TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

## CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

# "EFECTO DEL PICADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES Y APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN LA MADUREZ DEL COMPOST EN EL CEPASC, CONCEPCIÓN – JUNÍN, 2023"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Alvaro Marcelo Garriazo Suni (0000-0001-8545-528X)

Jose Maria Melo Marmolejo (0000-0003-1014-6567)

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)

Lima – Perú

2026

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 12 de enero del 2026.

Los integrantes del Jurado de tesis:

| |
|---|
| Presidente: Dra. Llerme Navarro Vásquez |
| Miembro: Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil |
| Miembro: Mg. Wilbert Cruz Hilacondo |

Se reúnen para evaluar la tesis, con código de proyecto PRE-11-2022-00078, titulada :

**"EFECTO DEL PICADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES Y APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN LA MADUREZ DEL COMPOST EN EL CEPASC, CONCEPCIÓN – JUNÍN, 2023"**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Álvaro Marcelo Garriazo Suni**
- **José María Melo Marmolejo**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple ( ) calificar a:

| Tesista: Álvaro Marcelo Garriazo Suni & José María Melo Marmolejo | | | Nota (en letras): 14 (CATORCE) |
|---|---|---|---|
| Aprobado ( X ) | Aprobado - Muy buena ( ) | Aprobado - Sobresaliente ( ) | Desaprobado ( ) |

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

**Dra. Llerme Navarro Vásquez**
**Presidente**

**Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil**
**Miembro 1**

**Blgo. Wilbert Cruz Hilacondo**
**Miembro 2**

**Ing. Luis Abraham Gomero Osorio**
**Asesor**

## ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR**

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]**

Lima, __28__ de ____enero_____ del 2026__

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación**
**Universidad Científica del Sur**
**Presente. –**

De nuestra consideración,

Nosotros, **Alvaro Marcelo Garriazo Suni y José María Melo Marmolejo** bachilleres de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis **Luis Abraham Gomero Osorio**, declaramos que este informe final de tesis de investigación titulado: "EFECTO DEL PICADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES Y APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN LA MADUREZ DEL COMPOST EN EL CEPASC, CONCEPCIÓN – JUNÍN, 2023", sustentado para obtener el título de Ingeniero Ambiental es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



**Firma tesista**
**DNI: 71446046**



**Firma tesista**
**DNI: 74466123**



**Firma del asesor de tesis**
**DNI: 10681962**

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

**INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD**

**Título del documento evaluado.** Efecto del picado de residuos orgánicos municipales y aplicación de bacterias ácido lácticas en la madurez del compost en el CEPASC, Concepción – Junín, 2023

**Autores.** Alvaro Marcelo Garriazo Suni; Jose Maria Melo Marmolejo

**Mecanismo de revisión de originalidad.** Evaluación con Turnitin (ID 2865903955)

**Código de registro.** PRE-11-2022-00078

**Resultado de la evaluación.** 9%

**Revisado por.** Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

**Comentarios sobre la revisión.** Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Dedicatoria**

A la Virgen de la Inmaculada Concepción.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Agradecimientos**

A nuestros familiares y amigos que nos apoyaron en cada etapa de la investigación tanto con su soporte y sus ánimos para seguir continuando en el trabajo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## Índice general

Índice general ..... 4

I. Resumen ..... 8

II. Abstract ..... 9

III. Planteamiento del problema ..... 10

IV. Marco teórico ..... 12

V. Objetivos/hipótesis ..... 27

VI. Metodología ..... 28

VII. Resultados ..... 43

VIII. Discusión ..... 57

IX. Conclusión ..... 64

X. Recomendaciones ..... 66

XI. Referencias bibliográficas ..... 67

XII. Abreviaturas ..... 81

XIII. Anexos ..... 82

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## Índice de figuras

Figura 1. Fases del proceso de compostaje .....17
Figura 2. Diversos índices de madurez y estabilidad .....23
Figura 3. Recepción de residuos orgánicos .....29
Figura 4. Aplicación de bacterias ácido lácticas .....30
Figura 5. Volteo de pilas .....31
Figura 6. Recolección de muestras .....32
Figura 7. Método del cuarteo .....35
Figura 8. Relación C/N según tratamientos .....45
Figura 9. Porcentaje de K2O y P2O según tratamientos .....47
Figura 10. Porcentaje de MO según tratamientos .....49
Figura 11. Cantidad de coliformes totales según tratamientos .....51

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos en estudio .....34

Tabla 2. Parámetros de análisis del compost .....39

Tabla 3. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según los tratamientos .....43

Tabla 4. Evaluación de parámetros promedio por cada tratamiento .....54

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## Índice de anexos

Anexo 1. Aprobación del proyecto de tesis.....82

Anexo 2. Autorizaciones.....83

Anexo 3. Métodos del análisis de compost en laboratorio.....84

Anexo 4. Evidencia Fotográfica.....85

Anexo 5. Evolución de la temperatura según tratamientos.....86

Anexo 6. Evolución del pH según tratamientos.....87

Anexo 7. Análisis de normalidad.....88

Anexo 8. Análisis estadístico Kruskal Wallis.....90

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# I. Resumen

Este estudio evaluó el efecto de la inoculación con bacterias ácido lácticas (BAL) y el picado de residuos orgánicos municipales (ROM) en el proceso de compostaje realizado en el Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz, Concepción-Junín, 2023. La metodología implementó un diseño experimental con cinco tratamientos: T1 (testigo sin BAL ni picado), T2 (picado sin BAL), T3 (picado + 1000 ml BAL), T4 (picado + 2000 ml BAL) y T5 (picado + 3000 ml BAL). Se monitoreó variables como temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), relación carbono/nitrógeno (C/N), macronutrientes ($P_2O_5$, $K_2O$), materia orgánica (MO) y coliformes totales durante 13 semanas, utilizando análisis estadístico para determinar diferencias significativas. Los resultados demostraron que la dosis de 2000 ml de BAL (T4) fue la más efectiva, registrando las temperaturas más altas (43.3°C) y un pH final de 8.08, acelerando significativamente la descomposición. Los tratamientos con BAL mostraron mayores valores de CE hasta 4.47 dS/m en T5, contenido de $K_2O$ (0.57%) y MO (29.26%), aunque superaron ligeramente los límites de salinidad de la normativa peruana. El picado por sí solo no mostró diferencias significativas, pero potenció el efecto de las BAL. La relación C/N final (17.60-19.19) indicó madurez en todos los tratamientos, con valores inferiores a los estándares. Los coliformes totales aumentaron con la dosis de BAL (40 UFC/g en T5), pero en concentraciones bajas que no representan riesgo sanitario. Se concluye que el picado y la inoculación con BAL, particularmente a 2000 ml, optimiza el proceso de compostaje al acelerar la descomposición y mejorar la calidad nutricional del compost, aunque incrementa ligeramente la salinidad.

Palabras clave: Compostaje, descomposición, parámetro, pila, dosis

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## II. Abstract

This study evaluated the effect of inoculation with lactic acid bacteria (LAB) and chopping of municipal organic waste (MOR) on the composting process carried out at the Santa Cruz Environmental Protection Ecotourism Center, Concepción-Junín, 2023. The methodology implemented an experimental design with five treatments: T1 (control without LAB or chopping), T2 (chopped without LAB), T3 (chopped + 1000 ml LAB), T4 (chopped + 2000 ml LAB), and T5 (chopped + 3000 ml LAB). Variables such as temperature, pH, electrical conductivity (EC), carbon/nitrogen ratio (C/N), macronutrients ($P_2O_5$, $K_2O$), organic matter (OM), and total coliforms were monitored for 13 weeks, using statistical analysis to determine significant differences. The results demonstrated that the 2000 ml LAB dose (T4) was the most effective, recording the highest temperatures (43.3°C) and a final pH of 8.08, significantly accelerating decomposition. The LAB treatments showed higher EC values up to 4.47 dS/m in T5, $K_2O$ content (0.57%) and OM (29.26%), although they slightly exceeded the salinity limits of the Peruvian regulations. Chopping alone did not show significant differences, but it potentiated the effect of the LAB. Total coliforms increased with the LAB dose (40 CFU/g in T5), but at low concentrations that do not pose a health risk. It is concluded that chopping and inoculation with LAB, particularly at 2000 ml, optimizes the composting process by accelerating decomposition and improving the nutritional quality of the compost, although it slightly increases salinity.

Keywords: Composting, decomposition, parameters, pile, dose

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# III. Planteamiento del problema

## 3. Descripción del problema

A nivel mundial, la gestión de residuos orgánicos representa uno de los mayores desafíos ambientales del siglo (Juanga et al., 2024). Se estima para el año 2030 se generarán alrededor de 2 mil millones de toneladas de residuos sólidos urbanos a nivel mundial (Waste Atlas, 2018), donde más del 50% corresponde a materia orgánica (Ram & Kumar, 2021), por lo que su inadecuado procesamiento contribuye a las emisiones de efecto invernadero, siendo el metano uno de los principales gases que agravan el cambio climático (Rama et al., 2021). Esta problemática es particularmente crítica en países en vías de desarrollo, donde los sistemas de gestión de residuos son deficientes (Vinti & Vaccari, 2022).

