descubridor de los microorganismos, que estos son organismos diminutos, beneficiosos y de origen natural. Al interactuar con la materia orgánica, estos seres vivos producen sustancias provechosas. En el contexto del compostaje, se pueden encontrar diversos tipos de estos microorganismos, incluyendo hongos, bacterias fototróficas, levaduras, bacterias que generan ácido láctico y hongos de fermentación.

Álvarez (1992) expresa que, existen entre 80 000 y 100 000 especies de hongos, siendo uno de ellos, el moho siendo este su crecimiento encima del material degradado de tipo orgánico, además las levaduras, comúnmente se ubican sobre la superficie de frutos maduros, los cuales tienen un comportamiento parecido a los hongos patógenos, pero estos sobre plantas. Estos microorganismos tienen ausencia de clorofila, lo que los convierte en organismos heterótrofos, obteniendo de esta manera energía para ellos mismos a partir de la degradación en el material orgánico. Los hongos están compuestos por numerosos filamentos ramificados llamados hifas, que son de gran importancia en la agricultura. Entre estos hongos se incluyen oomicetos, zigomicetos, ascomicetos, basidiomicetos y hongos imperfectos.

De igual manera las bacterias presentan una gran diversidad morfológica y con menor cantidad en el número de estructuras celulares especializadas. No obstante, las especies bacterianas se distinguen de otras en sus características, tales como la forma, disposición y estructura interna de sus células, así como en el proceso de metabolismo. Las bacterias, organismos unicelulares, se desarrollan formando grupos llamados colonias, las cuales pueden alcanzar un tamaño de aproximadamente un milímetro. Los bordes de estas

colonias pueden presentar una amplia variedad de colores, incluyendo rojo, amarillo, violeta, o incluso carecer de pigmentación. La forma de las bacterias es extremadamente diversa, abarcando desde formas esféricas o elipsoidales, hasta formas cilíndricas, alargadas o espirales.

Bacterias de ácido láctico, son bacterias fotosintéticas mientras que la levadura produce el conocido ácido láctico del azúcar y al igual que otros hidratos de carbono. Los microorganismos nocivos son oprimidos por el ácido láctico, que promueve una descomposición rápida del material orgánico.

La levadura, si bien generan hormonas y enzimas que estimulan la división celular, también participa en la síntesis de sustancias útiles a partir de los aminoácidos y azúcares que liberan las bacterias fotosintéticas. Los actinomicetos y las bacterias del ácido láctico son microorganismos activos que utilizan sus secreciones como sustratos.

#### **2.2.1.1. Beneficios de los microorganismos en la agricultura**

Según la producción de exportadores agricultores tradicionales, la introducción de ciertos microorganismos específicos sobre el suelo puede corregir problemas de salinidad, de igual manera hay una mayor facilidad para el intercambio de iones tanto en el suelo como aguas característicamente duras, mejorar el drenaje y eliminar sales tóxicas, como el sodio y el cloro, que afectan negativamente a los cultivos agrícolas. Además, estos microorganismos tienen la capacidad de ayudar a disolver la cal, así como los fosfatos, y acelerando de esta manera la degradación de materiales como el compost y el bokashi. En el cultivo de manzanos, se ha registrado un aumento en la producción, atribuyéndose a la acción de este tipo de microorganismos, los cuales dan nutrientes extraídos de la materia orgánica y mejoran la resistencia de las plantas al estrés hídrico, además de aumentar el potencial para la mineralización del carbono.

Asimismo, se ha observado una mejora en la estructura del suelo, lo que facilita la penetración del sistema radicular y aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades. También se ha reportado un uso exitoso de estos microorganismos como complemento alimenticio en gallinas y cerdos, así como para reducir los malos olores asociados con los animales. Actualmente, se están llevando a cabo pruebas con estos microorganismos en el cultivo de banano orgánico.

Efectos en la microbiología del suelo: inhibe o regula las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo mediante competencia. Aumenta la biodiversidad microbiana, creando las condiciones necesarias para

que los microorganismos beneficiosos nativos puedan prosperar (Producción de exportadores agricultores tradicionales, 2002).

#### **2.2.1.2. Beneficios del Compost Treet en la agricultura**

Según nos indica Vademécum (2008), es un producto de origen microbiano que concentra una alta cantidad de vitaminas, enzimas y bacterias ácido-lácticas. Siendo este tipo de bacterias tienen la capacidad de transformar azúcares y algunos carbohidratos, los cuales son generados por bacterias tipo fototróficas en el ácido láctico. Además, este compost facilita la elaboración de componentes complejos, como la lignina y la celulosa, acelerando así su degradación. Los microorganismos presentes en este producto ejercen un efecto positivo en el suelo, mejorando su estructura, potenciando su fertilidad y favoreciendo la aireación.

A diferencia de los fertilizantes químicos, cuyo uso excesivo puede provocar problemas como la concentración de sales y el desequilibrio natural en el suelo, además de representar un costo elevado para los agricultores, los restos de origen tipo animal como vegetal se presentan como alternativas viables. Estos restos, con potencial fertilizante, incrementan el contenido orgánico del suelo y pueden ser optimizados a través del compostaje. El compostaje como tal es un proceso de división biológica controlado de restos orgánicos, los cuales proporciona una fuente abundante de materia orgánica a un menor costo para el mejoramiento de los suelos (Vademécum, 2008).

El uso de Compost Treet desencadena un mecanismo que ayuda a proteger a las plantas tanto de insectos como de enfermedades, ya que puede estimular la resistencia sistémica en los cultivos para con los patógenos. Este tipo de productos actúa consumiendo los exudados que emanan de las raíces, hojas, flores y frutos, lo que impide la proliferación de agentes patógenos y la aparición de enfermedades. Además, contribuye a mejorar el desarrollo, la calidad y la productividad de los cultivos (Vademécum, 2008).

El Compost Treet se caracteriza por tener una concentración mínima de 2,2 billones de unidades formadoras de colonias de bacterias activas por gramo. Su composición incluye, además, nutrientes, así como carbonato de calcio, sulfato de calcio, también fosfato de amonio y algunos productos derivados de la fermentación en seco. La dosis recomendada para su aplicación es de 500 gramos de Compost Treet por cada 7 metros cúbicos de material orgánico, asegurando una distribución y mezcla homogénea. (Vademécum, 2008).

### **2.2.2. El compost**

Según el Manual Agropecuario (2002), la generación de biomasa y la capacidad del suelo de biomasa y la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento vegetal están estrechamente vinculados, manteniendo una interacción constante. En otras palabras, existe una conexión directa entre la vegetación y el suelo. Así, el equilibrio del ecosistema agrícola depende de la interrelación entre los factores bióticos y abióticos del suelo dependen de la interrelación entre los factores bióticos y abióticos del suelo.

La agricultura sostenible promueve la diversidad biológica en el suelo mediante la adición de materia orgánica, la cual sirve de alimento para los microorganismos. Estos organismos desempeñan un papel clave en la disponibilización de nutrientes para las plantas y en la mejora de la estructura del suelo. En los suelos tropicales, la cantidad crítica de materia orgánica está determinada por el clima, estableciéndose en una temperatura media de 25 °C y una precipitación anual de 2 000 mm (Manual Agropecuario, 2002).

#### **2.2.2.1. Fases del compostaje**

Sztem y Pravia (2004) detallan el proceso de compostaje, comenzando con una fase inicial de adaptación y proliferación microbiana, conocida como latencia o mesofílica. Durante este período, que se extiende de dos a cuatro días, los microorganismos se aclimatan al entorno de desarrollo y experimentan un rápido crecimiento, prosperando en condiciones de temperatura que pueden superar los 50 °C.

En esta etapa, hongos como oomicetos, ascomicetos, hongos imperfectos, entre otros, se multiplican velozmente, impulsados por una alta actividad metabólica la cual aumenta la temperatura y genera ácidos orgánicos, lo que a su vez reduce el pH. Simultáneamente, se produce la degradación de sustancias carbonadas fácilmente oxidables, tales como glúcidos, almidón, aminoácidos y proteínas solubles (Sztem y Pravia, 2004).

En la segunda etapa del compostaje, denominada fase termófila, según Ramírez y Restrepo (2007), se observa un cambio en la población microbiana, donde los microorganismos mesófilos son sustituidos por termófilos, en un ambiente con temperaturas que oscilan entre 50 y 70 °C. Este aumento de temperatura ejerce un efecto de estrés térmico sobre patógenos, larvas e incluso semillas de malezas presentes en el material. La duración de esta fase varía de 1-8 semanas, pero dependiendo de la velocidad de fermentación, ya sea acelerada o lenta. Durante este período, se produce un proceso de

pasteurización y mineralización intensiva. Además, se lleva a cabo la conversión de nitrógeno en amoníaco, lo cual nos da como resultado mayores valores en el pH, volviéndose el ambiente alcalino. Al alcanzar los 60 °C, los hongos termófilos se extinguen, dando paso a bacterias esporíferas y actinobacterias, las cuales se encargan de descomponer ceras, proteínas y hemicelulosas. A medida que la temperatura desciende a 40 °C, estas bacterias retoman su actividad, y el pH comienza a disminuir gradualmente.

#### **2.2.2.2. Compost**

El compost, se define como un producto estabilizado además de ausencia de agentes patógenos. Su obtención se logra mediante el procesamiento controlado de materia orgánica, llevado a cabo por comunidades de microorganismos especializados en este proceso. Este producto final, el compost, es altamente valorado para el suelo, ya que su aplicación contribuye a mejorar su estabilidad y estructura, disminuir la erosión y facilitar la absorción de agua y nutrientes (Román, 2013).

#### **2.2.2.3. Abono orgánico**

Los abonos orgánicos abarcan aquellos productos que, en una proporción equilibrada, aportan los micronutrientes esenciales para un buen desarrollo en las funciones bioquímicas de las plantas. Además, se caracterizan por su alta concentración de microorganismos, provenientes de insumos de origen natural (Román, 2013).

Estos bonos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Abonos orgánicos sólidos: dentro de esta categoría se encuentran el compost, el humus de lombriz, el bokashi y los abonos verdes.
- Abonos orgánicos líquidos: este grupo incluye el biol, el té de humus y el té de compost.

#### **2.2.2.4. Sistemas de compostaje**

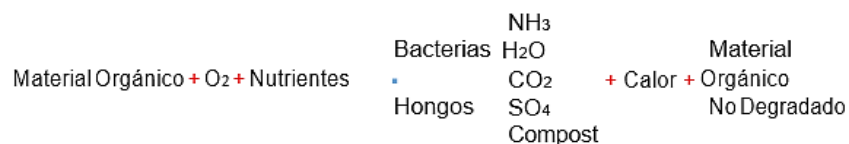
El compostaje es un proceso biológico que ocurre en ambientes aeróbicos, es decir, en presencia de oxígeno. A través de control de la humedad y la temperatura, este procedimiento garantiza la transformación segura de los residuos orgánicos en un material uniforme y aprovechable por las plantas. Para comprender este fenómeno, es esencial analizar los distintos métodos de compostaje disponibles. La materia orgánica, un elemento clave del suelo, comprende cualquier sustancia de origen vegetal o animal que se incorpora a la tierra tras un proceso de procesamiento llevado a cabo por microorganismos. Como resultado de esta transformación, la materia orgánica pasa de su estado original a una forma inorgánica, conformada por minerales solubles e insolubles. Estos nutrientes presentes

en la solución del suelo pueden ser absorbidos por las plantas y otros organismos, o bien estabilizarse hasta convertirse en humus, mediante el proceso conocido como humificación (Román, 2013).

### 2.2.2.5. El proceso de compostaje

El proceso de compostaje puede entenderse como la suma de procesos metabólicos complejos, llevados a cabo por una diversidad de microorganismos. Estos, en presencia de oxígeno, utilizan el nitrógeno y el carbono presentes en los residuos orgánicos para generar su propia biomasa. Durante este procedimiento, los microorganismos liberan el calor y producen un sustrato sólido, conocido como compost, que se caracteriza por una menor concentración de C y N, pero una mayor estabilidad (Córdova, 2016).

La biodegradación aeróbica, proceso fundamental en el compostaje, puede representarse mediante la siguiente ecuación (Córdova, 2016):



Durante el proceso de separación de la materia orgánica, llevado a cabo por microorganismos, una parte de la energía liberada se aprovecha para la formación de nueva biomasa microbiana. Al finalizar el ciclo de vida de estos microorganismos, su material celular se convierte en sustrato para otros microorganismos presentes, lo que resulta en la generación de dióxido de carbono, agua y nueva biomasa celular. Este ciclo se repite continuamente hasta que solo queda una fracción altamente elevada de la materia orgánica, que es resistente a la degradación microbiana. A medida que avanza el compostaje, los compuestos orgánicos más susceptibles a la degradación se oxidan y son reemplazados por sustancias húmicas, que son menos biodegradables, aunque esta sustitución ocurre a un ritmo considerablemente más lento en comparación con la velocidad inicial de descomposición (Córdova, 2016).

De forma similar, la evaluación del carbono, el nitrógeno y la materia orgánica inicial, por parte de los microorganismos genera calor, el cual puede ser medido por parte de los microorganismos genera calor, el cual puede ser medido mediante el seguimiento de los cambios de temperatura a lo largo del tiempo requerido para la formación del compost. Calor acumulado durante este procedimiento permite distinguir tres

principales del compostaje, además de una etapa de maduración. cuya duración puede variar. cuya duración puede variar (Córdova, 2016).

En términos generales, la primera etapa del compostaje se caracteriza por una intensa actividad de bacterias mesófilas, cuya actividad metabólica exotérmica genera calor. Este aumento de temperatura propicia el inicio de una segunda etapa, en la cual la materia orgánica alcanza su bioestabilización a través de reacciones bioquímicas de oxidación mediadas por microorganismos termófilos. Posteriormente, la temperatura disminuye, dando paso a la fase de maduración del compost. El resultado final de este proceso no es una materia orgánica totalmente estabilizada, sino un compuesto comparable al humus del suelo, con la posibilidad de seguir su transformación y contribuir con nutrientes al ecosistema suelo-planta (Córdova, 2016).

#### **2.2.2.6. Factores que condicionan el proceso de compostaje**

El éxito del compostaje, un proceso de naturaleza biológica depende de una serie de factores físicoquímicos que influyen directamente en el desarrollo de las poblaciones microbianas las cuales son las responsables de la división de la materia orgánica (Higa,2002).

Entre los factores condicionantes se encuentran el potencial de hidrógeno (pH), la relación carbono/nitrógeno, el nitrógeno total, el carbono orgánico, el porcentaje de materia orgánica, el tamaño de las partículas, el porcentaje de humedad, el fósforo, el potasio y el calcio. Asimismo, las condiciones físicas del entorno donde se lleva a cabo el proceso de compostaje, como las materias primas utilizadas, la metodología aplicada y otros factores, también desempeñan un papel crucial en el resultado final (Higa,2002).

El seguimiento de los factores mencionados es una actividad crucial durante las distintas etapas del proceso de compostaje; al hacerlo, podemos garantizar que los parámetros estén en un rango adecuado y que nuestro proceso tenga una perspectiva sólida de éxito (Higa,2002).

#### **2.2.2.7. Factores físicos**

##### **a. Temperatura**

La temperatura juega un papel crucial en el proceso de compostaje, ya que está directamente relacionada con las distintas etapas del desarrollo biológico durante la separación de la materia orgánica (Pillco, 2020).

En la etapa inicial, que abarca un período de dos a seis días, se registra un incremento progresivo de la temperatura. en la pila en la pila de compostaje, alcanzando un promedio de 45 °C. Luego, la temperatura sigue elevándose, situándose entre

60 °C y 70 °C, debido a la actividad metabólica de los microorganismos exotérmicos y la biodegradación de los sustratos. Finalmente, la temperatura desciende de manera gradual hasta equihasta equilibrarse con la temperatura ambiente en la fase final del proceso de compostaje. Distintos investigadores coinciden en que estos valores representan rangos aceptables dentro del proceso de compostaje (Pillco, 2020).

**Tabla 1.** Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura.

<b>Etapas</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Etapa mesofílica	20 a 45
Primera etapa termofílica	45 a 65
Segunda etapa termofílica	65 a 75
Etapa mesofílica II	45 a 40
Etapa de maduración	40 a 25

Fuente: (Pillco,2020)\*

**Tabla 2.** Parámetros de temperatura óptimos.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Causas asociadas</b>	<b>Soluciones</b>
Bajas temperaturas (T°. Ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Se puede corregir la La baja temperatura en sequedad del material el compostaje ocurre por humedeciéndolo o falta de humedad, lo que reduce la actividad microbiana. agregando restos frescos, como frutas y verduras, que aportan mayor humedad.
	Material insuficiente.	La cantidad de material o la forma inadecuada de la pila, impide lograr la temperatura óptima. La pila de compostaje tenga mayor material.
	Déficit de nitrógeno o baja C: N.	Un material con alta relación C/N limita el nitrógeno para microorganismos, reduciendo su actividad. Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.

---

<p>Altas temperaturas (T° ambiente &gt;70°C)</p>	<p>Ventilación y humedad insuficiente</p>	<p>enzimática y proteica. Esto retrasa el aumento de temperatura de la pila, que puede tardar más de una semana. La temperatura posee alto valor inhibiendo la descomposición. Se realiza volteo y se verificación de la Si bien hay actividad humedad (55-60%). Se microbiana sin añade material rico en embargo no es carbono de degradación suficiente para activar lenta (madera o pasto a los microorganismos seco) para moderar el mesofilicos y facilitar proceso. el termino del proceso.</p>
--	---	---

---

Fuente: (Pillco,2020)\*

### **b. Humedad**

La humedad es una variable determinante en el compostaje, ya que influye de manera directa en la actividad de los microorganismos. Al igual que todos los seres vivos, estos microorganismos requieren agua para el transporte de nutrientes y la obtención de energía a través de sus membranas celulares (Pillco, 2020).

El nivel óptimo de humedad en la pila de compostaje se sitúa generalmente en torno al 55%. Sin embargo, este valor puede variar dependiendo de las características físicas y el tamaño de las partículas del material, así como del método de compostaje empleado. Se considera aceptable un rango de humedad entre el 40% y el 70%. No obstante, si la humedad desciende por debajo del 45%, la actividad microbiana se ve afectada, lo que impide la correcta progresión de las etapas de degradación y resulta en un producto final biológicamente inestable. Por otro lado, un exceso de humedad, superior al 70%, puede saturar los espacios porosos del material, dificultando la oxigenación necesaria para el proceso (Pillco, 2020).

En procesos donde los componentes principales son sustratos como el aserrín, además de astillas de madera, paja seca y hojas también secas, se necesita

más riego durante este proceso es mayor en comparación con materiales más húmedos, como restos de cocina entre los que están vegetales, frutas y recortes de césped (Pillco, 2020).

**Tabla 3.** Parámetros de humedad óptimos.

<b>Humedad</b>	<b>Problema</b>	<b>Soluciones</b>
<45% Humedad insuficiente	La falta de agua puede interrumpir el compostaje, ya que los microorganismos necesitan humedad para su actividad.	Es necesario ajustar la humedad, ya sea humedeciendo el material o incorporando residuos frescos con mayor contenido de agua.
<b>45% - 60% Rango ideal</b>		
>60% Oxígeno insuficiente	El exceso de humedad desplaza el oxígeno, creando condiciones anaeróbicas en el material.	Se recomienda voltear la mezcla y/o incorporar materiales secos y ricos en carbono, como aserrín, paja u hojas secas, para reducir la humedad.

**Fuente:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO\*

### c. Tamaño de Partículas

El tamaño de las partículas influye en la degradación de restos orgánicos por microorganismos. Estos actúan sobre la superficie de las partículas, por lo que el material debe tener un tamaño adecuado (Pillco, 2020).

Por ejemplo, si las partículas son de un tamaño pequeño, se genera una mayor superficie específica, lo que facilita el acceso de los microorganismos al sustrato. En cambio, cuando las partículas son de un mayor tamaño, la superficie de contacto se vuelve menos accesible para los microorganismos, lo que aumenta la probabilidad de que la materia prima experimente procesos de putrefacción (Pillco, 2020).

**Tabla 4.** Control del tamaño de partícula.

<b>Tamaño de partículas (cm)</b>	<b>Problema</b>	<b>Soluciones</b>
> 30 cm	Exceso de aireación	Materiales grandes crean canales de aire, disminuyendo la
		Reducir el tamaño del material a partículas de 10-20

	temperatura y ralentizando el compostaje.	cm para optimizar el compostaje.
	<b>5 - 30 cm Rango ideal</b>	
< 5 cm	Compactación con agua, lo que compacta el material y crea condiciones anaeróbicas.	Agregar material de mayor tamaño y voltear la mezcla para homogeneizar la aireación y evitar la compactación.

**Fuente:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

### 2.2.2.8. Factores químicos

#### a. pH

El pH es una variable esencial para la vida durante el compostaje, ya que cada grupo de microorganismos requiere un nivel de pH específico para su crecimiento y reproducción. Las bacterias prosperan en un pH de 6,0 a 7,5, mientras que los hongos prefieren un pH de 5,5 a 8,0. El rango óptimo para el compostaje se encuentra entre 5,8 y 7,2, lo que corresponde a un pH neutro (Pillco, 2020).

Aunque el pH del compostaje está influenciado por los materiales iniciales, no permanece constante. Experimenta variaciones a lo largo de las diferentes etapas del proceso, presentando tres rangos principales (Pillco, 2020).

**Tabla 5.** Variación del pH en las etapas del compostaje.

Etapa	pH
Etapa mesofílica	La producción de ácidos orgánicos por la descomposición de carbohidratos reduce el pH a un promedio de 4,5, lo que facilita el desarrollo de hongos.
Etapa termofílica	El pH tiende a aumentar hasta llegar a valores de 8-9, esto debido a la formación de amoníaco por la desaminación de proteínas. Este pH alto favorece la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco.
Maduración	Finalmente, el pH se estabiliza entre 5,8 y 7,2, debido a la capacidad amortiguadora del humus que se forma.

**Fuente:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

### b. Carbono orgánico y nitrógeno total

El contenido de nitrógeno en el compost varía según los materiales iniciales, el proceso y la maduración. Durante el compostaje, el nitrógeno se reduce por la liberación de amoníaco, aunque los microorganismos lo absorben y utilizan. Esto resulta en pérdidas, sobre todo al inicio, cuando la actividad bioquímica es máxima. En un compostaje aeróbico eficiente, la pérdida de nitrógeno no debe superar el 20% (Vargas,2017).

Los microorganismos usan el nitrógeno para su estructura y el carbono como energía para descomponer la materia orgánica (Vargas,2017).

Los materiales de compostaje suelen tener más carbono que nitrógeno. Un exceso de carbono ralentiza la descomposición al agotar el nitrógeno, afectando a los microorganismos. El nitrógeno liberado se recicla mientras se consume más carbono. Un exceso de nitrógeno acelera la descomposición, pero puede causar falta de oxígeno y anaerobiosis. La falta de nitrógeno, por otro lado, reduce la velocidad de descomposición (Vargas,2017).

### c. Relación carbono: nitrógeno (C: N)

La relación carbono/nitrógeno (C/N) es la proporción numérica entre el carbono y el nitrógeno en los materiales de compostaje. Se usa para medir la estabilidad del compost, variando de 25:1 a 15:1 durante el proceso (la FAO recomienda iniciar con 25:1 a 35:1) (Vargas,2017).

Esta relación depende de los materiales. Si el carbono es difícil de descomponer, la relación óptima es mayor. Una relación C/N baja no afecta gravemente el proceso, pero puede generar malos olores por la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (Vargas,2017).

**Tabla 6.** Relación C/N de los materiales usados en el compostaje.

Nivel alto de N		C: N equilibrado		Nivel alto de C	
1:1 – 24:1		25:1 – 40:1		41:1 – 1000:1	
Material	C: N	Material	C: N	Material	C: N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Pulpa de café	29:1	Cascarilla de arroz	66:1
Desperdicios de cocina	14:1	Estiércol de ovino/caprino	32:1	Mazorca de maíz	117:1

		Hojas de plátano	32:1	Paja de maíz	312:1
Gallinaza camada	18:1	Restos de hortalizas	37:1	Aserrín	638:1
		Restos de poda	44:1		

Fuente: Adaptado de PNUD-INFAT (2002)

**Tabla 7.** Rangos de relación C/N durante el compostaje.

C/N	Causas asociadas	Soluciones
>35:1 Exceso de Carbono	La presencia de materiales con gran concentración de carbono en la mezcla tiende a enfriar y prolongar el proceso de compostaje.	Agregar materiales ricos en nitrógeno para equilibrar la relación carbono/nitrógeno (C:N) y optimizar el compostaje.
<b>15:1 – 35:1 Rango ideal</b>		
<15:1 Exceso de Nitrógeno	Un exceso de material rico en nitrógeno en la mezcla acelera el calentamiento y produce olores desagradables debido a la liberación de amoníaco.	Incorporar materiales ricos en carbono, como restos de poda, hojas secas o aserrín, para equilibrar la mezcla.

#### **d. Materia orgánica**

El compost final contiene materia orgánica, cuyo porcentaje depende de la materia orgánica inicial, su facilidad para degradarse, y la actividad de los microorganismos, que usan enzimas para descomponer los sustratos.

#### **e. Fósforo total**

El fósforo es vital en el compost para la transferencia de energía en el suelo. Suele ser escaso en suelos naturales o agrícolas, especialmente con pH limitante. Su proporción varía de 0,1% a 1,0% como óxido fosfórico (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), según los materiales del compostaje.

#### **f. Potasio disponible**

El elemento del potasio en el compost depende de los materiales iniciales ya que este elemento influye en la síntesis de carbohidratos y también de proteínas, beneficiando el desarrollo de la planta. Además, mejora la tolerancia de la planta a condiciones extremas como la sequía, las heladas y la salinidad. Se presentan los contenidos óptimos de fósforo y potasio en el compost.

**Tabla 8.** Contenido de P y K en el compost.

Nutriente	Porcentaje en compost
Fósforo	0,1% – 1,0% (1 – 10 g / Kg de compost)
Potasio	0,3% – 1,0% (3 – 10 g / Kg de compost)

### g. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) representa un indicador que evalúa la aptitud del suelo para retener cationes, los cuales son nutrientes fundamentales para el desarrollo vegetal. Esta propiedad se expresa en centimoles de carga por kilogramo de suelo (cmolc/kg) y, conforme su valor aumenta, se refleja una mejora en la calidad fértil del suelo. Este mejoramiento se relaciona con un mayor grado de polimerización del suelo, lo que genera una expansión en la superficie específica de las macromoléculas húmicas y un incremento gradual en la presencia de grupos carboxilo.

La CIC ha sido utilizada frecuentemente como un indicador del grado de madurez del compost y, de manera indirecta, como un criterio para evaluar el nivel de humificación de los materiales orgánicos. A pesar de que no es posible establecer un valor límite preciso para determinar la madurez del compost basándose únicamente en la CIC, existe un consenso entre diversos autores en que, en un compost considerado maduro, el valor de la CIC debe situarse en un rango que oscila entre 1,9 cmol/kg y 167 cmol/kg.

### 2.2.2.9. Factores que condicionan la calidad del compost

Una vez concluido el proceso de compostaje, es crucial evaluar la calidad del producto final considerando diversos factores. En el cuadro siguiente se muestra un resumen de los parámetros más relevantes:

**Tabla 9.** Resumen de los factores que condicionan la calidad del compost.

Parámetro	Rango ideal al comienzo	Rango ideal en fase termofílica II	Rango ideal de compost maduro
Relación C: N	25:1 - 35:1	15:1 - 20:1	10:1 - 15:1
Temperatura	20 °C - 45°C	65°C - 75 °C	Temperatura ambiente
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
pH	6,5 – 8,0	8,0 – 9,0	6,0 – 7,5
Materia orgánica	50% - 70%	>20%	>15%

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

### **2.2.3. Residuos sólidos**

Los desechos sólidos son sustancias, productos o subproductos, tanto sólidos como semisólidos, que deben ser gestionados de acuerdo con la normativa peruana (Consejo Nacional del Ambiente, 2006). Estos residuos se generan por el consumo de bienes o servicios y se desechan al no tener un uso inmediato (Ministerio de Agricultura y Riego, 2012).

Adicionalmente, se incluyen como residuos sólidos los gases o líquidos contenidos en envases destinados a ser desechados (El Peruano, 2017).

#### **2.2.3.1. Clasificación de los residuos sólidos**

De acuerdo con el Decreto Legislativo 1278 (2017), los desechos sólidos se clasifican según su origen en:

- Los desechos domiciliarios, son aquellos generados por varias acciones en el hogar. La cantidad y calidad de estos desechos dependen de varios factores, como lo son el nivel de ingresos de la familia, patrones de consumo, avances tecnológicos y el tipo de calidad de vida de la población.
- Los desechos industriales, son aquellos residuos generados por las actividades productivas en diversos sectores industriales.
- Los desechos comerciales varían según el tipo de actividad comercial. Generalmente, incluyen materiales de oficina, embalajes y algunos residuos orgánicos.
- Desechos de actividades de construcción, son los residuos generados por la demolición de edificios o los materiales sobrantes de las obras de construcción.
- Desechos agropecuarios, son generados por actividades agrícolas y ganaderas. Estos incluyen fertilizantes químicos y orgánicos, pesticidas y antibióticos.
- Desechos de establecimientos de atención de salud, son aquellos generados durante los procesos de diagnóstico y vacunación que se realizan en hospitales y clínicas veterinarias.

En cuanto a su gestión, los desechos se clasifican en:

- Los desechos sólidos municipales abarcan los residuos generados en hogares y aquellos producidos por la limpieza de calles, espacios públicos y otras actividades comerciales y urbanas (El Peruano, 2017).
- Los desechos sólidos no municipales, son aquellos que se generan en actividades de extracción, producción y servicios, y pueden ser tanto peligrosos como no peligrosos (El Peruano, 2017).

Según su peligrosidad, los desechos sólidos se dividen en:

- Los desechos peligrosos, son los residuos que tienen características particulaes las cuales representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente.
- Los desechos no peligrosos, son aquellos residuos, tanto domésticos como industriales, que no representan un riesgo para la salud humana, animal o vegetal, ni causan deterioro ambiental. Estos se clasifican en dos categorías: domésticos e industriales.

#### **2.2.3.2. Residuos sólidos orgánicos**

Los residuos orgánicos provienen de fragmentos de plantas y animales, descomponiéndose fácilmente por acción microbiana. Ejemplos incluyen cáscaras de frutas y verduras (Consejo Nacional del Ambiente, 2006).

Estos residuos biodegradables, como restos de frutas y verduras, pueden recuperarse para crear fertilizantes, contribuyendo al cuidado ambiental (Ferreira et al., 2015).

#### **2.2.3.3. Recolección selectiva**

La gestión de residuos implica la recolección de desechos similares, para luego destinarlos a áreas de reutilización (Lorang et al., 2005). Los residuos no reutilizables deben ser dispuestos en un vertedero sanitario (Consejo Nacional del Ambiente, 2006).

#### **2.2.3.4. Segregación en la fuente**

La segregación de residuos consiste en la clasificación de los desechos dentro de los hogares, separándolos por tipo. Esto se logra proporcionando a cada

vivienda contenedores y bolsas etiquetadas para cada tipo de residuo, los cuales son recolectados periódicamente. Los materiales comúnmente segregados incluyen materia orgánica, plástico, papel, Tetra Pak, vidrio, cartón y latas (Renteria Sacha y Zeballos Villarreal en 2014).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación de la zona de estudio

##### 3.1.1. Ubicación Política

El trabajo de investigación fue realizado en el distrito de Rupa Rupa en la provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco.

##### 3.1.2. Ubicación Geográfica

El distrito de Rupa Rupa geográficamente se encuentra ubicado en la hoja 19-k de la Carta Nacional del IGN (2020), en el sistema de coordenadas UTM DATUM WGS84 con las coordenadas 390 407 m Este y 8 972 290 m Norte.



**Figura 1.** Ubicación del distrito de Rupa Rupa.

##### 3.1.3. Características ambientales

El clima de la provincia de Leoncio Prado, según SENAMHI (2020), se caracteriza por ser tropical, con altas temperaturas y humedad. Específicamente, la temperatura promedio anual es de 25,4°C, la precipitación anual alcanza los 3500 mm y la humedad relativa se mantiene cerca del 80%.

#### 3.2. Material y métodos

##### 3.2.1. Materiales y equipos

Los siguientes materiales se utilizaron para crear las diversas labores de campo: balanza, pH-meter, termómetro, wincha, guantes quirúrgicos, mascarilla, gorros desechables, tablero, baldes, libreta de apuntes y lapiceros. Los residuos de origen animal se

utilizarán “estriacol de cuy”. Se utilizaron técnicas documentales y observacionales para recopilar datos. Con respecto a los equipos utilizados fueron: un GPS Marca GARMIN Modelo 62s, una cámara digital Marca SONY Modelo 16x y una laptop marca TOSHIBA.

### **3.2.2. Metodología**

#### **3.2.2.1. El tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes**

Se realizó la recolección de residuos orgánicos de lugares como puestos de mercados y viviendas para luego trasladarlos a un ambiente perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas que era ventilado y contaba con techo, en dicha área se trajo tres cajas de madera cuyas dimensiones fueron de 25 cm de ancho, 25 cm de largo y 30 cm de profundidad en donde se colocaron los residuos orgánicos previamente picados, luego se le colocó un tubo que abarcaba desde la parte céntrica hacia el exterior con fines de airear los residuos orgánicos.

Se accedió a la donación de los microorganismos eficientes de la gerencia de gestión ambiental y del riesgo de desastres en la municipalidad provincial de Leoncio Prado, luego se asignaron los tratamientos siguientes:

- T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).
- T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).
- T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

Como parte del manejo para el proceso de compostaje, se realizó el volteo de la materia orgánica en periodos de cada tres días con fines de oxigenar a dichos tratamientos, luego ya pasado un tiempo en donde se estabilizó la temperatura del compost, a los tres meses se ha tenido que extraer 200 g de compost y se trasladó al laboratorio de Suelos Agua y Ecotoxicología de la facultad de Agronomía.

Se realizó un análisis organoléptico para determinar el tiempo de descomposición, evaluando el olor, color y textura del compost y así determinar su madurez. Para medir la granulometría en porcentajes (%), se tamizó una muestra de 200 gramos de cada tratamiento con un tamiz inferior de 1,5 mm de diámetro. La granulometría se evaluó midiendo el porcentaje de compost retenido en el tamiz, utilizando una balanza calibrada en kilogramos. Además, se realizó un tamizado de una cantidad húmeda específica de muestra, utilizando vibración, según el tipo de determinación. Con los datos se realizó una tabla y un histograma con valores porcentuales.

### 3.2.2.2. La temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes.

La temperatura y el pH del compost se midieron en periodos de cada tres días, a las 12 horas se a tenido que introducir a una profundidad de 10 cm un equipo multiparamétrico por un periodo de cinco minutos, esta actividad fue realizada en tres repeticiones escogiendo tres puntos para determinar tanto la temperatura como el pH. Este muestreo se realizó de forma constante desde el inicio del proceso de compostaje hasta la obtención del producto final (compost) que fue de 27 días desde el iniciado el compostaje, que abarcó la fecha desde el mes de enero hasta marzo de año 2024, acción realizada para los tres tratamientos utilizados en el estudio.