En el Perú, la gestión inadecuada de los residuos orgánicos municipales representa un desafío ambiental, reportes del 2020 estimaron que el 55.7% de los desechos sólidos urbanos generados son de origen orgánico (ComexPerú, 2022); su disposición final no son los óptimos, almacenándose en botaderos y rellenos sanitarios, generando emisiones de gases de efecto invernadero, lixiviados y proliferación de patógenos, impactando sobre la salud pública y el ecosistema (Diaz, 2022; Valeriano, 2024). Cristóbal et al. (2022) realizó estimaciones en el periodo 2019-2028 una proyección de las emisiones de GEI en 24 botaderos de cielo abierto del Perú, en alrededor de 4.4 Mt $CO_2$ eq.

El compostaje surge como una alternativa sostenible, pero su implementación a escala local enfrenta limitaciones técnicas, como tiempos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

prolongados de maduración y calidad variable del compost (Roy et al., 2021), lo que reduce su adopción en comunidades rurales y urbanas.

En la región de Junín, en el Centro Ecoturístico de Protección Ambiental de Santa Cruz, existe un limitado el conocimiento para optimizar el compostaje como la aplicación de microorganismos (ROM) lo que dificulta el manejo integral de residuos. Actualmente, los procesos se realizan de manera empírica, sin control de variables clave como el tamaño de partícula (picado) o el uso de inoculantes microbianos (Liberato, 2020). Esto deriva en productos finales con alta carga patógena (coliformes) o desbalance nutricional (relación C/N inestable), limitando su uso seguro en agricultura o regeneración de suelos (Aguilar et al., 2023; Avilara, 2020). Aunque investigaciones recientes confirman que la trituración optimiza la oxigenación (Dubey et al., 2025) y que las bacterias acido lácticos (BAL) contribuyen con el control de lo patógenos y estabilizan la materia orgánica (Raman et al., 2022), la interacción de ambos métodos en ecosistemas altoandinos no ha sido suficiente explorada. Por tanto, resulta necesario generar evidencia sobre las dosis optimas y el impacto real de estas tecnologías para acelerar la madurez y mejorar la calidad del compost bajo el clima frio y altitud de la sierra peruana.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# IV. Marco teórico

## 4. Antecedentes

### 4.1. Antecedentes de la investigación

Álvarez y Sánchez (2021) evaluaron cómo diferentes sustancias azucaradas influyen en la velocidad de descomposición y calidad nutricional del compost. Los investigadores establecieron un experimento donde combinaron azúcar, melaza y jugo de caña de azúcar con un sustrato orgánico compuesto por una mezcla específica de materiales: 30% de estiércol bovino, 50% de residuos de maíz, 10% de restos de leguminosas, 9% de tierra y 1% de ceniza. Siguiendo un diseño completamente aleatorizado, prepararon 16 unidades experimentales incluyendo un testigo sin aditivos azucarados. Cada tratamiento requirió 45.43 kg de sustrato que fue monitoreado regularmente mediante riegos semanales con 27 litros de agua (60% del peso base) y volteos para mantener condiciones óptimas. Los resultados revelaron que la melaza destacó significativamente al reducir el tiempo de descomposición en 6 días (9.68%) comparado con el testigo que maduró en 62 días. Este mismo tratamiento registró la mayor disminución de temperatura (8.7°C) y la mayor pérdida de peso durante el proceso (10.8 kg). Aunque el contenido de humedad varió entre 56.5% y 59.0% entre tratamientos, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. El análisis nutricional mostró que el compost con melaza presentó la mayor concentración de nutrientes, aunque no se identificaron cambios significativos en el pH ni en el contenido específico de elementos como B, Ca, Cu, K, Mg, N, P, S y Zn. Los investigadores concluyeron que la adición de melaza al sustrato orgánico representa una estrategia efectiva para

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

acelerar el proceso de compostaje y obtener un producto final de mayor valor agronómico

Según un estudio realizado por Paredes y Dueñas (2021), evaluaron cómo los microorganismos eficientes (ME) afectan la descomposición de distintos residuos de palma africana para crear compost. Para ello de implementaron seis tratamientos diferentes utilizando raquis, fibra y lodo, con y sin microorganismos eficientes, en un diseño aleatorio con tres repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental consistió en camas de 1×1.5 metros con 35 cm de altura, conteniendo 45 kg de biomasa; y se aplicaron
0.6 litros de ME (bacterias acidolácticas, fototróficas y levaduras, todas en concentraciones de $10^3$ UFC) en los tratamientos correspondientes. Durante las seis semanas de experimentación, se mantuvo una humedad constante del 55% y se monitorearon variables como pH y temperatura. Los análisis mostraron que los valores de pH fluctuaron entre 6.33 y 5.33 durante la primera semana (p=0,25) y entre 6.33 y 4.67 en la segunda semana (p=0.22), sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. El hallazgo principal fue que el compost elaborado con lodo tratado con microorganismos eficientes presentó las concentraciones nutricionales más elevadas, evidenciando que las bacterias juegan un papel crucial en la descomposición, facilitando una alta tasa de degradación orgánica durante el proceso de compostaje.

En un estudio similar desarrollado por Ludeña (2019) investigó la efectividad de los microorganismos eficaces para acelerar la descomposición de residuos orgánicos combinados con estiércol bovino en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de José Gálvez, Celendín. La metodología implementada

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

consistió en un diseño experimental de bloques completamente al azar, empleando cuatro tratamientos diferentes con sus respectivas dosificaciones de microorganismos, cada uno con cuatro repeticiones para garantizar la validez estadística. Los resultados revelaron diferencias significativas en los tiempos de descomposición: mientras el tratamiento control (T1) requirió 135 días para completar el proceso, los tratamientos con microorganismos eficaces mostraron una reducción sustancial del tiempo necesario para obtener compost de calidad. Específicamente, el tratamiento T2 completó el proceso en 80 días, el T3 en 70 días, y el T4 logró la transformación más rápida en apenas 60 días, representando una reducción del 55.6% en el tiempo de compostaje comparado con el método tradicional. El análisis estadístico arrojó un coeficiente de variación de 8.20, valor considerablemente inferior al umbral de 20, lo que confirma una alta homogeneidad en los resultados obtenidos. Estos hallazgos demuestran que el uso de microorganismos eficaces influye en la velocidad de descomposición de la materia orgánica y estiércol vacuno, ofreciendo una alternativa viable para optimizar el procedimiento de tratamiento de residuos orgánicos municipales, mejorando la eficiencia operativa de las plantas de tratamiento y contribuyendo a la gestión sostenible de los desechos en entornos urbanos.

Moncayo (2021) evaluó la calidad de compost elaborado mediante residuos orgánicos domiciliarios con aplicación de microorganismos benéficos. El proceso de compostaje se desarrolló por un periodo de 17 semanas, los residuos recolectados se ubicaron en cajas de compostaje y se les aplicaron microorganismos de plátano diluidos al 5%. Dos tratamientos fueron establecidos T1 con microorganismos y T2 el tratamiento testigo, al evaluar la temperatura,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

pH y humedad no se hallaron diferencias significativas; sin embargo, el tratamiento con microorganismos presenta una mayor cantidad de nutrientes entre los cuales destacan el nitrógeno, fósforo, potasio y el magnesio. Asimismo, el compost obtenido de este tratamiento presentó un color negro y una mayor concentración de microorganismos. Concluyendo que la incorporación de microorganismos benéficos en el proceso de compostaje constituye una alternativa eficaz para obtener un compost de mayor calidad, caracterizado por una elevada carga microbiana y un mayor contenido de nutrientes, lo que permite optimizar el aprovechamiento de los residuos orgánicos y contribuir significativamente a la reducción del impacto ambiental.

Por otro lado, Sanchez (2024) buscó determinar qué tan efectivas son las bacterias ácido lácticas (BAL) para agilizar el proceso de descomposición de los desechos orgánicos domésticos y así producir compost de calidad en menos tiempo. Para lograr este objetivo, se implementó un diseño experimental donde se compararon tres concentraciones diferentes de estas bacterias: 10%, 15% y 20%, aplicadas a tres camas distintas de residuos durante un período de dos meses. Los hallazgos fueron, con la dosis más baja (10%), el pH del material evolucionó de un estado muy ácido (2.94) hasta alcanzar un nivel más equilibrado (6.05), mientras la conductividad eléctrica se redujo significativamente de 102.13 a 14.52, y el contenido de hierro se cuadruplicó, pasando de 202.85 a 805.41. En el tratamiento intermedio (15%), el pH aumentó de 3.55 a 5.48, con una reducción similar en la conductividad. Sin embargo, los resultados más prometedores se observaron con la concentración del 20%, donde el pH alcanzó un valor casi neutro de 6.77 partiendo de 4.42, la conductividad eléctrica disminuyó de 106.16 a 16.55, y el hierro aumentó notablemente de 355.72 a 910.65. Estos datos confirman que las tres

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

concentraciones de BAL son efectivas para acelerar la descomposición, permitiendo obtener compost en apenas dos meses, aunque la dosis del 20% mostró los cambios más favorables en los parámetros analizados, representando la alternativa que presenta mejores resultados en el tratamiento de residuos orgánicos domésticos.