Una vez obtenido los datos, se tabularon en una hoja de cálculo Excel 2010 en donde se tuvieron datos de los tratamientos por cada tres días y con tres repeticiones por día con la cual para comparar las diferencias estadísticas entre cada día de muestreo se utilizó un análisis de la varianza, siendo el modelo matemático el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i: 1,2,3, \dots, t$$

$$j: 1,2, \dots, r$$

Donde:

$Y_{ij}$  : Variable respuesta como la temperatura o pH

$\mu$  : Media general

$\tau_j$  : Efecto de los tratamientos

$\varepsilon_{ij}$  : Error experimental

Una vez determinada la significancia estadística, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey.

### 3.2.2.3. La calidad del compost de residuos orgánicos con microorganismos eficientes

La calidad del compost fue determinada cuando se juntaron muestras de compost maduro al mes, dos meses y tres meses de haberse iniciado el proceso de compostaje, para esto, se pesaron 200 gramos de sustrato de cada tratamiento y se empacaron en bolsas ziploc etiquetadas. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de la UNAS, donde se midieron las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y pH. Finalmente, los resultados obtenidos se compararon con los rangos establecidos en la Norma de Calidad del Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile (2005).

En el análisis de los datos se realizaron las comparaciones de los elementos descritos en la NCh 2880 (2020), en donde a cada elemento se clasificó por clases:

- Compost de clase A
- Compost de clase B.

#### **3.2.2.4. Tipo y nivel de investigación**

##### **a. Nivel de investigación**

Es explicativo porque su propósito es conocer y/o explicar el uso de microorganismos eficientes (ME) en la producción de compost de residuos sólidos orgánicos. Hernández et al (2004) quienes indican que “la investigación explicativa está enfocada a responder a los fenómenos físicos o sociales y causas de los eventos sucedidos”.

##### **b. Tipo de investigación**

Jacobo et al. (2013) como referencia teórica afirma que la investigación básica es utilizada en las ciencias ambientales, física y química para caracterizar el compost, ya que se utiliza en el ámbito científico para comprender y ampliar nuestros conocimientos sobre un fenómeno o campo específico, en este caso el compost.

#### **3.2.2.5. Diseño de investigación**

El estudio tiene un diseño experimental porque la variable independiente se modifica (Hernández et al., 2010).

#### **3.2.2.6. Variables de investigación**

Debido a que es una investigación experimental, esta presenta variables de tipo independiente y dependiente, las cuales se observan en su entorno natural, descritas a continuación:

##### **a. Variable independiente**

- Dosis de microorganismos eficientes (200 mL de EM)
- Residuos orgánicos de origen vegetal

##### **b. Variables dependientes**

- Relación C/N
- Materia orgánica
- Temperatura
- pH
- Humedad
- Nutrientes

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación del tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes

El proceso de compostaje se evaluó hasta lograr un compost estable, lo que duró aproximadamente un mes. Para determinar la madurez del compost, se midió el tiempo de degradación y el tamaño de las partículas (granulometría), comparando los resultados con el compostaje tradicional, el cual dura 65 días en promedio. Además, los resultados se compararon entre los diversos tratamientos empleados.

Al final del estudio, se evaluó el tamaño de las partículas de compost (granulometría) y se expresó el porcentaje, teniendo en cuenta las partículas por debajo de 1,5 mm. El tratamiento 1 (T<sub>1</sub>) mostró el mayor porcentaje de partículas finas (80,37%), lo que indica una mayor degradación en comparación con el tratamiento 2 (T<sub>2</sub>) y 3 (T<sub>3</sub>), que fueron 73,49% y 59,23% respectivamente.

La granulometría de compost para la masa (G), que no pasó la cantidad de tamiz y compost, pero esto sí ocurrió en los tres métodos de procesamiento (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>), cada uno con 200 g de compost (Tabla 10). En T<sub>1</sub>, 160,73 g es decir el 80,37% se pudo colar por el tamiz, lo que indica la existencia de una mayor cantidad de partículas finas. En el tratamiento de T<sub>2</sub>, solo 146,98 g lo equivalente al 73,49%, pudo pasar por el tamiz, esto significara la presencia de partículas finas en menor cantidad en comparación con el tratamiento T<sub>1</sub>. Por último, en el tratamiento T<sub>3</sub> lograron colarse por el tamiz 118,45 g, el 59,23%, lo que indica que este tratamiento tiene la proporción más baja de partículas finas entre los tres. Estos resultados muestran que el tratamiento con T<sub>1</sub> produce un compost más fino, mientras que T<sub>3</sub> genera compost con partículas más gruesas.

**Tabla 10.** Granulometría de compostaje de residuos orgánicos.

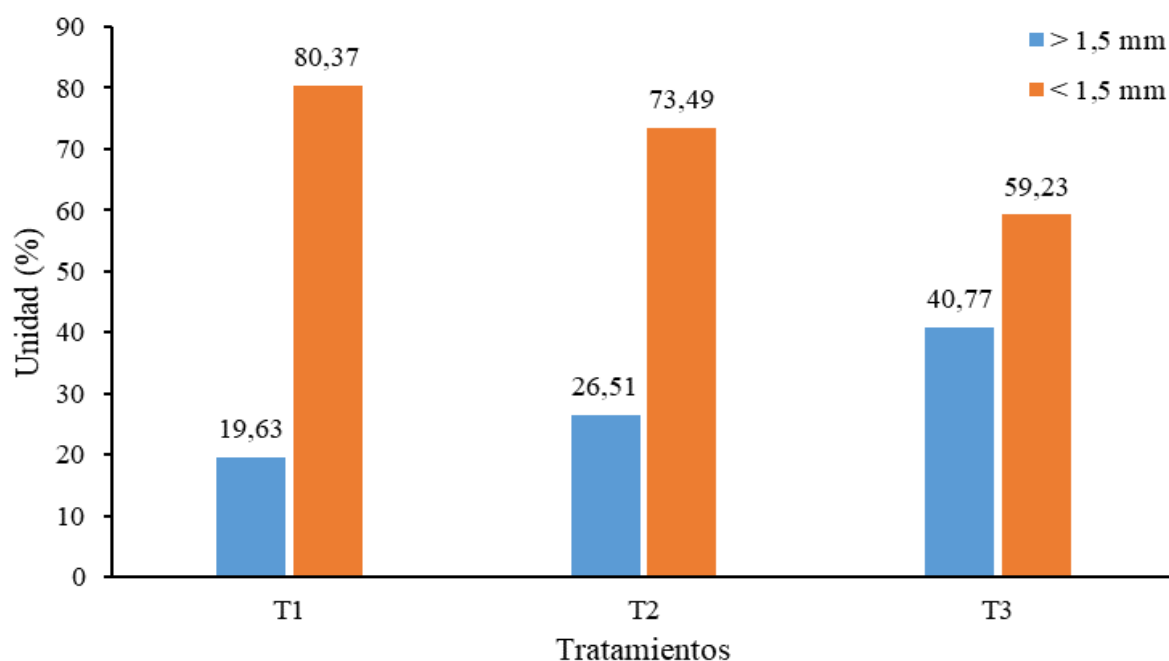
Tratamiento	No paso el tamiz (> 1,5 mm)	Producto del tamizado (< 1,5 mm)
T <sub>1</sub>	39,27 g (19,63%)	160,73 g (80,37 %)
T <sub>2</sub>	53,02 g (26,51 %)	146,98 g (73,49 %)
T <sub>3</sub>	81,55 g (40,77%)	118,45 g (59,23 %)

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Fuente:** Elaboración propia



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 2.** Granulometría del compost.

**Fuente:** Elaboración propia.

Al hacer una comparación entre los resultados de la granulometría del compost obtenido en el estudio y los datos presentados por Pillco (2020), se observa que el uso del T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%), el T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%) y el T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%) presentan menores cantidades de partículas finas que pasaron el tamiz cuya dimensión es <1,5 mm (Tabla 10 y Figura 2). Mientras que Pillco (2020) reporta un rango de entre 85,7% y 90,6% de partículas finas, los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> muestran valores de 80,37%, 73,49% y 59,23%, respectivamente. Estos resultados sugieren que los microorganismos empleados en tus tratamientos, especialmente en T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, no logran descomponer los residuos en partículas finas de manera tan eficiente como los utilizados en el estudio de Pillco (2020). Esta observación se ve respaldada por el trabajo de Suaña (2013), que analizó el tiempo de descomposición y la granulometría, encontrando que con residuos orgánicos el proceso demoró 75 días, mientras que con lenteja de agua fueron 50 días. En ambos casos, la granulometría mostró entre un 75% y 90% de partículas con diámetros menores a 1.5 mm, lo que refuerza los hallazgos de este estudio.

Las variaciones observadas pueden atribuirse a que es un reflejo de la diversidad existente en los tipos de microorganismos existentes, las condiciones del proceso de compostaje o las características de los residuos orgánicos domésticos empleados. Para optimizar los resultados, sería útil modificar la cantidad de microorganismos utilizados, mejorar las condiciones del proceso de compostaje o investigar microorganismos más eficientes.

Los hallazgos de esta investigación mostraron una mejora en relación con los resultados obtenidos por Victoria (2018), quien produjo compost aeróbico termófilo a partir de desechos orgánicos domésticos, utilizando la técnica de formación de montones de compostaje y realizando volteos periódicos durante 65 días. Por otro lado, Méndez et al. (2018) analizaron el proceso de compostaje de residuos vegetales, específicamente bagazo de maguey mezcalero (BM-Agave angustifolia Haw.) y bagazo de caña de azúcar (BC-Saccharum officinarum L.), ambos con una relación baja de carbono/nitrógeno (C/N). Para ajustar esta relación, se incluyó estiércol de bovino, y el experimento se extendió durante 133 días. En contraste, los resultados de Aquino (2017), quien estudió la adición de microorganismos eficientes (EM) en diversos sustratos de residuos orgánicos, indicaron un tiempo de procesamiento de 66 días. Similarmente, Azurduy et al. (2016) evaluaron el uso de activadores naturales para acelerar el compostaje de residuos orgánicos, y sus resultados mostraron que dichos activadores aumentaron la temperatura en un lapso relativamente corto de 2 meses y medio.

Estudios previos sobre la elaboración de compost a partir del uso de estiércol proveniente del ganado vacuno, vegetación no deseada y desechos orgánicos a la cual se les aplicó los microorganismos eficientes, han reportado como tiempos de procesamiento un promedio de 43 días, como señala Soriano (2016). Por otro lado, Naranjo (2013) mencionó que el proceso de compostaje de los desechos orgánicos suele tomar en promedio hasta 80 días. En el tratamiento T<sub>3</sub> (200 ml de microorganismos eficientes en 50% de residuos orgánicos domésticos y 50% de estiércol de cuy) de esta investigación, se observó un aumento en el tiempo de descomposición, lo que podría estar relacionado con la composición de la mezcla utilizada, que incluye restos de cañihua (tallo). Estos residuos requieren más tiempo para descomponerse debido a su alto contenido de lignina, que varía entre el 5% y el 30% (Galante & García, 1997). Según estudios de APROLAB (2007), el tamaño ideal de las partículas se encuentra entre 3 y 6 cm, lo cual coincide con las características de granulometría que favorecen la retención de agua, como se describe en los trabajos de Porras (2011), y tiene efectos positivos sobre el suelo (Soliva & López, 2004).

## **4.2. Determinación de la temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes**

### **4.2.1. Temperatura en proceso de compostaje**

En el T<sub>1</sub>, los resultados mostraron un aumento rápido de la temperatura en los primeros días, alcanzando los 45 °C (fase mesofílica) al tercer día. Este incremento se debió a la alta actividad metabólica de los microorganismos, que descomponen rápidamente la materia orgánica, generando calor y elevando la temperatura del compost. Esta actividad es particularmente intensa durante las primeras dos semanas (hasta el día 15). A partir de la tercera semana y hasta el final del período de observación, la temperatura dentro del compost comenzó a disminuir gradualmente, estabilizándose cerca de la temperatura ambiente (**Tabla 11 y Figura 3**). La variación en la temperatura y la generación de calor durante el proceso de compostaje vienen a ser el producto directo de las actividades metabólicas de los microorganismos responsables de descomponer la materia orgánica, como lo señala Cochachi (2008). En este sentido, Navarro (2006) menciona que las condiciones termófilas, donde las temperaturas varían entre 40 y 93 °C, son particularmente deseables. Esto se debe a que las altas temperaturas son cruciales para la eliminación de patógenos que podrían resultar perjudiciales. A lo largo del proceso de compostaje, el material experimenta un ciclo de fluctuaciones de temperatura, impulsado por la actividad de los microorganismos.

Los resultados del T<sub>2</sub> indican que, en los primeros días, la temperatura aumenta rápidamente, lo cual se debe al tipo de material utilizado, en este caso el "estiércol de cuy", que tiene la capacidad de retener calor durante el proceso. Además, la acción de los microorganismos eficientes acelera la descomposición de la materia orgánica, generando calor y elevando la temperatura del compost. Esta actividad es más pronunciada durante las primeras dos semanas (hasta el día 15). En las semanas siguientes, tres y cuatro, la temperatura comienza a descender de forma gradual (hasta el día 27), estabilizándose finalmente a la temperatura ambiente (Tabla 11 y Figura 3). Las fluctuaciones en las temperaturas promedio registradas durante el proceso de compostaje se deben a la variedad de materiales orgánicos utilizados y a la acción de los microorganismos eficientes (EM), los cuales aceleran la descomposición de la materia orgánica, generando calor y elevando la temperatura del compost. Sin embargo, las temperaturas máximas alcanzadas en este estudio fueron inferiores a los rangos óptimos mencionados en la literatura, que varían alrededor de los 60 °C (Uicab-Brito & Sandoval, 2003), entre 65-75 °C (Guerrero & Monsalve, 2006) y 65-70 °C (Meléndez & Soto, 2003), así como al rango general de 45 hasta 80 °C, considerado ideal para el compostaje aeróbico termófilo (Zandvliet, 2009).

**Tabla 11.** Fluctuación de la temperatura en la elaboración de compost usando residuos orgánicos.

Tiempo (días)	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
	Media (°C)	DE	CV	Media (°C)	DE	CV	Media (°C)	DE	CV
0	32,33	0,58	1,79	33,00	1,00	3,03	33,67	0,58	1,71
3	45,00	0,00	0,00	46,67	0,58	1,24	47,33	0,58	1,22
6	40,00	0,00	0,00	41,33	2,08	5,04	42,00	1,73	4,12
9	37,33	0,58	1,55	37,67	1,53	4,06	37,13	1,86	5,00
12	33,67	1,53	4,54	33,67	2,08	6,18	33,67	1,53	4,54
15	30,33	0,58	1,90	31,33	0,58	1,84	31,00	1,00	3,23
18	28,67	0,58	2,01	28,67	0,58	2,01	29,00	1,00	3,45
21	29,23	0,68	2,33	28,53	0,06	0,20	28,77	0,25	0,87
24	29,00	0,87	2,99	29,03	0,55	1,90	28,80	0,53	1,84
27	29,43	1,50	5,11	28,33	1,15	4,08	28,17	0,29	1,02

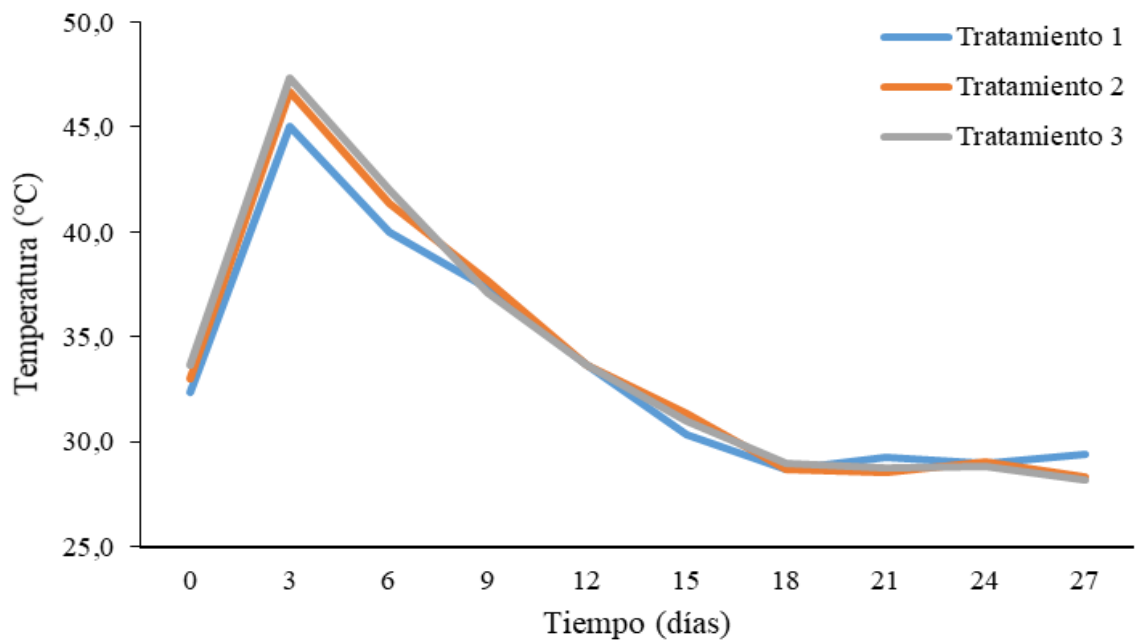
T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación expresado en porcentajes.

Los resultados del T<sub>3</sub> muestran que la temperatura aumentó rápidamente en los primeros días, lo que se atribuye a la combinación de estiércol de cuy y microorganismos eficientes, los cuales tienen la capacidad de retener el calor durante el proceso de compostaje. Además, la acción de estos microorganismos acelera la descomposición de la materia orgánica, generando calor y elevando la temperatura del compost. Esta actividad es especialmente intensa durante la tercera semana (hasta el día 21). Además, en los últimos días del proceso, la temperatura comienza a bajar de manera progresiva hasta estabilizarse a la temperatura ambiente (Tabla 11 y Figura 3). Las temperaturas más bajas favorecieron la proliferación de microorganismos mesófilos, que tienen un rango óptimo de desarrollo entre 5 °C hasta 43 °C (Navarro, 2002).



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 3.** Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost usando residuos orgánicos.

El día que se sometió a los residuos orgánicos domésticos con los respectivos tratamientos, no se registró diferencias estadísticas significativas, la cual ratifica que las temperaturas en los tres tratamientos fueron estadísticamente similares. A los tres días de haberse iniciado el proceso de compostaje, se encontró diferencias estadísticas significativas con la cual se tiene que al menos unos de los tratamientos utilizados registraron comportamientos diferentes de la temperatura interna del compost debido a que la Sig. o p-valor fue de 0,002, extendiéndose el análisis a seguir respecto a la comparación de medias. A los seis días que se sometió a los residuos orgánicos domésticos con los respectivos tratamientos, no se registró diferencias estadísticas significativas según el valor de la significancia que fue 0,346, la cual ratifica que las temperaturas en los tres tratamientos fueron estadísticamente similares. A los nueve días que se sometió a los residuos orgánicos domésticos con los respectivos tratamientos, no se registró diferencias estadísticas significativas al observar que la significancia fue 0,900, muy por encima del 0,05 considerado como nivel de tolerancia para rechazar la hipótesis nula, la cual ratifica que las temperaturas en los tres tratamientos fueron estadísticamente similares. A los 12 días que se sometió a los residuos orgánicos domésticos con los respectivos tratamientos, no se registró diferencias estadísticas significativas, la cual ratifica que las temperaturas en los tres tratamientos fueron

estadísticamente similares. A los 15 días y en adelante que se sometió a los residuos orgánicos domésticos con los respectivos tratamientos, no se registró diferencias estadísticas significativas, la cual ratifica que las temperaturas en los tres tratamientos fueron estadísticamente similares (Tabla 12).

**Tabla 12.** Análisis de varianza para el factor temperatura durante el proceso de compostaje.

Tiempo (Días)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
0	Tratamientos	2,667	2	1,333	2,400	0,171 <sup>ns</sup>
	Error experimental	3,333	6	0,556		
	Total	6,000	8			
3	Tratamientos	8,667	2	4,333	19,500	0,002*
	Error experimental	1,333	6	0,222		
	Total	10,000	8			
6	Tratamientos	6,222	2	3,111	1,273	0,346 <sup>ns</sup>
	Error experimental	14,667	6	2,444		
	Total	20,889	8			
9	Tratamientos	0,436	2	0,218	0,107	0,900 <sup>ns</sup>
	Error experimental	12,240	6	2,040		
	Total	12,676	8			
12	Tratamientos	0,000	2	0,000	0,000	1,000 <sup>ns</sup>
	Error experimental	18,000	6	3,000		
	Total	18,000	8			
15	Tratamientos	1,556	2	0,778	1,400	0,317 <sup>ns</sup>
	Error experimental	3,333	6	0,556		
	Total	4,889	8			
18	Tratamientos	0,222	2	0,111	0,200	0,824 <sup>ns</sup>
	Error experimental	3,333	6	0,556		
	Total	3,556	8			
21	Tratamientos	0,762	2	0,381	2,157	0,197 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,060	6	0,177		
	Total	1,822	8			
24	Tratamientos	0,096	2	0,048	0,107	0,900 <sup>ns</sup>
	Error experimental	2,667	6	0,444		
	Total	2,762	8			

	Tratamientos	2,842	2	1,421	1,159	0,375 <sup>ns</sup>
27	Error experimental	7,360	6	1,227		
	Total	10,202	8			

\*: significativo; ns: no significativo.

En la curva de temperatura de los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, se puede observar que los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>2</sub> son los más adecuados, ya que presentan un nivel de temperatura más alto, es decir, una curva más elevada (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Prueba Tukey para la temperatura a los tres días de compostaje.

Tratamientos	N	Media (°C)	Subconjunto
Tratamiento 3	3	47,33	a
Tratamiento 2	3	46,67	a
Tratamiento 1	3	45,00	b

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

Letras diferentes demuestran significancia estadísticas.

#### 4.2.2. Potencial de hidrogeniones en proceso de compostaje

Todos los tratamientos presentaron una disminución del pH durante los primeros días, seguida de una estabilización relativa hacia el final del estudio, sin importar el tipo de material de origen utilizado (Tabla 14 y Figura 4). El descenso del pH fue más marcado en el tratamiento T<sub>1</sub>, que consistió en una mezcla de residuos orgánicos domésticos al 100%. Es relevante señalar que tanto el T<sub>2</sub> como el T<sub>3</sub> contenían una fracción de estiércol de cuy, el cual según Coronado (1998) tiene un pH elevado de 7,6.

En el T<sub>1</sub>, hubo un aumento progresivo del pH durante las etapas iniciales del proceso de compostaje. Este incremento fue resultado de la descomposición de la celulosa por parte de los microorganismos celulolíticos. Posteriormente, los monosacáridos generados a partir de esta descomposición se convirtieron en ácidos orgánicos, los cuales ayudaron a neutralizar el pH del compost. Esta actividad fue más evidente durante las primeras dos semanas del proceso (hasta el día 15). Después de este período, en las semanas tres y cuatro (hasta el día 27), se registró un aumento gradual en los valores de pH, atribuible a la presencia de bacterias productoras de amonio y bacterias fijadoras de nitrógeno, las cuales incrementaron la concentración de ion amonio, lo que a su vez elevó el pH (Tabla 14 y Figura 4). El T<sub>2</sub> presentaba un pH que se comportó entre 2,12 y 8,67, lo cual probablemente

favoreció el crecimiento de microorganismos como bacterias y hongos, que son fundamentales en la descomposición durante la fase mesofílica, especialmente las bacterias del género *Bacillus sp.* Según Meléndez & Soto (2003), las bacterias contribuyen con un 10% a la descomposición, mientras que los actinobacterias aportan entre un 10% y un 30%.

**Tabla 14.** Fluctuación del pH en la elaboración de compost usando residuos orgánicos.

Tiempo (días)	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
	Media	DE	CV (%)	Media	DE	CV (%)	Media	DE	CV (%)
0	2,00	0,18	8,85	2,12	0,24	11,48	2,15	0,31	14,26
3	2,77	0,60	21,52	3,12	0,68	21,64	3,94	0,74	18,77
6	4,52	0,26	5,70	4,88	0,78	15,87	5,14	0,19	3,61
9	6,03	0,46	7,62	6,26	0,49	7,76	6,28	0,64	10,13
12	6,91	0,65	9,44	7,10	0,52	7,30	7,31	0,46	6,23
15	7,97	0,12	1,53	7,87	0,44	5,65	7,83	0,57	7,30
18	8,54	0,16	1,88	8,67	0,13	1,55	8,65	0,20	2,28
21	8,49	0,24	2,78	8,54	0,08	0,91	8,50	0,06	0,65
24	8,54	0,38	4,42	8,40	0,17	1,97	8,41	0,06	0,66
27	8,61	0,23	2,68	8,40	0,11	1,31	8,33	0,06	0,73

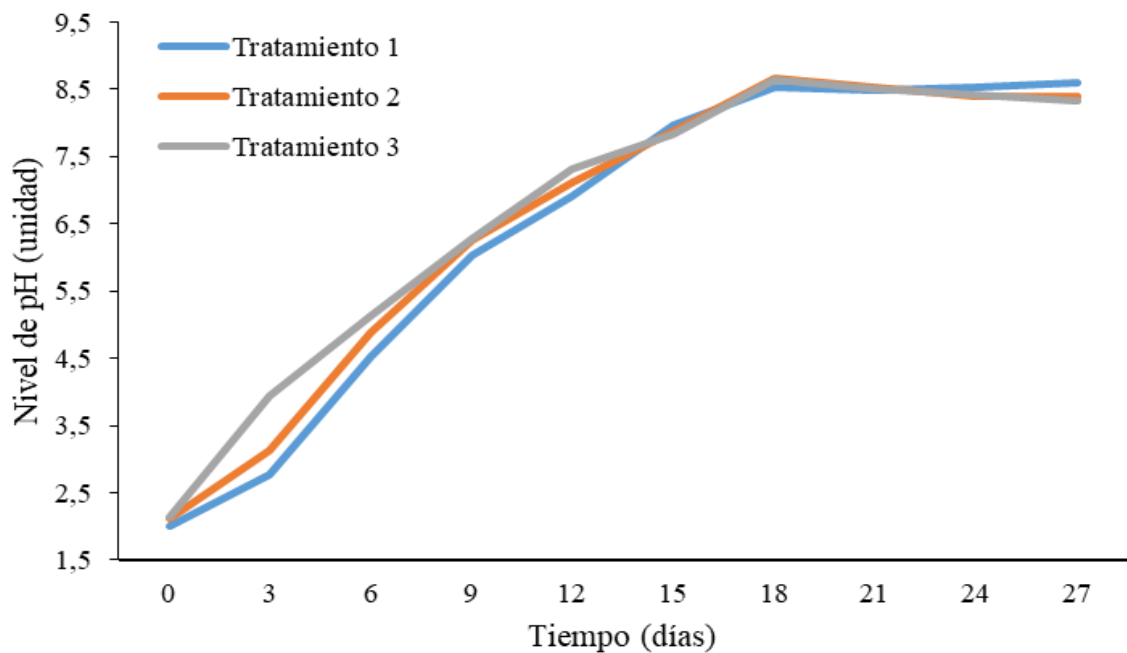
T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%). T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%). T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

Las mediciones de pH en el tratamiento T<sub>2</sub> mostraron que el aumento inicial del pH no fue tan marcado como en el tratamiento T<sub>1</sub>. Esto se atribuye al tipo de material orgánico utilizado en el compost, especialmente el estiércol de cuy, que tiene un pH alcalino. Este comportamiento se observó principalmente durante las primeras dos semanas del proceso, alcanzando un valor de pH de 7,87 al día 15. Luego, se registró un aumento gradual del pH en las semanas siguientes, lo cual se debió a la actividad de bacterias productoras de amonio y bacterias fijadoras de nitrógeno, las cuales incrementaron la concentración de ion amonio, lo que contribuyó directamente al aumento del pH (Tabla 14 y Figura 4).

Los valores de pH en el tratamiento T<sub>3</sub> muestran que, durante las dos primeras semanas, el pH tiende a aumentar de manera gradual, lo cual se debe al tipo de material utilizado, compuesto por residuos orgánicos y estiércol de cuy, que tienen un pH extremadamente ácido. Esta actividad es más pronunciada durante las primeras dos semanas (hasta el día 15). Luego, en las semanas tres y cuatro, el pH comienza a elevarse de forma

gradual (hasta el día 27) debido a la acción de bacterias productoras de amonio y fijadoras de nitrógeno, lo que incrementa la concentración de iones amonio y, como resultado, eleva el pH (Tabla 14 y Figura 4). Los valores de pH obtenidos en este estudio no son considerados adecuados para todos los tratamientos, ya que sobrepasan con los estándares de calidad de los compost establecidos por la Norma Chilena 2880 (2005), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Norma Técnica Colombiana 5167.



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 4.** Comportamiento del pH en la elaboración de compost usando residuos orgánicos domésticos.

**Fuente:** Elaboración propia.

El pH de los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> no muestra diferencias estadísticas significativas (Tabla 15) respecto al periodo de evaluación durante los días transcurridos del compostaje. Por otro lado, en cuanto a las repeticiones, tampoco se observa una diferencia significativa. Un pH neutro o equilibrado favorece la descomposición, mineralización y transformación adecuada de los sustratos. Los resultados de este estudio muestran que la adición de microorganismos eficaces no alteró de manera significativa el pH respecto al día de muestreo, lo cual es positivo, ya que estos aditivos aceleran la descomposición sin cambiar el pH original del sustrato. En otro estudio, la incorporación de microorganismos eficaces

resultó en un pH alcalino de hasta 8, pero la descomposición del compost a partir de pulpa de café se desarrolló de manera normal, lo que demuestra que los microorganismos eficaces pueden tolerar variaciones en el pH (Meléndez, 2004). En algunos casos, como en compost de residuos de caña de azúcar, el pH tiende a aumentar hacia el final de la fase de compostaje (Gordillo & Chávez, 2010). Este efecto se observó únicamente en el tratamiento control (sin EM), que presentó una disminución del pH en el segundo mes de compostaje.

Los valores promedio de pH obtenidos en este estudio se situaron por encima del rango óptimo de 6,5-7,5, según Uicab & Sandoval (2003), pero se mantuvieron dentro de los rangos aceptables de 6,0-8,0 (Palmero, 2010), y 5,5-9,0 (Guerrero & Monsalve, 2006). Sin embargo, estos valores elevados podrían indicar una posible disminución en la eficiencia del compostaje, ya que un pH superior a 8,0 (alcalino) podría provocar la precipitación de nutrientes esenciales, volviéndolos inaccesibles para los microorganismos (Sztern & Pravia, 1999). A pesar de ello, los valores de pH observados en el tratamiento 2, que contenía residuos orgánicos y estiércol de cuy, fueron similares a los reportados en estudios previos sobre compostaje de estiércol de cuy con microorganismos eficientes y compostaje con solo microorganismos eficientes (Hernández et al., 2004).

El seguimiento del pH durante el proceso de compostaje mostró una variación inicial, comenzando con valores ácidos de 2,00 a 3,94 durante los primeros tres días, y alcanzando valores alcalinos de 8,64 a 8,95 al final del proceso. Según Sztern & Pravia (1999), durante la fase mesófila, la rápida proliferación de microorganismos y la producción de ácidos orgánicos generan una disminución en el pH. Además, Naranjo (2013) señala que, aunque los microorganismos aceleran la descomposición y mejoran el valor nutricional del compost, no tienen un impacto significativo en el pH final del producto.

**Tabla 15.** Análisis de varianza del pH durante el proceso de compostaje.

Tiempo (Días)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
0	Tratamientos	0,038	2	0,019	0,313	0,743 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,368	6	0,061		
	Total	0,407	8			
3	Tratamientos	2,161	2	1,080	2,390	0,172 <sup>ns</sup>
	Error experimental	2,712	6	0,452		
	Total	4,873	8			

6	Tratamientos	0,582	2	0,291	1,243	0,353 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,404	6	0,234		
	Total	1,985	8			
9	Tratamientos	0,112	2	0,056	0,198	0,826 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,703	6	0,284		
	Total	1,816	8			
12	Tratamientos	0,240	2	0,120	0,399	0,687 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,803	6	0,301		
	Total	2,043	8			
15	Tratamientos	0,032	2	0,016	0,089	0,916 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,078	6	0,180		
	Total	1,110	8			
18	Tratamientos	0,029	2	0,014	0,521	0,619 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,166	6	0,028		
	Total	0,195	8			
21	Tratamientos	0,003	2	0,002	0,080	0,924 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,130	6	0,022		
	Total	0,133	8			
24	Tratamientos	0,034	2	0,017	0,294	0,756 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,346	6	0,058		
	Total	0,380	8			
27	Tratamientos	0,125	2	0,063	2,725	0,144 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,138	6	0,023		
	Total	0,263	8			

\*: significativo; ns: no significativo.

### 4.3. Evaluación de la calidad del compost de residuos orgánicos con microorganismos eficientes

#### 4.3.1. Caracterización físico y químico de abono orgánico - compost

La humedad en los compostes osciló entre 48,00 % y 69,46 % durante los tres meses (**Tabla 16**), con el T<sub>2</sub> presentando el pico más alto (69,46 %) en el primer mes y T<sub>3</sub> el valor más bajo (55,17 %). Un contenido de humedad entre 50 % y 60 % se considera óptimo para la actividad microbiana y la descomposición equilibrada de la materia orgánica, pues garantiza permeabilidad al oxígeno y evita la lixiviación excesiva de nutrientes. En este

estudio, el T<sub>2</sub> arrancó con humedad ligeramente superior al rango óptimo, lo cual probablemente aceleró la fermentación inicial, pero pudo haber favorecido la anaerobiosis local si no se gestionó la aireación. El T<sub>1</sub> se mantuvo más estable en torno al 62 %, mientras que el T<sub>3</sub>, con 55–62 %, mostró un perfil de hidratación casi ideal. Al segundo mes, la humedad de T<sub>2</sub> bajó drásticamente al 48 %, reflejando pérdidas de agua por volatilización o drenaje, lo que podría haber ralentizado la actividad biológica. Para un compost maduro y equilibrado, es crucial mantener un control activo de la humedad: ni tan seco que se inhiba la descomposición, ni tan mojado que se induzca putrefacción. Es recomendable un manejo periódico de volteos y adición moderada de agua para corregir excesos o déficits, buscando estabilizar la humedad en torno al 55–60 % durante todo el proceso.