Finalmente, Caruajulca *et al.* (2022) evaluaron las características físicas y químicas del compost elaborado a partir de desechos orgánicos recolectados en el mercado mayorista de Chota, Cajamarca. Para lograr este objetivo, se implementó una metodología descriptiva cuantitativa donde se recolectaron aproximadamente 500 kg de residuos de frutas y verduras que fueron procesados adecuadamente, picándolos en tamaños de 3 a 5 cm para acelerar su descomposición. Se diseñaron cuatro tipos diferentes de compost: el tipo 1 con 80 kg de residuos de verduras y 6 kg de hojas de maíz; el tipo 2 combinando 80 kg de residuos frutales con 6 kg de hojas de maíz; el tipo 3 mezclando 80 kg de residuos tanto de frutas como de verduras con 6 kg de hojas de maíz; y el tipo 4 que utilizó exclusivamente 15 kg de residuos de cosecha y 60 kg de tierra. Durante los 90 días que duró el proceso, se monitorearon constantemente parámetros como temperatura, pH y humedad. Los resultados mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas al quinto día fueron de 34.2°C, 33.1°C, 35.2°C y 31.6°C para los compost C0, C1, C2 y C3 respectivamente. El pH inicialmente ácido (5.0-5.7) evolucionó hasta estabilizarse en un rango neutro (6.9-7.3) después de los primeros 15 días. La investigación concluyó que todos los tipos de compost cumplieron con los estándares de calidad clase A según la Norma Chilena 2880, destacándose particularmente el compost C2 (elaborado con residuos de frutas) por presentar los valores más elevados de pH, materia orgánica, fósforo, potasio, carbono y nitrógeno.

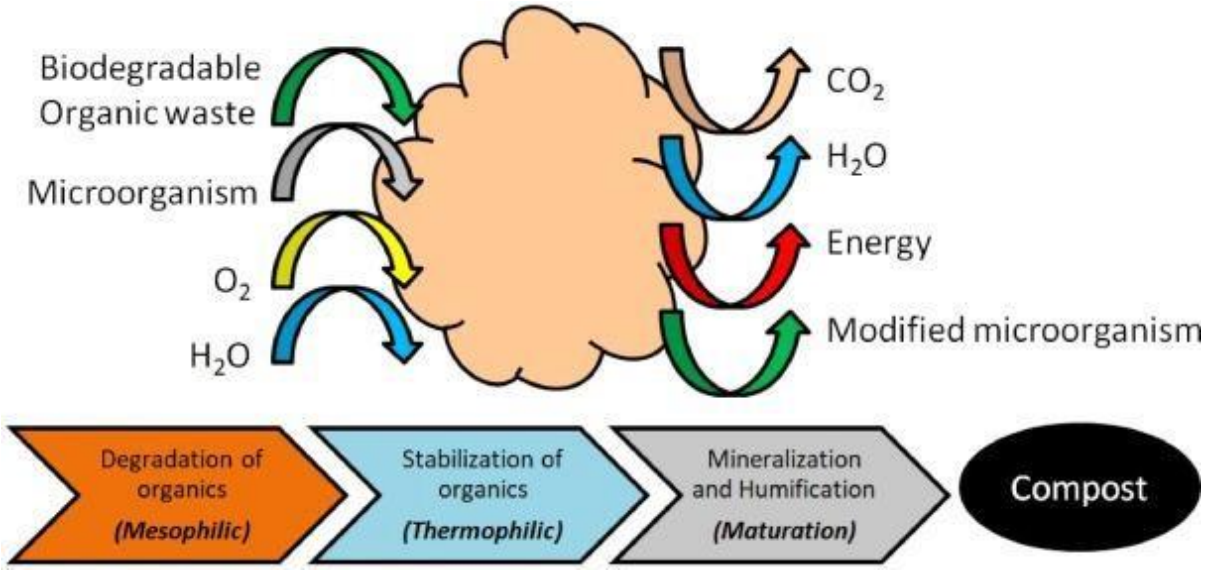
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

### 4.2. Compost

Se trata de un abono orgánico producido mediante un proceso biológico desarrollado en condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de oxígeno. En este proceso, la materia vegetal y/o los residuos fecales de origen animal, bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, son descompuestos por la acción de diversos microorganismos, los cuales transforman los restos orgánicos en un material homogéneo y fácilmente asimilable por las plantas. El compostaje es un proceso importante puesto que brinda beneficios en diversos aspectos tales como la reducción de la contaminación, reutilización de residuos orgánicos, e insumos de producción agrícola y aporte nutritivo al suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2021). Si bien es cierto el abono orgánico no posee gran cantidad de nutrientes, es recomendable ya que permite a la planta captar mejor los nutrientes del suelo y con ello mejorar el crecimiento de nuestros cultivos (Asociación Catalana de Ingeniería Sin Fronteras, 2018).

**Figura 1.**

*Fases del proceso de compostaje*




Fuente: Ji *et al.* (2023)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

El compostaje es un proceso que consiste en la mezcla y descomposición de materia orgánica bajo condiciones aeróbicas, cuyo producto final se utiliza para aportar nutrientes y mejorar la estructura del suelo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013). El emplear un material que no haya finalizado de manera correcta el proceso de compostaje puede generar riesgos como (Castillo, 2020):

- **Fitotoxicidad:** Cuando el proceso de compostaje no se completa de manera adecuada, el nitrógeno permanece predominantemente en forma de amonio, en lugar de transformarse en nitrato. El amonio bajo ciertas condiciones de humedad y calor se transforma en amoniaco, generando así un medio tóxico para el crecimiento de la planta y provocando malos olores. De igual forma, un material de compostaje incompleto posee compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan ser nocivos para las plantas y semillas (Román et al., 2013).

- **Bloqueo biológico del nitrógeno:** Ocurre cuando los materiales no llegan a una relación equilibrada de Carbono: Nitrógeno. Al incorporarse al suelo, los microorganismos utilizan el carbono presente en el material, lo que incrementa rápidamente la demanda de nitrógeno y provoca el agotamiento de las reservas disponibles de este nutriente en el suelo (Román et al., 2013).

- **Reducción de oxígeno radicular:** Al aplicarse al suelo un material que aún se está descomponiendo, los microorganismos emplearán el oxígeno del suelo para seguir con el proceso, agotándolo y con ello provocando la no disponibilidad de este para las plantas (Román et al., 2013).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- **Exceso de nitratos y amonio en las plantas y contaminación de fuentes de agua**: Un material con excesiva cantidad de nitrógeno en forma de amonio, suele perderlo a través de volatilización o infiltración en el suelo, contribuyendo así a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. De igual forma, puede ser extraído por las plantas, provocando en estas una acumulación de nitratos excesiva, acarreando así negativas consecuencias sobre el fruto en términos de calidad y salud humana (Román et al., 2013).

**a. Calidad del compost**

La calidad del compost está definida por la suma de las diversas características y propiedades que esta presenta (Castillo, 2020). Entre los más críticos destacan:

**Relación Carbono/Nitrógeno (C/N):** Este índice representa el equilibrio entre materiales ricos en carbono (celulosa, lignina) y nitrógeno (proteínas, aminoácidos), condicionando tanto la intensidad térmica del proceso como la formación de humus. (Cao *et al.*, 2020). Un C/N inicial óptimo, generalmente entre 25 y 30, estimula la síntesis de enzimas lignocelulolíticas, manganeso peroxidasa, lignina peroxidasa, polifenol oxidasa y peroxidasa, que maximizan la degradación de la lignocelulosa y aceleran la maduración del compost (Yang *et al.,* 2021). No obstante, dado que la fracción total de C y N puede incluir compuestos poco biodegradables, se ha propuesto complementar o sustituir la medición del C/N total por relaciones entre carbono orgánico total (TOC) y nitrógeno fácilmente soluble (WEN), recomendando un TOC/WEN entre 40 y 80 para asegurar un arranque térmico eficiente y un producto de alta calidad (Pezzolla *et al.*, 2021).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**pH:** Es un indicador clave de la actividad microbiana y la evolución del proceso (Ge *et al.*, 2022). Durante el proceso de compostaje, el pH puede variar entre 5.0 y 9.0, dependiendo de la composición inicial de los materiales y la etapa del proceso; no obstante, pH superiores a 8.5 o inferiores a 6.0 disminuyen la eficiencia biológica al inhibir bacterias termófilas clave en la degradación de lignina, afectando negativamente la madurez del compost, por ejemplo, una mezcla con pH promedio de 8.5 presentó una conductividad eléctrica elevada (4.2 dS/m) y un índice de germinación (GI) reducido al 78%, mientras que una mezcla con pH cercano a la neutralidad (7.2) mostró un GI óptimo del 92% y mayor contenido de materia orgánica (55.2%) (Peña *et al.*, 2020). Complementariamente, estudios indican que el rango óptimo de pH para el desarrollo microbiano y la solubilidad de micronutrientes como hierro y zinc se encuentra entre 6.5 y 8.5, favoreciendo la maduración y estabilidad del compost; pues, ajustar el pH inicial a 8.5 junto con una humedad del 60% prolonga la fase termofílica y maximiza el índice de germinación, cumpliendo con los estándares para fertilizantes orgánicos (Ge *et al.*, 2022). Además, el pH está inversamente correlacionado con la densidad aparente del compost ($r = -0.67$, $p < 0.05$), por ende, un pH adecuado mejora la porosidad y aireación del sustrato durante la elaboración (Peña *et al.*, 2020; Ge *et al.*, 2022)

**Temperatura:** Refleja la actividad metabólica de los microorganismos y es determinante para la higienización del compost (Wang *et al.*, 2021). Durante el compostaje, la temperatura pasa por fases mesófilas (25–40 °C) y termófilas (55–65 °C), donde la actividad microbiana degrada la materia orgánica y elimina patógenos; una estrategia de control de temperatura, como el calentamiento externo aplicado entre los días 5 y 10, puede acelerar el proceso, reducir el

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

tiempo de compostaje a 14 días y mejorar la degradación de antibióticos en residuos orgánicos, lo que resulta en un compost con mayor contenido de humus y menor concentración de metales pesados (Sun *et al.*, 2022). Además, la temperatura óptima durante la fase termófila favorece la formación de sustancias húmicas y la estabilización de la materia orgánica, aspectos clave para la madurez del compost; sin embargo, la falta de un incremento adecuado de temperatura puede comprometer la pérdida de materia orgánica y la calidad del producto final, evidenciando la importancia de monitorear y controlar este parámetro (Pezzolla *et al.*, 2021).