La materia seca mostró un incremento paralelo a la descomposición, pasando de 30–44,8 % en el primer mes a máximo del 52 % en el T<sub>2</sub> para de segundo mes, para luego estabilizarse alrededor de 36–40 % en el tercer mes. Una MS superior al 40 % indica que gran parte de la humedad se ha eliminado y la actividad microbiana ha convertido materia orgánica en CO<sub>2</sub> y biomasa estable, acercando el compost a la madurez. En el T<sub>2</sub>, el salto a 52 % en el segundo mes sugiere una rápida degradación inicial, probablemente potenciada por el estiércol de cuy, rico en nitrógeno y microorganismos. Por el contrario, el T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> exhibieron un aumento más moderado de MS, lo que puede reflejar un proceso más lento de estabilización. La variabilidad de MS entre tratamientos pone de relieve la importancia de balancear la proporción de residuos lignocelulósicos y humus para controlar la velocidad de secado y prevenir acumulación de material sin degradar. Para usos agronómicos y hortícolas, un compost con MS cercana al 45 % garantiza un producto menos propenso a fermentar en el suelo y con una mineralización gradual de nutrientes, mejorando la calidad de la enmienda sin causar efectos fitotóxicos por exceso de materia fresca.

El contenido de cenizas, indicador de la fracción mineral residual después de la combustión de materia orgánica, osciló entre 0,49 % y 10,84 %. Valores bajos de cenizas (<20 %) son típicos de compost bien descompuesto, reflejando una proporción moderada de minerales provenientes de la materia prima. En el T<sub>3</sub> del primer mes, el 10,84 % de cenizas sugiere una elevada presencia de componentes inorgánicos (arena, fragmentos de carbón vegetal), probablemente heredados de los residuos iniciales, lo que podría incrementar la densidad aparente del compost. El T<sub>2</sub> en el segundo mes alcanzó 9,5 %, mientras que el T<sub>1</sub> osciló en torno al 3 %, indicando una mayor pureza orgánica en este tratamiento. Una fracción de cenizas demasiado elevada puede provocar compactación y reducir la porosidad, limitando la aireación y aumentando el riesgo de anaerobiosis. Por el contrario, un porcentaje muy bajo

refleja un compost altamente orgánico, útil para suelos pobres en materia orgánica pero susceptible a degradación rápida y pérdida de estructura. Es recomendable homogeneizar las materias primas para ajustar las cenizas alrededor de 5–8 %, optimizando la relación orgánico-inorgánico y favoreciendo un compost estructuralmente estable y con buena capacidad de retención de agua y aireación.

El carbono orgánico en los compost alcanzó valores de 6,34 % a 8,99 %, ubicándose muy por encima del mínimo de 4 % que se considera alto en materia orgánica. Estos niveles garantizan un aporte sustancial de energía para la microbiota del suelo y la formación de agregados estables, mejorando la estructura y capacidad de retención de nutrientes en suelos degradados. El T<sub>3</sub> presentó el porcentaje más alto en el tercer mes (8,99 %), derivado de la acción sinérgica entre estiércol de cuy y microorganismos eficientes, lo que sugiere una mineralización óptima y formación de compuestos húmicos complejos. Los T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> se mantuvieron en torno al 6,5–8,2 %, lo cual indica una descomposición progresiva y retención de carbono en formas orgánicas estables. Para un compost de uso agronómico, un C% elevado promueve la actividad biológica y la formación de complejo arcillo-húmico, esencial para suelos tropicales lixiviados. Sin embargo, es crucial vigilar la relación C:N; dado que los N% son altos, el C:N probablemente sea bajo (<15), lo que facilita una rápida liberación de nitrógeno pero puede inducir desnitrificación si no se incorpora armoniosamente. Suele ser recomendable ajustar la materia prima con residuos leñosos o paja para elevar ligeramente el C:N y prolongar la liberación de nutrientes en el suelo.

Los valores de nitrógeno total oscilaron entre 0,56 % y 1,40 %, claramente en rango “alto” (>0,2 %). En el T<sub>2</sub> durante el segundo mes, el pico de 1,40 % refleja una fuerte presencia de materia nitrogenada proveniente del estiércol de cuy y la intensa actividad microbial, lo cual es beneficioso para cultivos exigentes en nitrógeno. Sin embargo, niveles tan elevados pueden incrementar pérdidas por volatilización de amoníaco o lixiviación de nitratos, especialmente en suelos francos y con alta precipitación. Los T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> mostraron valores más moderados (0,62–1,06 %), lo que sugiere una mineralización controlada y menor riesgo de pérdidas. El compost con N alto mejora la fertilidad inmediata del suelo, pero para asegurar un suministro sostenido es recomendable compost maduro con N total cercano a 1 %. Demasiado nitrógeno fresco puede inhibir germinación y dañar plántulas. Es sugerible implementar periodos de curado prolongados o mezclas con materiales carbonosos (paja, aserrín) para reducir un exceso de nitrógeno mineral disponible, equilibrando la relación C:N y promoviendo una liberación gradual del nutriente.

Los niveles de nitrógeno obtenidos en los tratamientos 2 (T<sub>2</sub>) y 3 (T<sub>3</sub>), con valores de 1,40% y 1,06% respectivamente, cumplieron con los estándares de calidad para compost establecidos por diversas normativas, incluyendo la Norma Chilena 2880 (2005), las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Norma Internacional USEPA de Estados Unidos (1994) y los parámetros de Bioagro (2011). En cambio, el tratamiento 1 (T<sub>1</sub>), con un nivel de nitrógeno de 0,67%, no alcanzó los estándares requeridos por la Norma Internacional USEPA de Estados Unidos (1994) y Bioagro (2011), cuyo rango de referencia es de 2,4% a 5,0% y 1,5% a 2,0%, respectivamente.

Las concentraciones de nitrógeno en los tratamientos variaron debido al uso de diferentes sustratos, como residuos orgánicos domésticos, estiércol de cuy y microorganismos eficientes. Los niveles encontrados en este estudio son similares a los reportados por Suaña (2013), quien observó un 0,257% en compost de lenteja de agua y un 0,217% en compost de residuos orgánicos. Sin embargo, otros estudios han reportado concentraciones más altas: Apaza (2013) encontró 2,69% y 2,57% en compost de subproductos de matadero; García (2017) encontró valores superiores al 0,5% en compost de aserrín y excrementos humanos; Soriano (2016) reportó concentraciones de 1,54% y 1,27% en compost de estiércol de vaca, residuos orgánicos y maleza; Céspedes (2005) encontró un 2,45% en compost de cama de animal, aserrín de pino, balicatrébol y cascarilla de rosa mosqueta; Rosal et al. (2007) registraron entre 2,6% y 2,9% en compost de fracción orgánica de residuos sólidos urbanos; Vásquez De Díaz et al. (2010) reportaron 2,06%-2,33% en compost de pulpa de café; Céspedes (2005) halló un 1,83% en compost de cama de animal y aserrín de pino; y Vicencio et al. (2011) registraron 2,06% en compost de lodos residuales de mataderos municipales.

Estos valores son menores que el 3,0-3,57% encontrado en compost de residuos agropecuarios (Puma, 2008) y el 3,0% en compost de sangre y estiércol de vacuno (Fleming y Macalpine, 2005).

Los contenidos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oscilaron entre 0,05 % y 3,35 %, equivalentes a 500–33 500 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El T<sub>2</sub> en el primer mes presentó 3,35 %, un nivel “alto” que asegura un aporte significativo de fósforo, elemento clave para el desarrollo radicular. Sin embargo, concentraciones tan elevadas pueden causar precipitaciones de fosfatos en suelos ácidos y lixiviarse en aguas superficiales, originando riesgos ambientales. Los T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> presentaron valores moderados (0,36–1,63 %), adecuados para la mayoría de cultivos sin superpoblación de P. La variabilidad sugiere la influencia de la materia prima; el estiércol de cuy incrementa marcadamente el P disponible. Para optimizar la eficiencia del fósforo, es recomendable

mezclar compostes con cal agrícola o glauconita para ajustar la solubilidad y prevenir bloqueos, además de dosificar la aplicación según análisis edáficos específicos. Un  $P_2O_5$  entre 1–2 % (10 000–20 000 ppm) es suficiente para mejorar el pool de fósforo sin causar excesos, garantizando disponibilidad gradual en sistemas de cultivo.

Según los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los niveles óptimos de fósforo en el compost deben estar entre 0,3% y 1,8%. Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que los tratamientos (1), (2) y (3) presentaron concentraciones de fósforo de 0,49%, 1,52% y 1,63%, respectivamente, lo que significa que cumplen con los parámetros establecidos por la OMS. No obstante, estos valores son inferiores a los requeridos por la Norma Técnica Colombiana 5167 y los estándares de Bioagro (2011).

Las concentraciones de fósforo obtenidas en este estudio fueron más bajas en comparación con otros estudios previos sobre compostaje. Por ejemplo, Puma (2008) encontró un 1,27% de fósforo en compost de residuos de granja, y Rosal et al. (2007) reportaron un 0,2% en compost de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Además, los niveles de fósforo en este estudio son significativamente inferiores a los reportados por CEE (2008) para compost de residuos de cocina (6,5%), Puma (2008) para compost de residuos de granja (2,4%) y Vicencio et al. (2011) para compost de lodo residual de matadero (2,06%). Sin embargo, los datos obtenidos son considerablemente más bajos que los reportados por Suaña (2013), quienes registraron un 36,89% de fósforo en compost de residuos orgánicos.

A pesar de ello, los resultados obtenidos, con concentraciones de fósforo de 0,49% y 1,63%, se encuentran dentro de los rangos aceptables para compost comercial, según Meléndez y Soto (2003).

El calcio en los compostes varió de 0,19 % a 1,71 %, con el T<sub>2</sub> en el tercer mes alcanzando el valor máximo. El Ca en compost aporta capacidad de neutralización de la acidez y mejora la estructura del suelo al favorecer la floculación de arcillas. El rango observado es moderado, pues un Ca % superior al 2 % se considera muy alto y puede inducir desequilibrios catiónicos. El T<sub>1</sub> en el segundo mes (0,50 %) y el T<sub>3</sub> en el primer mes (0,96 %) mostraron incrementos progresivos gracias a la mineralización de calizas presentes en la materia orgánica. Un Ca% cercano a 1 % en el compost es beneficioso para suelos tropicales ácidos, elevando el pH local y reduciendo saturación de aluminio. Es recomendable complementar los compostes con fuentes de calcio orgánico (cáscaras de huevo molidas) para

mantener Ca en rangos de 0,8–1,2 %, asegurando su efecto amortiguador sin generar antagonismos con magnesio o potasio.

Los valores de magnesio fluctuaron entre 0,12 % y 0,57 % con el T<sub>2</sub> en el tercer mes mostrando el nivel más alto (0,57 %). El magnesio es esencial para la síntesis de clorofila; niveles de Mg en compost superiores a 0,3 % aseguran un aporte adecuado a cultivos verdes. Los T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> presentaron valores de 0,12–0,40 % que, si bien son adecuados, podrían requerir suplementación en suelos muy lixiviados. El Mg% moderado reduce el riesgo de desequilibrios catiónicos y favorece la retención de nutrientes en el complejo de intercambio. Para optimizar la relación Ca:Mg, es sugerible que un compost con Mg alrededor de 0,4 %, logrando una proporción Ca:Mg de 3:1 a 5:1, ideal para la mayoría de plantas. La adición de dolomita en la fase de curado puede ajustar los niveles si es necesario.

El sodio en los compostes varió de 0,16 % a 0,43 %. Aunque el Na no es esencial para la mayoría de las plantas, en bajas concentraciones (<0,5 %) puede mejorar la actividad microbiana sin causar fitotoxicidad. El T<sub>3</sub> en el primer mes (0,33 %) y el tercer mes (0,43 %) presentaron los máximos, posiblemente por residuos de cenizas de biomasa rica en sodio. Compostes con Na <0,5 % son seguros; valores más altos podrían incrementar la saturación de sodio y afectar la estructura del suelo. Es sugerible monitorear la conductividad eléctrica al aplicar estos compostes y, de ser necesario, enjuagar el material con agua o mezclarlo con compost de baja salinidad para diluir el Na y evitar problemas de dispersión coloidal en suelos francos.

El potasio osciló entre 1,05 % y 2,73 %, niveles muy superiores al umbral de 0,1 % necesario para un compost rico en K. El T<sub>3</sub> en el tercer mes (2,73 %) y el T<sub>2</sub> en el tercer mes (2,63 %) exhibieron los mayores valores, reflejando la solubilización de K en la fase final de maduración. Un compost con K >1 % proporciona una liberación sostenida de este macronutriente, mejorando la resistencia de plantas al estrés y calidad de frutos. No obstante, potasio excesivo (>3 %) podría competir con calcio y magnesio en la absorción radicular. Para equilibrar, es recomendable mantener K entre 1,5 % y 2,5 % y realizar aplicaciones complementarias con yeso agrícola si se detecta antagonismo catiónico, asegurando una nutrición balanceada.

Los resultados obtenidos en este estudio fueron comparados con los estándares de calidad para compost establecidos por el Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcázar, 2004). La comparación mostró que el compost producido mediante el proceso de compostaje con microorganismos eficientes cumple con los requisitos para ser clasificado como compost de clase A.

Los niveles de potasio obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Suaña (2013) en compost elaborado con residuos orgánicos y lenteja de agua, cuyas concentraciones fueron de 0,57% y 0,61%, respectivamente. De manera similar, un estudio sobre compost de residuos orgánicos encontró que todos los tratamientos realizados presentaron niveles de potasio dentro del rango esperado para compost maduro, que varía entre 0,4% y 1,6% (Azurduy y Azer, 2010). Este hallazgo concuerda con los resultados obtenidos en este estudio y puede explicarse por el hecho de que, a diferencia del nitrógeno y el fósforo, el potasio se libera y se fija en la materia orgánica mediante procesos químicos, no biológicos. Por lo tanto, la adición de microorganismos eficientes no tiene el mismo impacto en el potasio que en el nitrógeno y el fósforo (Sanclemente y García, 2011).

Los niveles de hierro variaron drásticamente, desde 14 ppm en el T<sub>1</sub> para el primer mes hasta 2 053 ppm en el T<sub>1</sub> al segundo mes reflejando movilización e inhibición de óxidos férricos durante la descomposición. Un contenido del Fe en compost de 50–200 ppm es suficiente para prevenir clorosis en suelos calizos; sin embargo, exceder 1 000 ppm puede inducir toxicidad en especies sensibles. El pico en el T<sub>1</sub> del segundo mes sugiere condiciones anaeróbicas temporales que liberaron Fe<sup>2+</sup>. Para evitar fitotoxicidades, es recomendable un periodo de aireación prolongado y ajuste del pH en la fase final, pues un pH moderadamente ácido (6,0–6,5) estabiliza el Fe en formas menos solubles y seguras para las plantas.

El contenido de manganeso en los compostes osciló entre 25,32 ppm en el T<sub>1</sub> del primer mes y 202,74 ppm en el T<sub>2</sub> del primer mes, con valores intermedios de 89,00 ppm y 107,00 ppm en segundo mes y 95,35 ppm y 156,68 ppm en tercer mes para T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, respectivamente. Según criterios agronómicos, concentraciones de Mn en compost por debajo de 50 ppm se consideran moderadas, mientras que valores superiores a 100 ppm se acercan a umbrales de “muy alto”, con potencial riesgo fitotóxico en suelos acidificados o pobres en materia orgánica. En este estudio, el T<sub>2</sub> del primer mes y T<sub>2</sub> del tercer mes presentaron Mn elevado, probablemente debido al aporte directo del estiércol de muy rico en micronutrientes y a la acción de los microorganismos que favorecen la liberación de Mn de las fracciones orgánicas. La elevada variabilidad (CV>60 %) refleja diferencias en la mineralización del sustrato y la capacidad de quelación por la materia orgánica. Para suelos tropicales ácidos, donde el Mn soluble puede alcanzar formas tóxicas (Mn<sup>2+</sup>), un compost con Mn >150 ppm debe aplicarse con cautela, evitando acumulaciones en capas superficiales y combinando con enmiendas calcáreas que aumenten el pH y precipiten el Mn.

Es recomendable realizar un ajuste del pH del compost (objetivo: 6,0–6,5) antes de su aplicación, mediante la incorporación de cenizas de madera rica en calcio o dolomita, para reducir la solubilidad de Mn y prevenir toxicidad. Además, se sugiere mezclar los compostes con sustratos insolubles en Mn, como vermiculita o zeolita, en proporciones de 10–20 %, lo cual ayudaría a retener el Mn y liberar gradualmente el micronutriente, asegurando beneficios nutricionales sin efectos adversos. Este protocolo de estabilización permitirá aprovechar la alta disponibilidad de Mn en los compostes enriquecidos con estiércol de cuy, manteniendo un balance saludable de micronutrientes en suelos tropicales susceptibles a desequilibrios iónicos.

**Tabla 16.** Resultados del análisis físico y químico del abono orgánico – compost.

Mes	Trat.	Humedad (%)	MS (%)	Cenizas (%)	C (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
1	T <sub>1</sub>	62,07	37,93	2,96	6,65	0,67	0,05	0,19	0,12	0,16	1,05	14,29	25,32
1	T <sub>2</sub>	69,46	30,54	2,46	6,34	1,18	3,35	1,66	0,29	0,56	2,66	366,13	202,74
1	T <sub>3</sub>	55,17	44,83	10,84	6,65	1,06	1,49	0,96	0,18	0,33	1,55	30,77	99,56
2	T <sub>1</sub>	62,00	38,00	3,00	7,43	0,62	0,36	0,50	0,25	0,22	1,46	2053,00	89,00
2	T <sub>2</sub>	48,00	52,00	9,50	7,22	1,40	0,99	1,30	0,38	0,24	1,37	48,00	141,00
2	T <sub>3</sub>	51,50	48,50	6,50	7,30	0,95	0,92	1,14	0,35	0,27	1,42	41,00	107,00
3	T <sub>1</sub>	63,73	36,27	6,37	8,26	0,67	0,49	0,48	0,28	0,37	2,03	225,14	95,35
3	T <sub>2</sub>	59,61	40,39	0,49	8,18	0,78	1,52	1,71	0,57	0,21	2,63	775,82	156,68
3	T <sub>3</sub>	62,07	37,93	6,40	8,99	0,56	1,63	1,34	0,40	0,43	2,73	125,71	112,81

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

MS: Materia seca

### 4.3.2. Calidad del abono orgánico – compost en base al nivel de pH

Los perfiles de pH de los tres compostes exhiben una tendencia creciente a lo largo de los tres meses, con valores que oscilan entre 8,41 y 8,99. Según la Norma Chilena Oficial NCh2880.Of2004, únicamente T<sub>1</sub> en el primer mes (pH 8,41) se clasifica como Clase A ( $5,0 \leq \text{pH} \leq 8,5$ ), mientras que el resto de las mediciones —T<sub>1</sub> en el segundo y tercer mes (8,73 y 8,79), y todos los valores de T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> (8,87–8,99)— se ubican en Clase B (Tabla 17 y Figura 5). Este desplazamiento hacia pH elevados indica una fuerte alcalinización durante la maduración, probablemente asociada a la mineralización de cationes básicos y a la descomposición de materia orgánica con liberación de amonio y carbonatos. Desde el punto de vista agronómico, compostes en Clase B pueden provocar elevación temporal del pH del

suelo al aplicarse, reduciendo la disponibilidad de micronutrientes (Fe, Mn, Zn) y pudiendo inhibir la actividad de microorganismos sensibles a alcalinidad.