**Humedad:** La humedad es un factor crítico en el proceso de compostaje, ya que influye directamente en la actividad microbiana y la eficiencia del proceso (Ge et al., 2022). Un contenido de humedad adecuado (entre 45% y 65%) favorece la degradación aeróbica de la materia orgánica, mientras que niveles inferiores al 30% inhiben la actividad microbiana, y valores superiores al 65% pueden generar condiciones anaeróbicas (Margaritis et al., 2023). Estudios recientes destacan que el monitoreo preciso de la humedad, mediante sensores de bajo costo y técnicas de aprendizaje automático, permite optimizar el proceso, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del compost final (Moncks et al., 2022). Además, la adición de minerales como zeolita o perlita puede regular la humedad y mejorar las propiedades físicas del sustrato, facilitando un compostaje más eficiente (Margaritis et al., 2023).

**Conductividad eléctrica**: Es un parámetro fisicoquímico fundamental que se emplea para evaluar la salinidad del compost, del cual se define como la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, la cual está directamente relacionada con la concentración de iones disueltos, tales como

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sodio ($Na^+$), potasio ($K^+$), calcio ($Ca^{2+}$), cloruro ($Cl^-$) y amonio ($NH_4^+$) (Gondek *et al.*, 2020). El origen de estas sales en el compost deriva principalmente de la propia materia orgánica inicial; en consecuencia, los residuos orgánicos municipales, que a menudo incluyen restos de frutas, verduras y otros materiales, contienen naturalmente una variedad de compuestos iónicos (Popescu *et al.*, 2025). Asimismo, para que el compost sea considerado maduro y apto para su uso agrícola o como enmienda de suelo, es imperativo que este valor se reduzca a niveles seguros (Wakas *et al.*, 2023), esto se debe a que un compost maduro debe tener una baja concentración de sales fácilmente lixiviables para evitar daños por estrés salino en los cultivos (Pease, Thompson y Thoms, 2022).

**Coliformes totales**: Constituyen un grupo bacteriano utilizado como indicador de la contaminación fecal y de la eficacia del proceso de higienización durante el compostaje (Sadeghi *et al.*, 2023). Este grupo incluye bacterias gramnegativas, aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, que fermentan la lactosa con producción de gas a 35-37°C; entre ellas se encuentran géneros como *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* y *Enterobacter* (Balkrishna *et al.*, 2024; da Silva *et al.,* 2024). Si bien no todos sus miembros son de origen fecal, su presencia en altas concentraciones en residuos orgánicos señala una potencial contaminación con materia fecal de humanos o animales y, por lo tanto, la posible existencia de patógenos entéricos más peligrosos, como *Salmonella spp* (Li *et al.*, 2023). El proceso de compostaje, debido a las altas temperaturas alcanzadas durante la fase termófila, actúa como un eficaz tratamiento de desinfección; aún así, es probable que las bacterias formadoras de esporas, los helmintos y los virus sobrevivan al proceso; aunque la temperatura - tiempo es el principal factor responsable de la inactivación de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

patógenos durante el compostaje, otros factores (cambio en el pH, contenido de humedad, frecuencia de volteo, agotamiento de nutrientes, subproductos tóxicos) y mecanismos (actividades microbianas autóctonas, efecto antagonista microbiano, acción antibiótica) también tienen influencia (Manga *et al.*, 2023).

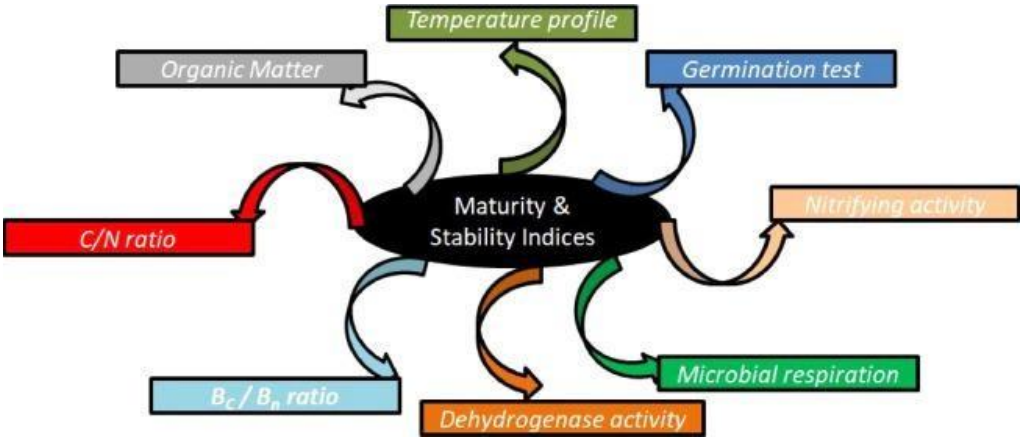
**b. Madurez del compost**

La madurez del compost es un indicador crítico que determina su estabilidad biológica, seguridad microbiológica y aptitud para su uso agrícola. Un compost maduro se caracteriza por haber completado los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, alcanzando un equilibrio físico-químico y microbiológico adecuado. Esta condición se evalúa mediante parámetros específicos que garantizan que el producto final no afectará negativamente a los cultivos ni al medio ambiente.

Parámetros de madurez:

**Figura 2.**

*Diversos índices de madurez y estabilidad.*




Fuente: Mahapatra *et al.* (2022)

- **Relación C/N:** A lo largo del compostaje aeróbico, el C/N tiende primero a aumentar en la fase termófila y luego a descender; alcanzarse un valor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

final cercano a 12 se considera indicativo de compost estable y maduro, aseguran una madurez aceptable con bajo riesgo de fitotoxicidad; empero, las relaciones C/N extremas, como 35:1 o 10:1, pueden prolongar la fase termófila y bajar la velocidad de degradación o liberaran nitrógeno como amoníaco, generando pérdidas y olores indeseables (Azis *et al.*, 2023).

- **Estabilidad térmica:** La temperatura del compost maduro se mantiene cercana al 33°C al final del quinto mes de compostaje, lo que refleja el cese de la actividad microbiana intensa (Ji *et al.*, 2023).

- **pH estable:** los compost inmaduros suelen tener niveles de pH ácidos, mientras que los maduros exhiben un rango de pH de 7 a 9; sin embargo, el pH no puede considerarse un parámetro definitivo para evaluar la madurez del compost, ya que depende en gran medida de las materias primas en la mezcla inicial, así como de las condiciones de ventilación y temperatura (Ji *et al.*, 2023).

- **Ausencia de fitotoxicidad:** Pruebas de germinación con semillas que confirman que el compost no inhibe el crecimiento vegetal (Mahapatra *et al.,* 2022).

### 4.3. Microorganismos Eficaces

Los Microorganismos Eficaces (EM) son consorcios microbianos compuestos principalmente por bacterias ácido lácticas (BAL), levaduras, bacterias fotosintéticas y actinomicetos (Liu *et al.*, 2021), que actúan de forma sinérgica para mejorar procesos de biodegradación (Wang *et al.*, 2022). Estos consorcios se caracterizan por su capacidad para optimizar la descomposición

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de materia orgánica a través de mecanismos como la fermentación láctica, la producción de enzimas hidrolíticas y la regulación del pH en medios orgánicos (Hidalgo *et al.*, 2022; Rawoof *et al.*, 2021). Su aplicación en compostaje se fundamenta en el principio de sucesión microbiana controlada (Palaniveloo *et al.*, 2020), donde los EM favorecen el predominio de comunidades microbianas beneficiosas sobre poblaciones patógenas o ineficientes (Avila *et al.*, 2021).

### a. Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en compostaje

Las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) son microorganismos facultativos que participan tanto en condiciones aerobias como anaerobias durante el compostaje (Gayathri & Nair, 2023; Hidalgo *et al.*, 2022). En fases aerobias, metabolizan carbohidratos simples, generando ácido láctico y reduciendo temporalmente el pH (<5), lo que favorece la inhibición de patógenos (Tran *et al.*, 2019). En fases anaerobias, como en los núcleos internos de las pilas de compost, las BAL fermentan la materia orgánica produciendo compuestos antimicrobianos (bacteriocinas) y ácidos orgánicos (acético, propiónico), que aceleran la degradación de lignocelulosas (Bangar *et al.*, 2022).

Las BAL combaten patógenos como coliformes totales mediante tres vías principales:

- Acidificación: La producción de ácido láctico y otros ácidos orgánicos (Taylor & Doores, 2020) reduce el pH por debajo de 5.5, nivel crítico para la supervivencia de bacterias mesófilas patógenas (Getaneh *et al.*, 2021).
- Bacteriocinas: Compuestos proteicos (ej. nisina) que dañan membranas celulares de patógenos, incluidos *E. coli* y *Salmonella* (Mokoena *et al.*, 2021).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

- Competencia por nutrientes: Las BAL consumen rápidamente sustratos carbono disponibles, limitando el crecimiento de microbios competidores (Regueira, Lema & Mauricio, 2021); estudios demuestran que inoculaciones con BAL reducen *Salmonella* totales en un 98% durante las primeras 2 semanas de compostaje (Avidov *et al.*, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# V. Objetivos/hipótesis

## 5.1. Objetivos generales

Determinar la respuesta de la inoculación de las BAL en la descomposición de residuos orgánicos municipales en el compostaje.

Evaluar el efecto del picado de los residuos orgánicos municipales en la madurez del compost.

## 5.2. Objetivos específicos

a) Identificar la dosis de bacterias ácido lácticas para acelerar el tiempo de descomposición del compost
b) Evaluar la composición química y microbiológica del compost expuesto a las bacterias ácido lácticas
c) Analizar el efecto del picado de los residuos orgánicos durante el proceso de compostaje
d) Evaluar el efecto del picado de los residuos sobre la maduración del compost

## 5.3. Hipótesis general

La aplicación de bacterias ácido lácticas (BAL) mejora significativamente la descomposición de los residuos orgánicos municipales (ROM), reduciendo coliformes totales y optimizando la relación C/N, potasio, fósforo y materia orgánica en el compost.

El picado de los residuos orgánicos municipales (ROM) acelera el tiempo de maduración del compost, evidenciado por una dinámica más estable de temperatura y pH durante el proceso

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# VI. Metodología

## 6.1. Generalidades del estudio

### 6.1.1. Ubicación geográfica

El estudio se llevó a cabo en la planta de tratamiento de residuos sólidos del Centro Ecoturístico de Protección Ambiental “Santa Cruz”, perteneciente a la Municipalidad Provincial de Concepción, región Junín, localizada en el valle del río Mantaro.

Para esta investigación, los residuos orgánicos municipales provinieron de los que ingresan al patio de compostaje, los mismos que fueron recolectados de la zona urbana de la ciudad de Concepción. La fase en campo se llevó a cabo en el Centro Ecoturístico de Protección Ambiental “Santa Cruz” (11°53’49.6” S. y 75°17’37” O), en el anexo de Alayo, a una altitud de 3400 msnm, en el distrito de Concepción, provincia de Concepción y departamento de Junín, Perú. A continuación, se muestra la ubicación geográfica del lugar experimental:

### 6.1.2. Materiales utilizados en la investigación

Los materiales e insumos empleados en la ejecución de este proyecto de madurez del compost, fueron los siguientes:

**Obtención de residuos sólidos municipales:** Se empleó 300 Kg de residuos orgánicos municipales por tratamiento, recolectados del distrito de Concepción.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Figura 3.**

*Recepción de residuos orgánicos*



**Picado de los residuos sólidos municipales:** Para realizar este procedimiento se empleó la picadora para fraccionar en pequeños tamaños los residuos orgánicos municipales, el tamaño varió entre 3-6 cm, con la finalidad de facilitar una mejor homogenización y descomposición en menor tiempo. El picado se realiza para los tratamientos considerados con este proceso.

**Instalación de las pilas de residuos sólidos municipales:** Previamente a la formación de las pilas de ROM se seleccionó el área y se evaluó su nivelación, tomando en consideración las condiciones a las que encontrarían las pilas. En la plataforma se colocó el plástico para base de pilas, posteriormente se instaló dieciocho pilas, agregando en estas los residuos orgánicos picados y no picados de acuerdo a los tratamientos en el patio de compostaje, cada plataforma estuvo constituida por paneles con dimensiones de 7 m de ancho. Además, cada una de las pilas fue formada por 300 kg de residuos orgánicos municipales.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Obtención de bacterias ácido lácticas:** Las bacterias acido lácticas se adquirieron del centro de producción “El lecherito”, perteneciente a la facultad de industrias alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

**Proceso de activación de las bacterias ácido lácticas:** Se procedió a activar los 5 litros de bacterias ácido lácticas (suero de leche) en un medio de cultivo. Para la activación se le agregó a las bacterias 2 kg de melaza de caña de azúcar y agua (1:6.5), empleando un balde de 20 L para este procedimiento, posterior a ello se dejó reposar por un periodo de 6 días bajo sombra.

**Aplicación de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) Activadas:** Para asegurar la homogeneidad en la aplicación, la solución de BAL fue previamente homogeneizada antes de su carga en las mochilas de 20 L, garantizando así que cada pila recibiera una concentración equivalente de bacterias; además, se utilizó una misma solución madre activada para todos los tratamientos. Posteriormente se cubrió las pilas con mantada de plástico, este procedimiento se repitió a los 15 días posteriores.

**Figura 4.**

*Aplicación de bacterias ácido lácticas*



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Volteo de Pilas:** Se realizó un volteo de las pilas de manera semanal durante las primeras semanas y posterior a ello paso a ser un volteo quincenal, haciendo uso de una pala. Aquello dependió de las condiciones climáticas, el aspecto del compostaje y de la humedad. Se realizó control de temperatura, de aspecto visual y de olor para hacer el volteo de una manera adecuada. Bajo estas condiciones, las pilas de compost se mantuvieron durante un período de tres meses y, al término de dicho tiempo, se procedió a la toma de muestras para la realización de los análisis correspondientes.

**Figura 5.**

*Volteo de pilas*



**Recolección de muestras:** Se tomó 18 muestras del compost, posterior a ello estas fueron tamizadas, llenadas en bolsas ziploc y rotuladas para ser enviadas al laboratorio para llevar a cabo los análisis correspondientes.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Figura 6.**

*Recolección de muestras*



## 6.2. Diseño de investigación

En este estudio se empleó el diseño experimental, bloque completo al azar, debido a que se manipuló las variables independientes como el picado de los residuos orgánicos municipales y la aplicación de bacterias ácido lácticas activadas y su análisis posterior del compost. Se recolectaron los datos en un solo momento, para determinar la madurez del compost y el tiempo requerido, para ello se tomó las muestras de compost según los tratamientos considerados en la presente investigación.

## 6.3. Variables

### a. Variables independientes (X):

- Picado de los residuos orgánicos municipales (ROM)
- Bacterias ácido lácticas (BAL)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**b. Variables dependientes (Y):**

- Calidad del compost, a través de la medición de los siguientes parámetros:

  - Parámetro microbiológico: Coliformes totales.

  - Parámetro químico: Relación C/N, potasio, fósforo, materia orgánica.

- Tiempo de madurez del compost (tiempo que se va a tomar pH, Temperatura)

## 6.4. Factores en estudio

**a. Factor (A): Tipo de material a compostar**

$a_1$ = Residuos orgánicos municipales picados (trozado).

$a_2$ = Residuos orgánicos municipales sin picado (testigo).

**b. Factor (B): Concentración de Bacterias Ácido Lácticas**

- $b_1$ = 10% de bacterias ácido lácticas (2 L de bacterias ácido lácticas en 17 L de agua y 1kg de melaza de caña de azúcar.
- $b_2$ = 15% de bacterias ácido lácticas (3 L de bacterias ácido lácticas en 16 L de agua y 1 kg de melaza de caña de azúcar).
- $b_3$ = Control

La concentración de las bacterias ácido lácticas, se consideró en base las conclusiones recomendadas realizadas por (Cieza, 2017) en su estudio realizado con el fin de minimizar el tiempo de descomposición de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios empleando bacterias ácido lácticas mediante el método de compostaje en el Centro de Compostaje Yencala Boggiano. En Lambayeque,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Perú. Con respecto al picado de los residuos orgánicos municipales se está considerando en razón que el tamaño estándar de dichas partículas debe estar entre 3 y 6 cm con el fin de facilitar una mejor homogenización y su descomposición en menor tiempo según refiere (Rafael, 2015).

### 6.5. Tratamientos en estudio

**Tabla 1.**

*Tratamientos en estudio*

| Tratamiento | | Descripción |
|---|---|---|
| ***i*** | $T_0$ | Compostaje de ROM sin picado |
| ***s*** | $T_1$ | Compostaje de ROM + Picado |
| ***v*** | $T_2$ | Compostaje de ROM + Picado + 1000 ml BAL |
| ***t*** | $T_3$ | Compostaje de ROM + Picado + 2000 ml BAL |
| ***r*** | $T_4$ | Compostaje de ROM + Picado + 3000 ml BAL |

*Nota.* Se empleó 300 kg de residuos orgánicos municipales por tratamiento.