Es recomendable ajustar la formulación de los compostes incorporando materiales acidificantes —hojarasca de coníferas, poscafé u otros residuos con pH bajo— durante las fases de volteo inicial, así como emplear cepas microbianas productoras de ácidos orgánicos para contrarrestar la tendencia alcalina. Asimismo, se aconseja prolongar la etapa de maduración bajo condiciones controladas de humedad y oxigenación, monitoreando pH semanalmente para intervenir oportunamente. Con estas estrategias, se podría mantener el pH dentro de Clase A durante todo el proceso, optimizando la calidad del compost y asegurando su compatibilidad con una gama más amplia de suelos agrícolas.

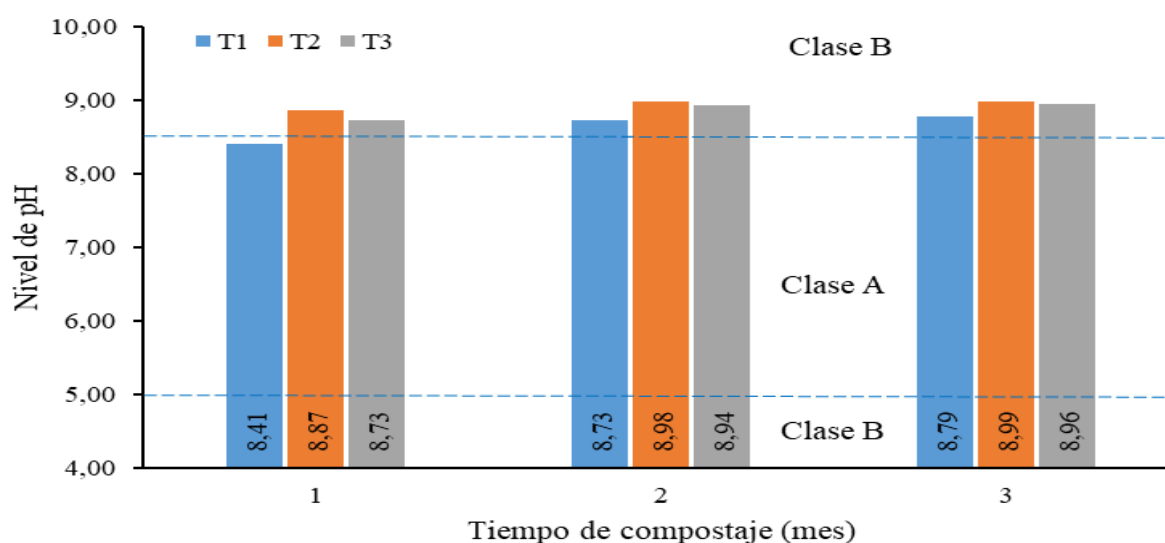
**Tabla 17.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al pH.

Tratamientos	Primer mes		Segundo mes		Tercer mes	
	pH	Clase	pH	Clase	pH	Clase
T <sub>1</sub>	8,41	A	8,73	B	8,79	B
T <sub>2</sub>	8,87	B	8,98	B	8,99	B
T <sub>3</sub>	8,73	B	8,94	B	8,96	B

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 5.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al pH.

Los resultados superaron el límite máximo que consideró la norma Norma chilena 2880, siendo este comportamiento similar a lo encontrado por Vargas (2017) que registró valores de  $8,85 \pm 0,05$  y  $8,95 \pm 0,15$  para periodos de cuatro a cinco meses de haberse iniciado el proceso de compostaje también al utilizar residuos sólidos orgánicos que recolectaron por parte de un municipio.

#### **4.3.3. Calidad del abono orgánico – compost en base a la materia orgánica**

Los perfiles de materia orgánica (MO) de los tres compostes evaluados muestran consistentemente valores muy superiores al umbral mínimo de la Norma Chilena NCh2880.Of2004 (20 %), ubicándose todos en Clase A en cada mes de control. En el primer mes, T<sub>1</sub> registró 34,98 % de MO, T<sub>2</sub> fue 28,08 % y T<sub>3</sub> es 33,99 %, lo cual refleja un alto contenido inicial de sustrato orgánico, clave para el desarrollo microbiano. Durante el segundo mes, el incremento más notable correspondió a T<sub>2</sub> (42,50 %), seguido de T<sub>3</sub> (42,00 %) y T<sub>1</sub> (35,00 %), evidenciando la eficiente transformación biológica del estiércol de cuy combinado con microorganismos en T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>. En el tercer mes, aunque se observa una ligera disminución en MO (29,90 % en T<sub>1</sub>, 39,90 % en T<sub>2</sub> y 31,53 % en T<sub>3</sub>), todos mantienen valores robustos dentro de Clase A, confirmando la estabilidad de la materia orgánica tras la fase de maduración. Estos valores se encuentran dentro de los estándares de calidad de compost establecidos por diversas normativas internacionales. Según la Norma Chilena 2880 de 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Norma Internacional USEPA de Estados Unidos (1994), y los parámetros de Bioagro (2011), los valores recomendados para la materia orgánica en compost deben estar entre el 15% y el 23%.

Desde una perspectiva aplicada, estos resultados demuestran que las formulaciones con mezcla de residuos domésticos y estiércol de cuy (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>) favorecen un enriquecimiento orgánico superior, mientras que el tratamiento con microorganismos eficientes puros (T<sub>1</sub>) mantiene una descomposición más moderada. Como aporte, se sugiere optimizar la relación C:N incorporando mayores proporciones de carbono lignocelulósico en T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> para prolongar la liberación de nutrientes y evitar picos de mineralización rápida. Adicionalmente, recomiendo monitorear la estabilidad de la MO mediante índices de humificación (índice de polifenoles y fulvos) para garantizar un compost más maduro y con mayor capacidad de formar complejos arcillo-húmicos, lo que incrementará su efectividad como enmienda y su durabilidad en suelos agrícolas.

Las concentraciones de materia orgánica variaron entre los tratamientos debido a la combinación de diferentes sustratos, lo cual coincide con el estudio de Naranjo

(2013), que reportó un compost de residuos orgánicos inoculado con microorganismos eficientes, con un contenido de 24,63%. En comparación, el estudio de Soriano (2016) sobre compost elaborado con estiércol de vaca y residuos orgánicos, al que se le añadió melaza, mostró valores de 39,56% y 35,23%, que son más altos que los establecidos por la Norma Chilena 2880. Por otro lado, Cabrera (2012), en su investigación sobre compost a partir de residuos orgánicos y Biospeed, reportó una materia orgánica del 26.80%, lo cual es aceptable según diversas normativas. Sin embargo, García (2017) observó que el compost hecho con aserrín y excrementos humanos, al emplear microorganismos eficientes, alcanzó valores mucho más altos (A=80,23%, B=76,57%, Control=80,57%) en comparación con los estudios mencionados. Según Núñez (1992), microorganismos como hongos, bacterias y ascomicetos, en condiciones controladas, pueden mejorar significativamente la calidad del suelo a través de la adición de materia orgánica.

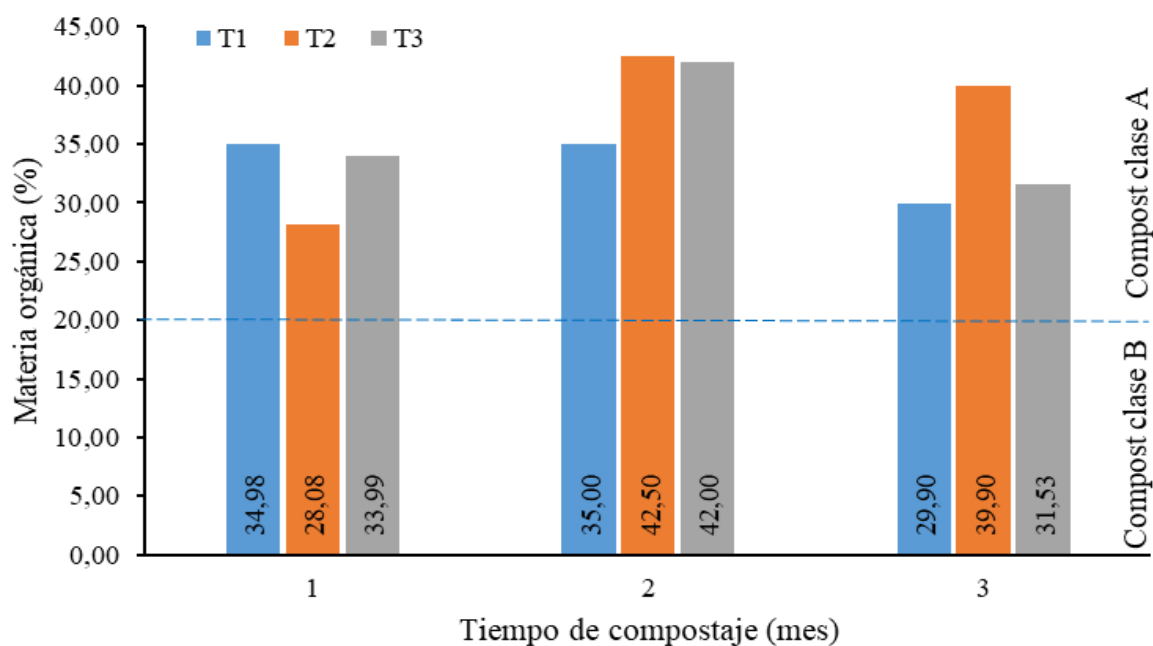
**Tabla 18.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la materia orgánica.

Tratamientos	Primer mes		Segundo mes		Tercer mes	
	MO (%)	Clase	MO (%)	Clase	MO (%)	Clase
T <sub>1</sub>	34,98	A	35,00	A	29,90	A
T <sub>2</sub>	28,08	A	42,50	A	39,90	A
T <sub>3</sub>	33,99	A	42,00	A	31,53	A

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 6.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la materia orgánica.

Además, el uso de fertilizantes orgánicos como vermicompost y compost ha demostrado beneficios notables en la calidad de los cultivos, en la producción de biomasa y en el rendimiento (Singh, 2010; Doan et al., 2015). También se ha observado una mejora en el crecimiento, floración y fructificación de las plantas (Peyvast et al., 2008; Ladanmoghadam et al., 2012), así como en la conservación, calidad y estructura del suelo (Crittenden et al., 2015; Khan et al., 2015). Esto se debe al aumento de materia orgánica, la disponibilidad de macro y micronutrientes (N, P, C, Mg, Si), la liberación de ácidos húmicos y la actividad biológica en la rizósfera, lo que tiene efectos positivos incluso a corto plazo en cultivos de ciclo breve (Singh et al., 2008; Amaya-Carpio et al., 2009; Cruz-Koizumi, 2015).

#### 4.3.4. Calidad del abono orgánico – compost en base a la conductividad eléctrica

Los perfiles de conductividad eléctrica (CE) de los tres compostes revelan una marcada dinámica de sales solubles a lo largo de la maduración. En el primer mes, T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> registraron valores claramente excedentes (16,88 y 8,01 dS/m), clasificados como “SVP” al sobrepasar el límite superior de la Norma Chilena (8 dS/m), mientras que T<sub>2</sub> se mantuvo dentro de Clase B (7,12 dS/m). Con el avance al segundo y tercer mes, T<sub>1</sub> descendió a 3,59 y 3,68 dS/m, T<sub>3</sub> a 6,89 y 6,99 dS/m, y T<sub>2</sub> se mantuvo en torno a 7,60–

7,69 dS/m, todos ellos en Clase B (**Tabla 19** y **Figura 7**). Estos datos indican que la liberación inicial de sales (probablemente por la mineralización de amonio, sulfatos y potasio) tiende a equilibrarse con las lixiviaciones y el consumo microbiano de sales, reduciendo la CE hacia niveles aceptables, aunque todavía altos.

**Tabla 19.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la conductividad eléctrica.

Tratamientos	Primer mes		Segundo mes		Tercer mes	
	CE (dS/m)	Clase	CE (dS/m)	Clase	CE (dS/m)	Clase
T <sub>1</sub>	16,88	SVP	3,59	B	3,68	B
T <sub>2</sub>	7,12	B	7,60	B	7,69	B
T <sub>3</sub>	8,01	SVP	6,89	B	6,99	B

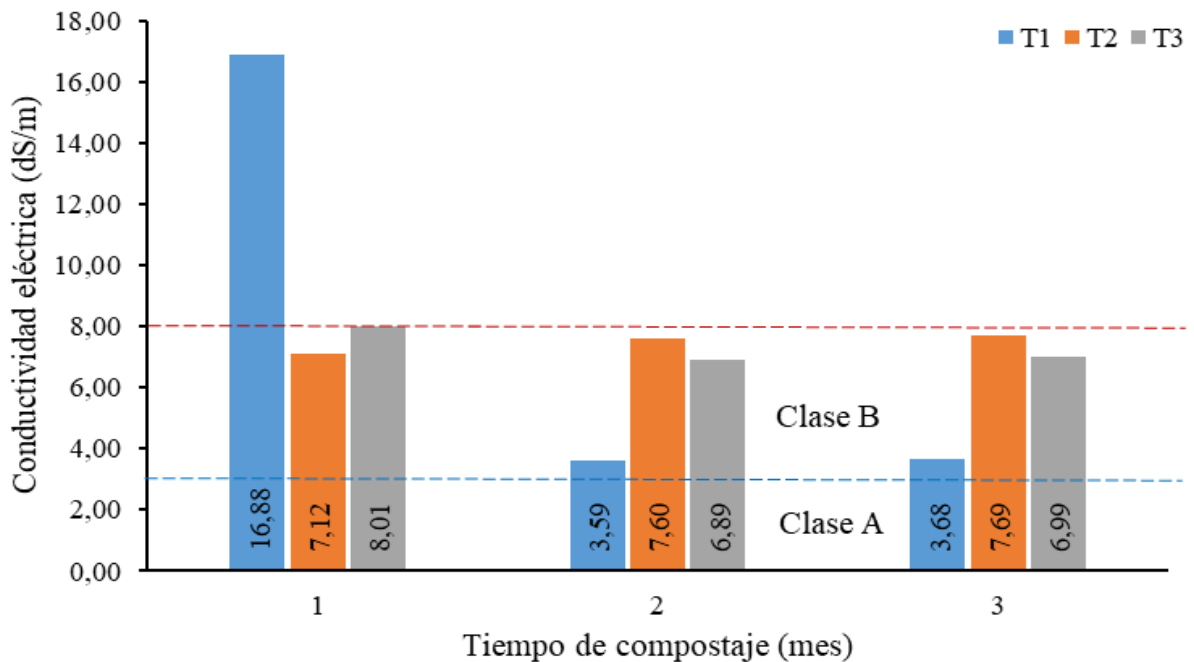
T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Fuente:** Elaboración propia.

Es crucial integrar prácticas que atenúen la acumulación salina en etapas tempranas de compostaje: incorporar materiales absorbentes (zeolita o arcillas coloidales), realizar volteos frecuentes con adición controlada de agua libre de sales para favorecer la lixiviación, y extender la maduración bajo condiciones de humedad óptima (50–60 %) para prolongar la mineralización sin concentrar sales. Asimismo, recomendaría mezclar estos compostes con enmiendas orgánicas de baja salinidad antes de su aplicación, ajustando dosis según la sensibilidad del cultivo destino. De este modo, se garantiza un producto final seguro para suelos sensibles, minimizando riesgos de estrés osmótico y asegurando un aporte balanceado de nutrientes.



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 7.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la conductividad eléctrica.

**Fuente:** Elaboración propia.

A excepción de la primera lectura del tratamiento 1, que fue muy elevado el valor de la conductividad eléctrica, los demás tratamientos y en los tres meses de evaluación de encontraban enmarcados en la Norma chilena 2880 para la clase B, estos resultados fueron similares a lo encontrado por Vargas (2017) en donde el compost municipal analizado fue categorizado por la clase B donde los promedios encontrados fueron de  $6,17 \pm 00$  dS/m tanto para un producto que tenía cuatro y cinco meses respectivamente, de haberse compostado.

#### 4.3.5. Calidad del abono orgánico – compost en base al zinc

Los perfiles de zinc en los compostes muestran fluctuaciones notables que responden a las diferentes formulaciones y etapas de maduración. En el primer mes, todos los tratamientos registraron concentraciones seguras (T<sub>1</sub>: 24,55 ppm; T<sub>2</sub>: 186,61 ppm; T<sub>3</sub>: 97,14 ppm), clasificadas en Clase A ( $\leq 200$  ppm). Al segundo mes, T<sub>1</sub> experimentó un pico a 237,00 ppm (Clase B), mientras que T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> se mantuvieron dentro de Clase A (133,00 ppm y 179,00 ppm, respectivamente). Para el tercer mes, T<sub>1</sub> descendió nuevamente a 188,92 ppm

(Clase A), pero T<sub>3</sub> alcanzó 213,40 ppm, entrando en Clase B, resultados muy por debajo respecto a lo encontrado por Vargas (2017) en donde a las muestras obtenidas de cuatro y cinco meses de compostaje clasificó al compost de residuos sólidos orgánicos municipales como de clase B por presentar promedios de 1 139,50 y 1 203,00 ppm respectivamente. Estos patrones sugieren que la mineralización del estiércol de cuy y la actividad microbiana de los tratamientos con microorganismos eficientes pueden liberar zinc de manera temporal, con picos que luego se amortiguan conforme avanza la madurez del compost.

Como aporte, es fundamental moderar la relación de insumos ricos en metales (especialmente en T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub>) para evitar concentraciones fitotóxicas. Recomiendo incorporar materiales quelantes orgánicos (por ejemplo, compost maduro con alta materia orgánica o biochar) durante la fase de curado para estabilizar el zinc liberado. Además, la implementación de volteos más frecuentes y el ajuste de la humedad pueden favorecer la precipitación de hidróxidos de zinc, reduciendo su solubilidad. Por último, propongo una mezcla de compostes con bajo y alto contenido de Zn para diluir concentraciones elevadas, asegurando un producto final equilibrado y apto para suelos sensibles a la contaminación por metales.

**Tabla 20.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al zinc.

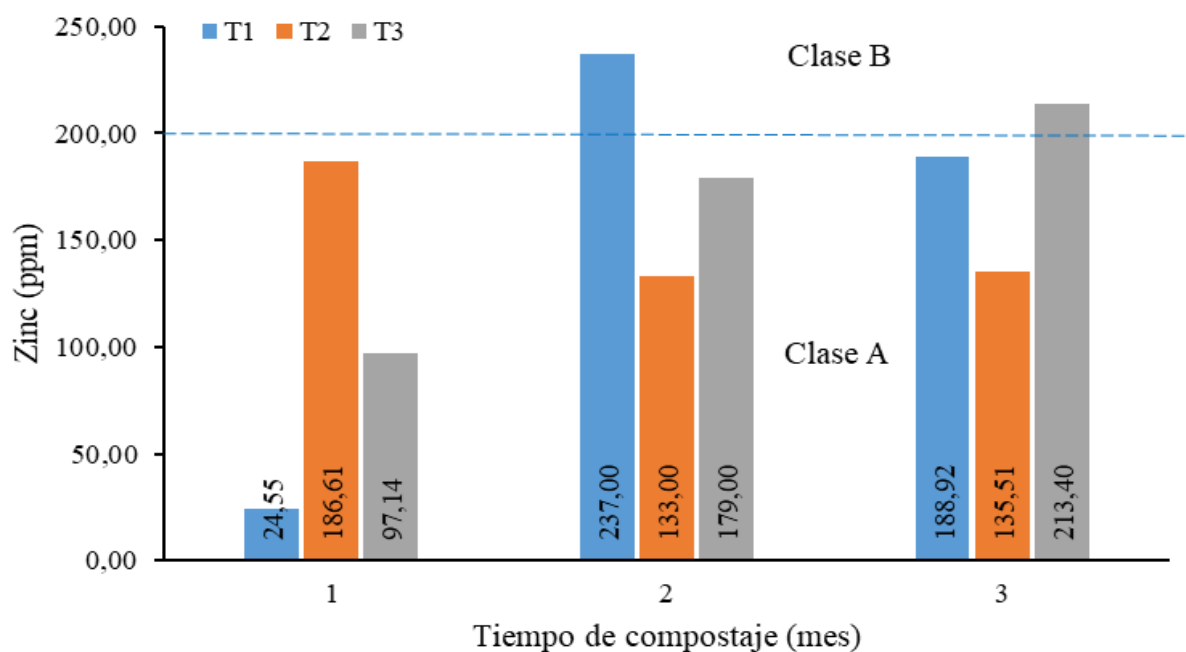
Tratamientos	Primer mes		Segundo mes		Tercer mes	
	Zn (ppm)	Clase	Zn (ppm)	Clase	Zn (ppm)	Clase
T <sub>1</sub>	24,55	A	237,00	B	188,92	A
T <sub>2</sub>	186,61	A	133,00	A	135,51	A
T <sub>3</sub>	97,14	A	179,00	A	213,40	B

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Fuente:** Elaboración propia.



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 8.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al zinc.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.6. Calidad del abono orgánico – compost en base al cobre

Los perfiles de cobre en los compostes evidencian dinámicas de liberación y estabilización asociadas a las distintas formulaciones y fases de maduración. En el primer mes, todos los tratamientos presentan concentraciones seguras (T<sub>1</sub>: 14,16 ppm; T<sub>2</sub>: 35,32 ppm; T<sub>3</sub>: 13,19 ppm), clasificadas en Clase A (Tabla 21 y Figura 9). Sin embargo, en el segundo mes, incrementos notables ubican a T<sub>1</sub> (453,00 ppm) y T<sub>2</sub> (186,00 ppm) en Clase B (101–1000 ppm), reflejando una liberación temporal de Cu probablemente derivada de la mineralización intensa de compuestos orgánicos o de trazas metálicas presentes en el estiércol de cuy. T<sub>3</sub> también pasa a Clase B (118,00 ppm), aunque con un valor más moderado, lo que sugiere que la combinación de microorganismos eficientes con estiércol modera el pico de Cu respecto al tratamiento puro de estiércol. En el tercer mes, solo T<sub>3</sub> retorna a Clase A (81,82 ppm), mientras que T<sub>1</sub> (331,08 ppm) y T<sub>2</sub> (195,12 ppm) permanecen en Clase B, lo que indica que los picos de cobre pueden persistir más allá de la fase activa de compostaje si no se aplican medidas de estabilización.

Según la NCh2880.Of2004, compostes de Clase B presentan riesgos potenciales de fitotoxicidad en suelos sensibles y deben aplicarse con precaución. Soliendo

realizar, recomendaciones de implementar una fase de curado prolongado con adiciones de agentes quelantes orgánicos (p.ej., compost maduro rico en lignina o biochar) que inmovilicen el Cu liberado y favorezcan su precipitación. Asimismo, se debe reducir progresivamente la proporción de estiércol de cuy en T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> o alternar lotes con diferentes niveles de Cu para diluir concentraciones elevadas. Por último, se debe emplear volteos frecuentes en combinación con humedad controlada para optimizar la lixiviación de sales metálicas y garantizar compostes finales dentro de Clase A, maximizando la seguridad y eficacia como enmienda orgánica.

**Tabla 21.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al cobre.

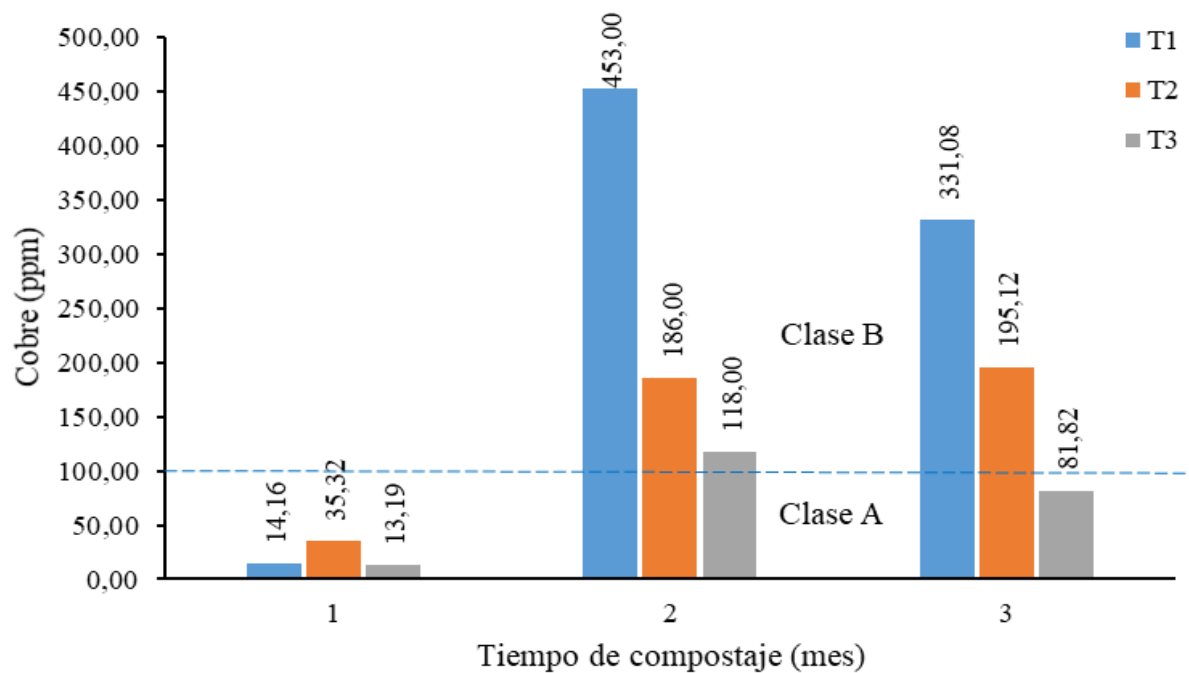
Tratamientos	Primer mes		Segundo mes		Tercer mes	
	Cu (ppm)	Clase	Cu (ppm)	Clase	Cu (ppm)	Clase
T <sub>1</sub>	14,16	A	453,00	B	331,08	B
T <sub>2</sub>	35,32	A	186,00	B	195,12	B
T <sub>3</sub>	13,19	A	118,00	B	81,82	A

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

Fuente: Elaboración propia.



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 9.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base al cobre.

#### 4.3.7. Calidad del abono orgánico – compost en base a la relación carbono/nitrógeno

Los tres compostes evaluados presentan relaciones C/N consistentemente bajas y estables, ubicándose en Clase A ( $\leq 25$ ) según la NCh2880.Of2004 (Tabla 22 y Figura 10). En el primer mes, el T<sub>1</sub> inicia con 9,87, el T<sub>2</sub> con 11,35 y el T<sub>3</sub> con 11,02, reflejando una materia orgánica rica en nitrógeno biodegradable y un proceso de descomposición muy activo. Hacia el tercer mes, los valores aumentan levemente (T<sub>1</sub>: 11,77; T<sub>2</sub>: 11,91; T<sub>3</sub>: 11,99), lo cual indica una maduración progresiva pero aún con predominio de nitrógeno mineralizable. Esta tendencia sugiere que la actividad microbiana continúa mineralizando la fracción carbonada, liberando nitrógeno en forma de amonio y nitrato, lo que incrementaría el riesgo de pérdidas por volatilización o lixiviación si no se maneja adecuadamente.

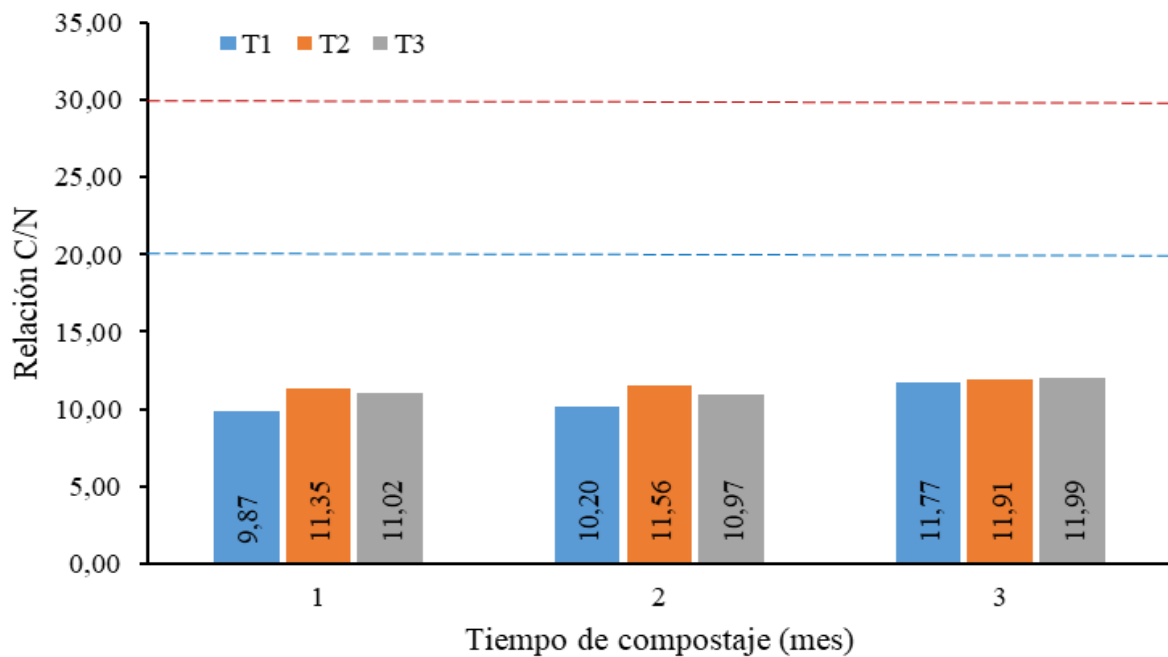
Pese a que todos los compostes cumplen la norma (Clase A), se recomienda ajustar la relación C/N hacia valores intermedios —idealmente 15–20— para optimizar la estabilidad y la liberación gradual de nutrientes. Para ello, se podría incorporar durante la fase inicial materiales lignocelulósicos de lenta descomposición (paja, aserrín) y prolongar el tiempo de curado, minimizando así los picos de nitrógeno disponible. Asimismo, un monitoreo más fino de amonio y nitratos en solución de extracción ayudaría a evaluar pérdidas y corridas de mineralización, garantizando un compost final que aporte nutrientes de manera sostenida y reduzca impactos ambientales en suelos agrícolas.

Al comparar los resultados obtenidos en el análisis con los estándares de calidad para compost establecidos por el Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcázar, 2004), se concluyó que el abono producido mediante el proceso de compostaje con microorganismos eficientes cumple con los requisitos establecidos para ser clasificado como compost de clase A.

**Tabla 22.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la relación carbono/nitrógeno.

Tratamientos	Primer mes		Segundo mes		Tercer mes	
	C/N	Clase	C/N	Clase	C/N	Clase
T <sub>1</sub>	9,87	A	10,20	A	11,77	A
T <sub>2</sub>	11,35	A	11,56	A	11,91	A
T <sub>3</sub>	11,02	A	10,97	A	11,99	A

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%). T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%). T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).



T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

**Figura 10.** Clasificación por clase del abono orgánico – compost en base a la relación carbono/nitrógeno.

**Fuente:** Elaboración propia.

Además, el estudio realizado por Guzmán et al. (2011) sobre el proceso de compostaje en la "Granja Modelo Pairumani" explora cómo diferentes mezclas de materiales, incluidos residuos orgánicos y agrícolas, influyen en la relación C/N y en el proceso de compostaje. Este trabajo también evalúa parámetros clave como la temperatura, humedad y pH, así como el impacto de los preparados biodinámicos en la optimización de la descomposición de la materia orgánica.

Por otro lado, el análisis de Castillo (2020) examina cómo los microorganismos eficaces (EM) afectan la descomposición de residuos orgánicos y la relación C/N en compost. Su investigación, que incluye experimentos con distintas proporciones de residuos de cocina, estiércol y restos de poda, muestra cómo estas combinaciones influyen en el tiempo de maduración del compost y en la calidad final del producto.

## V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de EM mejoró la granulometría del compost, lo que resultó en un porcentaje mayor de material que pasó por el tamiz en los tratamientos T<sub>1</sub> (80,37%), T<sub>2</sub> (73,49%) y T<sub>3</sub> (59,23%). Esto demuestra que los desechos orgánicos se descomponen de manera más eficiente y uniformemente.
2. Las temperaturas más altas en los tratamientos con EM durante el proceso de compostaje registrado a los tres días - T<sub>1</sub> de 45,00 °C, T<sub>2</sub> de 46,67 °C y T<sub>3</sub> de 47,33 °C - indican una mayor actividad microbiana y una fase termofílica más pronunciada, lo que es beneficioso para la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, las temperaturas se estabilizaron más rápidamente, lo que indica que la reducción de temperaturas es efectiva durante la fase de maduración del compost.
3. El pH del compost aumentó gradualmente a medida que avanzaba. Los valores finales estaban dentro del rango ideal para un compost maduro. Los niveles de pH alcanzados por los tratamientos con EM (T<sub>1</sub> con 8,61, T<sub>2</sub> con 8,67 y T<sub>3</sub> con 8,65) fueron favorables para la estabilidad del compost, lo que indica que los EM ayudaron a neutralizar la acidez inicial y promover una maduración adecuada del compost.
4. El compost obtenido en los tratamientos con EM cumplió con los parámetros de calidad establecidos por normas internacionales como la FAO, destacando en términos de contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. El compost obtenido fue de clase A en la mayoría de los indicadores. Esto indica que el uso de EM acelera el proceso de compostaje y mejora la calidad del abono final.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Investigaciones sobre concentraciones efectivas de microorganismos (ME): Realizar investigaciones sobre cómo diferentes concentraciones de microorganismos eficientes (ME) afectan la granulometría y otros parámetros fisicoquímicos del compost creado a partir de desechos sólidos orgánicos en el distrito de Rupa Rupa. El objetivo es ajustar las dosis de ME para aumentar la uniformidad y la eficiencia en la descomposición de desechos.
2. Instalación de sistemas para monitorear y controlar la temperatura: Crear sistemas automáticos de monitoreo y control de temperatura para el compostaje en Rupa Rupa. Estos sistemas, que podrían incluir sensores y ventilación controlada, ayudarán a mantener la temperatura dentro de los rangos ideales, asegurando una descomposición eficiente y evitando fluctuaciones térmicas que puedan afectar la calidad del compost.
3. Modificaciones regulares del pH: Durante el proceso de compostaje en Rupa Rupa, use agentes neutralizantes o alcalinizantes para implementar el protocolo de ajustes periódicos del pH. Mantener un pH adecuado es fundamental para aumentar la actividad microbiana y asegurar un compost de alta calidad.
4. Para optimizar la mezcla de desechos orgánicos: Investigar las proporciones ideales de diferentes tipos de desechos orgánicos, como estiércol y vegetales, para mejorar tanto la eficiencia del compostaje como la calidad del compostaje en el contexto de Rupa Rupa. Esta optimización puede aumentar la productividad del compost en la región.
5. Técnicas de preparación de residuos: Evaluar las técnicas de trituración previa y tamizado de los desechos sólidos orgánicos en Rupa Rupa antes del compostaje. Un pretratamiento adecuado puede resultar en un compost con una granulometría más uniforme, lo que mejora su uso como abono y su efectividad.
6. Análisis de contaminantes y nutrientes: Realizar un análisis completo del compost final producido en Rupa Rupa, evaluando tanto el contenido de nutrientes como la presencia de contaminantes potenciales, como metales pesados y patógenos. Estos análisis garantizarán que el compost cumpla con las normas de calidad y seguridad para su uso en la agricultura.
7. Estudios sobre los efectos ambientales: Investigar los beneficios y riesgos ambientales del uso de compost producido con EM en Rupa Rupa. Estos estudios deberían tener en

cuenta aspectos como la disminución de desechos sólidos y la mejora de la fertilidad del suelo local.