### 6.6. Diseño experimental

Los tratamientos se ejecutarán bajo Diseño de Bloques al Azar (DBA) con arreglo factorial 2 x 3, con 3 bloques o repeticiones, haciendo un total de 18 tratamientos.

- ✓ Modelo Aditivo Lineal

$$X_{ij\mathbf{k}} = \mu + \boldsymbol{\delta_k} + \boldsymbol{T_i} + \epsilon_{ij\mathbf{k}}$$

Donde:

$X_{ij\mathbf{k}}$ = Observación alguno dentro del experimento

$\mu$ = media poblacional

$\boldsymbol{\delta_k}$ = Efecto aleatorio del k-ésimo bloque o repetición

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$\mathbf{T_i}$ = Efecto aleatorio del i-ésimo nivel del factor A

$\epsilon_{ijk}$ = Error experimental

*i* = 1; 2; 3;….; a niveles del factor A

*j*= 1,2,3,.., b niveles del factor B

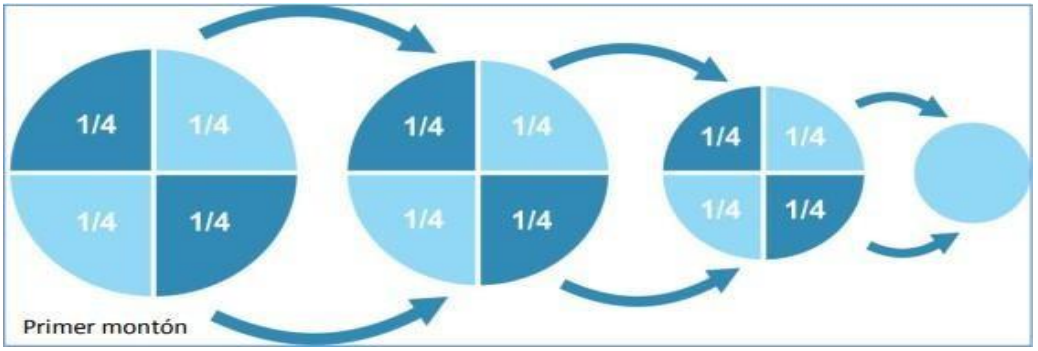
*k* = 1;2;3;...; r bloques o repeticiones

### 6.7. Muestreo

El muestreo se realizó mediante el método de cuarteo, para lo cual la totalidad del compost correspondiente a cada tratamiento se dividió en cuatro partes iguales. Posteriormente, se seleccionaron dos partes opuestas para conformar una fracción de menor tamaño. Esta fracción se mezcló nuevamente y se volvió a dividir en cuatro partes, repitiéndose el procedimiento de selección de las dos partes opuestas para obtener una muestra progresivamente más pequeña. El proceso se reiteró hasta alcanzar una muestra de tamaño manejable, de la cual se extrajo 1 kg, que fue remitido al laboratorio para su análisis correspondiente.

**Figura 7.**

*Método del cuarteo*




Fuente: Pérez (2017)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

## 6.8. Procedimiento para la recolección de datos

Este procedimiento se diseñó considerando las características específicas del compost y las variables a evaluar, asegurando que cada paso se ejecutara bajo condiciones controladas y replicables:

### a. Recolección y preparación de muestras

Se recolectó una muestra bruta de al menos 15 kg de compost, obtenida de diferentes puntos de la pila (superior, media e inferior) para asegurar su representatividad. La muestra se mezcló homogéneamente y se dejó secar al aire, evitando el uso de horno para no alterar sus propiedades químicas. Posteriormente, se realizó un tamizado en dos etapas: primero, con un tamiz metálico de 4-5 mm para eliminar material grueso como piedras y ramas, y luego con una malla Rashel de 2 mm, tamaño estándar para análisis de laboratorio. Las muestras tamizadas se almacenaron en bolsas ziploc, debidamente etiquetadas con fecha, origen y parámetros a analizar, y se protegieron durante el transporte para evitar exposición a calor o humedad excesiva.

### b. Activación del consorcio microbiano (BAL)

Para la preparación del biofertilizante, se diluyeron 500 g a 1 kg de melaza en 2-3 L de agua tibia, y esta solución se vertió en un balde de 20 L. Luego, se agregaron 5 L de suero de leche y se completó el volumen con agua hasta alcanzar 15-18 L, dejando un espacio para aireación. La mezcla se mantuvo bajo condiciones controladas: temperatura entre 25-30°C, en un lugar sombreado, y se oxigenó revolviendo 1-2 veces al día o cubriendo con una tela respirable. El proceso de activación duró 5-7 días, monitoreándose mediante la observación de burbujeo y aroma ácido.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

### c. Preparación y manejo de las camas de compostaje

Se utilizaron 300 kg de residuos orgánicos municipales (ROM), distribuidos en 18 camas de 1.5 m × 1 m × 0.5 m, con aproximadamente 16.67 kg de ROM por cama. Los residuos se picaron a un tamaño de 3 - 6 cm utilizando una picadora de martillos con criba ajustable. Cada cama se preparó con una base de 2 cm de paja seca de cebada y se aplicó cal a una dosis de 50 g/m² para regular el pH inicial. Se establecieron los cinco tratamientos diferenciados por el uso de bacterias ácido lácticas (BAL) y el picado de los residuos (tabla 1).

Las aplicaciones de BAL se realizaron semanalmente durante cuatro semanas, utilizando una mochila fumigadora de 5 L con presión constante de 2 bar. Además, las camas se voltearon cada 3 días con una pala de acero para favorecer la aireación, y se monitorearon parámetros clave como temperatura (con termómetro digital) y humedad (con medidor digital).

### d. Medición de parámetros fisicoquímicos

Durante el proceso, se midieron parámetros críticos para evaluar el compostaje:

- pH: Se utilizó un pH-metro portátil Hanna HI98103 (±0.01 pH).
- Temperatura: Se registró con un termómetro digital Hanna HI145-00 (±1°C).
- Humedad: Se determinó con un medidor Extech MO750 (±3% HR).
- Conductividad eléctrica: Se midió con un conductímetro Oakton CON 700 (±1%).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**e. Tamizado final**

Al concluir el proceso, las muestras se tamizaron con una malla metálica ASTM N° 10 (2 mm de apertura) utilizando una tamizadora mecánica, para homogenizar el material y facilitar los análisis posteriores.

## 6.9. Técnicas para el procesamiento y análisis de los datos

Se llevó a cabo el análisis de varianza correspondiente a un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial. Asimismo, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la significancia de las diferencias entre los promedios de los tratamientos, considerando un nivel de significación de 0,05.

**Evaluaciones a realizar**

***a. Madurez del compost***

Consistió en evaluar la relación carbono/nitrógeno (C/N) del compost, la cual debe ser menor o igual a 30 al finalizar el proceso de compostificación de los residuos orgánicos municipales, con el fin de determinar el grado de madurez del compost. De acuerdo con la norma técnica peruana (NTP 201.208:2021).

***b. Tiempo de madurez del compost***

Esta evaluación consistió en determinar el tiempo, expresado en días, que requiere el compost para alcanzar su madurez según los tratamientos establecidos en el presente estudio. De acuerdo con la FAO, el período de maduración del compost es, en promedio, de aproximadamente seis meses (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

### *c. Parámetros de evaluación*

Considerando que el compostaje es un proceso biológico desarrollado por la acción de microorganismos, se tuvieron en cuenta los factores que influyen en su reproducción y crecimiento; en consecuencia, se establecieron como parámetros del estudio aquellos relacionados con dichas condiciones:

**Tabla 2.**

*Parámetros de análisis del compost*

| Parámetro | FAO | Norma Técnica Chile | Norma Técnica Peruana |
|---|---|---|---|
| **CE (dS.m-1)** | - | 3 - 8 | 2 - 4 |
| **C : N** | 10:1 - 15:1 | 25 - 30 | 25:1 - 35:1 |
| **$K_2O$ (%)** | 0.3 - 1.0 | - | 0.3 - 1.0 |
| **$P_2O_5$ (%)** | 0.1 - 1.0 | - | 0.1 - 1.0 |
| **MO (%)** | >20 | ≥20 | ≥20 |

Por otro lado, se llevaron a cabo diversos análisis en laboratorio ALAB para evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras, siguiendo metodologías estandarizadas y normas internacionales. A continuación, se detallan los métodos empleados para cada parámetro:

**f.** Coliformes Totales (NMP)

- Método: Técnica de Fermentación en Múltiples Tubos (Multiple-Tube Fermentation Technique).
- Norma de Referencia: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24ª Ed. 2023.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Descripción: Este método permite determinar la presencia de coliformes totales en muestras de agua mediante la observación de la producción de gas y cambios de pH en un medio de cultivo específico. Es una técnica estándar ampliamente utilizada para evaluar la calidad microbiológica del agua.

**g.** Materia Orgánica

- Método: Determinación de Carbono Orgánico.
- Norma de Referencia: NOM-021-RECNAT-2000, AS-07 (validado - fuera de alcance).
- Descripción: El análisis se basa en la cuantificación del carbono orgánico presente en la muestra, lo cual es un indicador indirecto de la materia orgánica. Este parámetro es fundamental para evaluar la fertilidad del suelo.