8. Crear iniciativas de compostaje comunitario: Utilizando EM, fomente la creación de programas de compostaje comunitario en Rupa Rupa. Estos programas deberían involucrar a la comunidad local en la recolección y compostaje de desechos orgánicos, así como en la educación sobre los beneficios del compostaje y en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

## VII. REFERENCIAS

- Álvarez, G. (1992). *Estudios de hongos patógenos. Manejo de plaga y enfermedades*. V. Salguero, R. Fisher y D. Dardón Editores.
- 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* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional CONTINENTAL. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Castillo\\_Huaman\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV_FIN_107_TE_Castillo_Huaman_2020.pdf)
- Córdova, L. (2016). *Propuesta de mejora del proceso de compostaje de los residuos orgánicos, generados en la actividad minera, empleando microorganismos eficientes*.
- Consejo Nacional del Ambiente [CONAM]. (2006). *Guía técnica para la formulación e implementación de planes de minimización y reaprovechamiento de residuos sólidos en el nivel municipal Perú - 2006*. <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-tecnica-formulacion-implementacion-planes-minimizacion>
- El Peruano. Decreto Legislativo No 1278 MINAM, El Peruano. (2017). Retrieved from <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4>
- Ferreira, M. G., Ferreira, S., Fátima, S. De, Pereira, P., Silva, C., Castro, D., & Oliveira, G. R. (2015). Reciclagem de resíduos orgânicos: a compostagem na produção de alimentos em escolas de medicilândia – amazônia brasileira organic waste recycling: Composting in food production in medicilândia schools. XV Safety, *Health and Environment World Congress*, 1(1), 274-278. <https://doi.org/10.14684/SHEWC.15.2015.274-278>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5ª ed.). McGraw-Hill.
- Higa, T. (2002). *Una revolución para salvar la tierra*. Emro Europe Branco. Tarragona. [www.tierra.org/articulos/art00906.html](http://www.tierra.org/articulos/art00906.html)
- Jacobo, S., Gonzales, F., Perez, E., y Rojas, R. (2013). *Fundamentos teóricos y metodológicos para la investigación científica en ciencias agrarias*.
- Lorang, A. G., Torrentó, M., y Huerta, O. (2005). *El mercado del compost en Cataluña, oferta y demanda*. <http://www20.gencat.cat/docs/arc/Home/Ambits>

- dactuacio/Recollidaselectiva/Residusmunicipals/Materia organica (FORM - FV) /Jornades, estudis i enllacos/mercat\_compost\_es.pdf
- Ludeña, M. (2019). Efecto de los microorganismos eficaces en la descomposición de los desechos sólidos orgánicos más estiércol de ganada vacuno en el distrito de José Gálvez. Cajamarca, Perú. 2019.
- Manual Agropecuario. (2002). *Tecnologías orgánicas de la granja experimental autosuficiente*.
- Melendrez, N., y Sánchez, J. (2019). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi*. Tarapoto, Perú. 90p.
- Munizaga, D. (2023). Producción de compost a partir de desechos sólidos orgánicos domésticos mediante el uso de microorganismos eficientes. Instituto de Investigación, Universidad Técnica de Manabí.
- NCh2880. (2020). *Compost, Clasificación y requisitos*. Instituto Nacional de Normalización. [https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh\\_2880\\_Compost\\_Clasificación.pdf](https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificación.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO.
- Pérez, J. (2020). *Evaluación de la calidad del compost y efecto de la implementación de microorganismo benéficos (Bio-Heral) en la producción de abono, a partir de los residuos orgánicos generados en la finca “Los Recuerdos” en la vereda Guaracura del municipio de San Luis de Palenque* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/37222/3/JAPEREZAG.pdf>.
- Pillco, K. (2020). *Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces*. Puno, Perú.
- Poccori, R. (2022). *Microorganismos eficaces, enriquecido con roca fosfórica en la calidad del compost de residuos sólidos orgánicos municipales, Chuquibambilla Grau* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1212/T\\_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1212/T_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Proexant (Promoción de exportaciones no tradicionales, Ec). (2002). *Elaboración, uso y manejo de los abonos orgánicos*. <http://www.proexant.org.cc/abonos.org>. C3alnicos
- Ramírez, R., y Restrepo, T. (2007). *Evaluación de la aplicación de abono tipo bocashi en las propiedades físicas de un suelo negro – lado del municipio de Marinilla, Antioquia*. Proexant.

- Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- Sztern, D., y Pravia, M. (2004). *Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos*. OPS y OMS. [https://www.ciama-mex.org/biblioteca/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=28](https://www.ciama-mex.org/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=28)
- Vademécum Agrícola. (2008). *Productos químicos agrícolas*. Edifarm. <https://catalogobiblioteca.puce.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=267567>
- 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>
- Zhou, X., Yang, J., Xu, S., Wang, J., Zhou, Q., Li, Y., & Tong, X. (2020). Rapid in-situ composting of household food waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 141, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.039>

## ANEXOS

## ANEXO A. Datos de evaluación

Tabla 23. Fluctuación de la temperatura en la elaboración de compost.

Tiempo (días)	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
	Media (°C)	DE	CV	Media (°C)	DE	CV	Media (°C)	DE	CV
0	32,33	0,58	1,79	33,00	1,00	3,03	33,67	0,58	1,71
3	45,00	0,00	0,00	46,67	0,58	1,24	47,33	0,58	1,22
6	40,00	0,00	0,00	41,33	2,08	5,04	42,00	1,73	4,12
9	37,33	0,58	1,55	37,67	1,53	4,06	37,13	1,86	5,00
12	33,67	1,53	4,54	33,67	2,08	6,18	33,67	1,53	4,54
15	30,33	0,58	1,90	31,33	0,58	1,84	31,00	1,00	3,23
18	28,67	0,58	2,01	28,67	0,58	2,01	29,00	1,00	3,45
21	29,23	0,68	2,33	28,53	0,06	0,20	28,77	0,25	0,87
24	29,00	0,87	2,99	29,03	0,55	1,90	28,80	0,53	1,84
27	29,43	1,50	5,11	28,33	1,15	4,08	28,17	0,29	1,02

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación expresado en porcentajes.

Tabla 24. Análisis de varianza para el factor temperatura durante el proceso de compostaje.

Tiempo (Días)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
0	Tratamientos	2,667	2	1,333	2,400	0,171 <sup>ns</sup>
	Error experimental	3,333	6	0,556		
	Total	6,000	8			
3	Tratamientos	8,667	2	4,333	19,500	0,002*
	Error experimental	1,333	6	0,222		
	Total	10,000	8			
6	Tratamientos	6,222	2	3,111	1,273	0,346 <sup>ns</sup>
	Error experimental	14,667	6	2,444		
	Total	20,889	8			
9	Tratamientos	0,436	2	0,218	0,107	0,900 <sup>ns</sup>
	Error experimental	12,240	6	2,040		
	Total	12,676	8			

12	Tratamientos	0,000	2	0,000	0,000	1,000 <sup>ns</sup>
	Error experimental	18,000	6	3,000		
	Total	18,000	8			
15	Tratamientos	1,556	2	0,778	1,400	0,317 <sup>ns</sup>
	Error experimental	3,333	6	0,556		
	Total	4,889	8			
18	Tratamientos	0,222	2	0,111	0,200	0,824 <sup>ns</sup>
	Error experimental	3,333	6	0,556		
	Total	3,556	8			
21	Tratamientos	0,762	2	0,381	2,157	0,197 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,060	6	0,177		
	Total	1,822	8			
24	Tratamientos	0,096	2	0,048	0,107	0,900 <sup>ns</sup>
	Error experimental	2,667	6	0,444		
	Total	2,762	8			
27	Tratamientos	2,842	2	1,421	1,159	0,375 <sup>ns</sup>
	Error experimental	7,360	6	1,227		
	Total	10,202	8			

\*: significativo; ns: no significativo.

**Tabla 25.** Resultados de análisis físico y químico

Mes	Trat.	Humedad (%)	MS (%)	Cenizas (%)	C (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
1	T <sub>1</sub>	62,07	37,93	2,96	6,65	0,67	0,05	0,19	0,12	0,16	1,05	14,29	25,32
1	T <sub>2</sub>	69,46	30,54	2,46	6,34	1,18	3,35	1,66	0,29	0,56	2,66	366,13	202,74
1	T <sub>3</sub>	55,17	44,83	10,84	6,65	1,06	1,49	0,96	0,18	0,33	1,55	30,77	99,56
2	T <sub>1</sub>	62,00	38,00	3,00	7,43	0,62	0,36	0,50	0,25	0,22	1,46	2053,00	89,00
2	T <sub>2</sub>	48,00	52,00	9,50	7,22	1,40	0,99	1,30	0,38	0,24	1,37	48,00	141,00
2	T <sub>3</sub>	51,50	48,50	6,50	7,30	0,95	0,92	1,14	0,35	0,27	1,42	41,00	107,00
3	T <sub>1</sub>	63,73	36,27	6,37	8,26	0,67	0,49	0,48	0,28	0,37	2,03	225,14	95,35
3	T <sub>2</sub>	59,61	40,39	0,49	8,18	0,78	1,52	1,71	0,57	0,21	2,63	775,82	156,68
3	T <sub>3</sub>	62,07	37,93	6,40	8,99	0,56	1,63	1,34	0,40	0,43	2,73	125,71	112,81

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%).

T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

MS: Materia seca

**Tabla 26.** Fluctuación del pH en la elaboración de compost usando residuos orgánicos.

Tiempo (días)	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
	Media	DE	CV (%)	Media	DE	CV (%)	Media	DE	CV (%)
0	2,00	0,18	8,85	2,12	0,24	11,48	2,15	0,31	14,26
3	2,77	0,60	21,52	3,12	0,68	21,64	3,94	0,74	18,77
6	4,52	0,26	5,70	4,88	0,78	15,87	5,14	0,19	3,61
9	6,03	0,46	7,62	6,26	0,49	7,76	6,28	0,64	10,13
12	6,91	0,65	9,44	7,10	0,52	7,30	7,31	0,46	6,23
15	7,97	0,12	1,53	7,87	0,44	5,65	7,83	0,57	7,30
18	8,54	0,16	1,88	8,67	0,13	1,55	8,65	0,20	2,28
21	8,49	0,24	2,78	8,54	0,08	0,91	8,50	0,06	0,65
24	8,54	0,38	4,42	8,40	0,17	1,97	8,41	0,06	0,66
27	8,61	0,23	2,68	8,40	0,11	1,31	8,33	0,06	0,73

T<sub>1</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (100%). T<sub>2</sub>: Residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%). T<sub>3</sub>: 200 ml de microorganismos eficientes en residuos orgánicos domésticos (50%) y estiércol de cuy (50%).

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

**Tabla 27.** Análisis de varianza del pH durante el proceso de compostaje.

Tiempo (Días)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
0	Tratamientos	0,038	2	0,019	0,313	0,743 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,368	6	0,061		
	Total	0,407	8			
3	Tratamientos	2,161	2	1,080	2,390	0,172 <sup>ns</sup>
	Error experimental	2,712	6	0,452		
	Total	4,873	8			
6	Tratamientos	0,582	2	0,291	1,243	0,353 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,404	6	0,234		
	Total	1,985	8			
9	Tratamientos	0,112	2	0,056	0,198	0,826 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,703	6	0,284		
	Total	1,816	8			
12	Tratamientos	0,240	2	0,120	0,399	0,687 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,803	6	0,301		
	Total	2,043	8			

15	Tratamientos	0,032	2	0,016	0,089	0,916 <sup>ns</sup>
	Error experimental	1,078	6	0,180		
	Total	1,110	8			
18	Tratamientos	0,029	2	0,014	0,521	0,619 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,166	6	0,028		
	Total	0,195	8			
21	Tratamientos	0,003	2	0,002	0,080	0,924 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,130	6	0,022		
	Total	0,133	8			
24	Tratamientos	0,034	2	0,017	0,294	0,756 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,346	6	0,058		
	Total	0,380	8			
27	Tratamientos	0,125	2	0,063	2,725	0,144 <sup>ns</sup>
	Error experimental	0,138	6	0,023		
	Total	0,263	8			

\*: significativo; ns: no significativo.

**ANEXO B. Panel fotográfico**

**Figura 11.** Recolección de los residuos orgánicos.



**Figura 12.** Elaboración y acondicionamiento de las estructuras para el compost.





**Figura 13.** Tamizado del compost en el laboratorio.



**Figura 14.** Embolsamiento del compost tamizado.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**      Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

 **ANÁLISIS ESPECIAL** 


**1. DATOS**


SOLICITANTE:	ALBERT IVAN DIONISIO ARMAS	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	12/02/2024
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE TRICIO DE ENSAYO:	12/02/2024
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	21/02/2024
SECTOR:	---	RECIBO O FACTURA:	36407
MUESTRA:	COMPOST	OBSERVACION:	---


**2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO**

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA							RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	PH	CE (mS/cm)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E266	T1	8.410	16.880	62.069	37.931	34.975	2.956	0.672	0.045	0.192	0.116	0.163	1.051	24.55	14.29	14.16	25.32
E267	T2	8.870	7.120	69.458	30.542	28.079	2.463	1.176	3.347	1.660	0.285	0.561	2.657	186.61	366.13	35.32	202.74
E268	T3	8.730	8.010	55.172	44.828	33.990	10.837	1.064	1.488	0.955	0.183	0.311	1.553	97.14	30.77	13.19	99.56

Los Resultados presentados son válidos unicamente 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

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



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María      analisisdesuelosunas@hotmail.com      CELULAR 944407531

**Figura 15.** Análisis especial abono orgánico – compost a un tiempo de un mes.



## ANÁLISIS ESPECIAL



### 1. DATOS

SOLICITANTE:	DIONISIO ARMAS ALBERT IVAN	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE:	12/03/2024
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE:	12/03/2024
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	25/03/224
LOCALIDAD:	TINGO MARIA	RECIBO O FACTURA:	38804
MUESTRA:	ABONO	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 (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E0406	T1	8.73	3590	62.00	38.00	35.00	3.00	0.62	0.355	0.500	0.253	0.221	1.463	237	2053	453	89
E0407	T2	8.98	7600	48.00	52.00	42.50	9.50	1.40	0.989	1.300	0.380	0.244	1.370	133	48	186	141
E0408	T3	8.94	6890	51.50	48.50	42.00	6.50	0.95	0.924	1.142	0.353	0.267	1.421	179	41	118	107

Los Resultados presentados son válidos unicamente 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

*Hugo Alfredo Huamani Yupanqui*  
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 16. Análisis especial abono orgánico – compost a un tiempo de dos meses.



# ANÁLISIS ESPECIAL

LASAE



## 1. DATOS

SOLICITANTE:	ALBERT IVAN DIONISIO ARMAS	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	10/04/2024
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	11/04/2024
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	2/05/2024
LOCALIDAD:	---	RECIBO O FACTURA:	42157
MUESTRA:	COMPOST	OBSERVACION:	---

## 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA								RESULTADOS EN BASE SECA							
Código	Dato	PH (1:2)	CE (uS/cm)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E24-014	T 1	8.79	3678	63.7255	36.2745	29.9020	6.3725	0.6720	0.4850	0.4784	0.2751	0.3730	2.0295	188.9189	225.1351	331.0811	95.3514
E24-015	T 2	8.99	7685	59.6059	40.3941	39.9015	0.4926	0.7840	1.5240	1.7085	0.5651	0.2073	2.6329	135.5122	775.8171	195.1220	156.677
E24-016	T 3	8.96	6994	62.0690	37.9310	31.5271	6.4039	0.5600	1.6332	1.3442	0.4026	0.4338	2.7330	213.4026	125.7143	81.8182	112.805

Los Resultados presentados son válidos unicamente 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 Maria

*[Firma]*

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



Figura 17. Análisis especial abono orgánico – compost a un tiempo de tres meses.