**h.** Metales Totales (ICP-OES) en Fertilizantes Orgánicos

- Método: Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).
- Norma de Referencia: EPA Method 3060 B rev.2 (digestión ácida) y EPA Method 200.7 rev.4 (análisis por ICP-OES).
- Elementos Analizados: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V, Zn, S.
- Descripción: Las muestras se sometieron a una digestión ácida para liberar los metales, seguida de su cuantificación mediante ICP-OES. Este método es altamente sensible y permite la detección de trazas de metales en matrices complejas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**i.** Nitrógeno Total en Fertilizantes

- Método: Combustión según el Principio de Dumas.
- Norma de Referencia: ISO 16634-2:2016 (validado - modificado).
- Descripción: El nitrógeno total se determina mediante la combustión de la muestra a alta temperatura, seguida de la medición de los gases liberados. Este método es rápido y preciso, ideal para matrices orgánicas.

**j.** Preparación de muestras de fertilizante

- Método: Preparación de muestras según protocolo estandarizado.
- Norma de Referencia: NOM-021-RECNAT-2000, AS-01, Ítem 7.1.1.
- Descripción: Las muestras de fertilizante se prepararon mediante homogenización y secado para garantizar la representatividad en los análisis posteriores.

**k.** Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en fertilizantes orgánicos

- Método: Cálculo mediante la relación entre Carbono Orgánico (NOM-021-RECNAT-2000, AS-07) y Nitrógeno Total (ISO 16634-2:2016).
- Norma de Referencia: MVAL-AGR-022 (validado - modificado).
- Descripción: La relación C/N es un indicador clave de la madurez y estabilidad de los fertilizantes orgánicos, calculada a partir de los valores obtenidos para carbono y nitrógeno

### 6.10. Disposición final de los residuos

De acuerdo con el Decreto Legislativo N° 1278, decreto que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la disposición final se realiza en

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

rellenos sanitarios, los mismos que son implementados por las municipalidades o por empresas operadoras de residuos sólidos (EO-RS) , las áreas determinadas se identificaran en coordinación con las autoridades competentes como el MINSA y MINAM, las cuales poseen espacios geográficos en su jurisdicción, que son empleados para instalar plantas de tratamiento, transferencia o disposición final (Ministerio del Ambiente, 2017). En el caso de la provincia de Concepción, cuenta con un relleno sanitario y tratamiento biológico (CEPASC), donde se realizará la producción de compost a partir de los residuos orgánicos. Además, los ciudadanos segregan sus residuos municipales antes del transporte de estos hacia su disposición final.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

# VII. Resultados

## 7.1. Análisis de la composición del compost final

Para determinar la calidad del compost realizado (Tabla 2), se utilizaron como referencia la norma de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Norma Técnica Peruana (NTP 201.208:2021), y norma técnica chilena.

**Tabla 3.**

*Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según los tratamientos*

| Tratamiento | Descripción | C/N | $K_2O$ (%) | $P_2O$ (%) | MO (%) | Coliformes totales |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | ROM + 0 BAL+ Sin Picado | $17.60^{a} \pm 1.26$ | $0.43^{a} \pm 0.10$ | $1.32^{ab} \pm 0.30$ | $27.03^{ab} \pm 2.32$ | $22^{a} \pm 1.24$ |
| **2** | ROM + 0 BAL+ Picado | $18.19^{ab} \pm 1.31$ | $0.46^{ab} \pm 0.11$ | $1.36^{ab} \pm 0.30$ | $27.94^{bd} \pm 2.11$ | $27^{ab} \pm 1.87$ |
| **3** | ROM + picado + 1000 ml BAL | $18.59^{bc} \pm 1.33$ | $0.51^{abc} \pm 0.10$ | $1.30^{ab} \pm 0.30$ | $28.69^{c} \pm 3.48$ | $32^{ac} \pm 2.15$ |
| **4** | ROM + picado + 2000 ml BAL | $19.19^{c} \pm 1.43$ | $0.55^{bc} \pm 0.10$ | $1.27^{a} \pm 0.30$ | $28.86^{abc} \pm 2.58$ | $34^{bc} \pm 2.39$ |

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

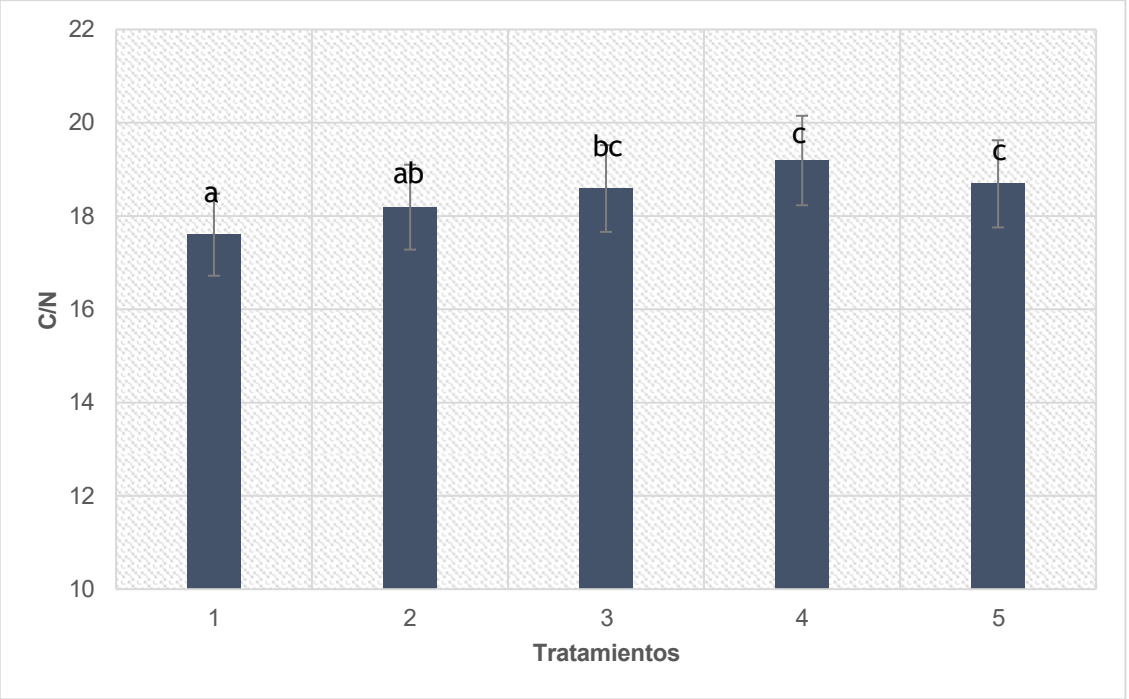
TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **5** | ROM + picado + 3000 ml BAL | 18.69 $^{c}$ ± 1.33 | 0.57 $^{c}$± 0.10 | 1.54 $^{b}$ ± 0.30 | 29.26 $^{cd}$ ± 2.58 | 40$^{c}$ ± 3.83 |

*Nota*: Letras diferentes existen diferencias significativas

**Figura 8.**

*Relación C/N según tratamientos*




La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) final del compost (Figura 8) evidencia el efecto del picado de los residuos orgánicos municipales (ROM) y de la inoculación con bacterias ácido lácticas (BAL) sobre la maduración del compost. Al comparar los tratamientos sin inoculación de BAL, se observa que el picado por sí solo no generó una diferencia estadísticamente significativa en la relación C/N final; el tratamiento sin picado (Tratamiento 1) presentó un valor de 17.60 ± 1.26, mientras que el tratamiento con picado (Tratamiento 2) registró 18.19 ± 1.31. Esta similitud sugiere que, aunque el picado puede facilitar físicamente la degradación inicial, su efecto aislado no fue determinante para

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

alterar significativamente el estado final de madurez del compost, al menos bajo las condiciones de este estudio.

No obstante, la combinación del picado con la inoculación de BAL sí mostró un efecto discernible, dado que los tratamientos que incluyeron ambas prácticas (Tratamientos 3, 4 y 5) presentaron valores de C/N ligeramente superiores oscilando entre 18.59 ± 1.33 y 19.19 ± 1.43, en comparación con el testigo sin picado ni BAL (Tratamiento 1, 17.60 ± 1.26) (Tabla 3). Asimismo, los valores de C/N obtenidos (17.60 ± 1.26 - 19.19 ± 1.43) están por debajo del rango considerado óptimo por la Norma Técnica Peruana (25:1 - 35:1) y la norma chilena (25 - 30), sin embargo, se sitúan en el extremo superior o ligeramente por encima del rango propuesto por la FAO (10:1 - 15:1) (Tabla 2).

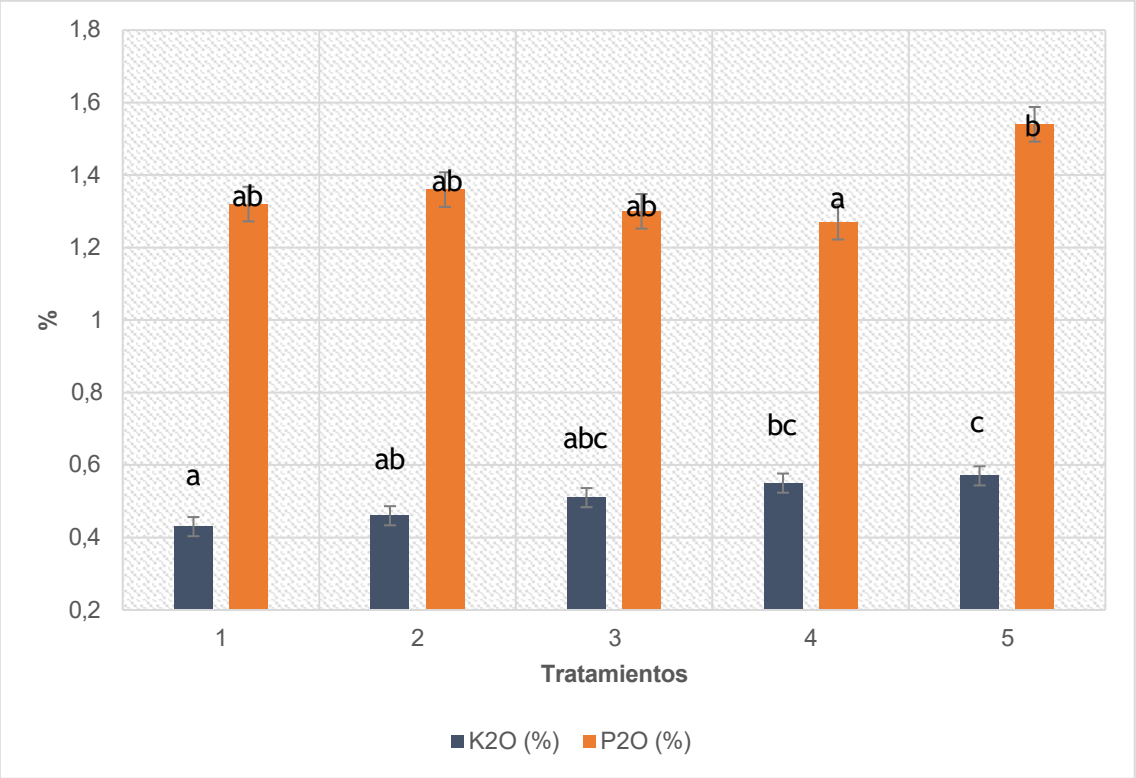
La diferencia significativa, se encuentra entre el grupo de tratamientos que recibieron la mayor dosis de BAL (Tratamientos 4 y 5, con 2000 y 3000 ml) y el testigo sin ningún tratamiento (Tratamiento 1). Esto indica que la aplicación de dosis más altas de BAL, en sinergia con el picado, promovió una mineralización del carbono ligeramente menos acelerada o una conservación relativamente mayor del mismo, resultando en una relación C/N final significativamente más elevada que la del compost no tratado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Figura 9.**

*Porcentaje de K2O y P2O según tratamientos*




Los resultados del análisis de potasio expresado como $K_2O$ (%) (Figura 9) muestra que el Tratamiento 1 (ROM + 0 BAL + Sin Picado) registró el contenido más bajo de potasio, con un valor promedio de 0.43% ± 0.10. El Tratamiento 2 (ROM + 0 BAL + Picado) mostró un ligero incremento, alcanzando un valor de 0.46% ± 0.11. Los tratamientos que incluyeron inoculación con bacterias ácido lácticas (BAL) demostraron una tendencia al incremento en el contenido de potasio de manera dependiente de la dosis aplicada. El Tratamiento 3 (ROM + picado + 1000 ml BAL) presentó un valor de 0.51% ± 0.10; el Tratamiento 4 (ROM + picado + 2000 ml BAL) registró 0.55% ± 0.10; y el Tratamiento 5 (ROM + picado + 3000 ml BAL) alcanzó el valor más alto de todos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

los tratamientos, con 0.57% ± 0.10 (Tabla 3). Al comparar estos valores con los rangos establecidos en las normativas de calidad para compost, se observa que todos los tratamientos, cuyos valores oscilaron entre 0.43% y 0.57%, se encuentran dentro del rango óptimo establecido tanto por la Norma Técnica Peruana (0.3 - 1.0%) como por la FAO (0.3 - 1.0%).

El análisis estadístico mostró la existencia de diferencias significativas entre algunos tratamientos. El Tratamiento 5, que recibió la dosis más alta de inoculante, mostró una diferencia significativa con respecto al Tratamiento 1. Los Tratamientos 2, 3 y 4 presentaron valores intermedios que no mostraron diferencias significativas con todos los grupos en todos los casos, indicando una transición gradual en el contenido de potasio conforme se incrementó la dosis de BAL.

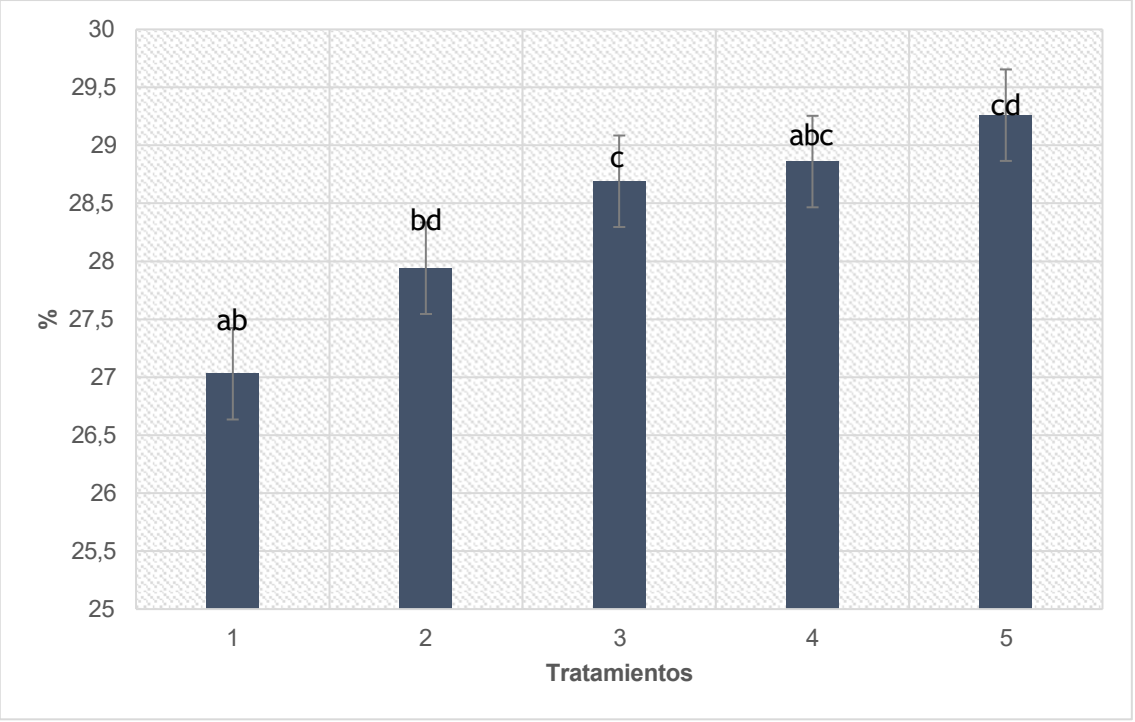
Mientras que, el análisis de fósforo expresado como $P_2O_5$ (%) (Figura 9), osciló entre 1.27% y 1.54% en todos los tratamientos. El valor más bajo se registró en el Tratamiento 4 (ROM + picado + 2000 ml BAL), con un promedio de 1.27% ± 0.30; mientras que el valor más alto correspondió al Tratamiento 5 (ROM + picado + 3000 ml BAL), con 1.54% ± 0.30. Los tratamientos testigo, Tratamiento 1 (ROM + 0 BAL + Sin Picado) y Tratamiento 2 (ROM + 0 BAL + Picado), mostraron valores intermedios de 1.32% ± 0.30 y 1.36% ± 0.30, respectivamente; mientras que el Tratamiento 3 (ROM + picado + 1000 ml BAL) registró un valor de 1.30% ± 0.30 (Tabla 3). Al contrastar estos valores con los estándares de calidad para compost, se observa que todos los tratamientos superan ampliamente el rango óptimo establecido tanto por la Norma Técnica Peruana (0.1 - 1.0%) como por la FAO (0.1 - 1.0%), lo que indica una concentración de fósforo notablemente elevada en el compost final.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El análisis estadístico mostró la existencia de diferencias significativas entre algunos tratamientos. El Tratamiento 5 mostró una diferencia significativa con respecto al Tratamiento 4; sin embargo, los tratamientos 1, 2 y 3, no presentaron diferencias significativas entre sí ni con los grupos extremos en todos los casos. Este patrón indica que, a excepción de la dosis más alta de BAL (Tratamiento 5), que resultó en un incremento significativo, ni el picado ni las dosis menores de BAL produjeron efectos estadísticamente consistentes en el contenido final de fósforo del compost.

**Figura 10.**

*Porcentaje de MO según tratamientos*




La materia orgánica (MO) para los diferentes tratamientos (Figura 10) se identificó que el contenido de materia orgánica osciló entre 27.03% y 29.26% en todos los tratamientos; del cual el valor más bajo se registró en el Tratamiento 1 (ROM + 0 BAL + Sin Picado), con un promedio de 27.03% ± 2.32; mientras que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

el valor más alto correspondió al Tratamiento 5 (ROM + picado + 3000 ml BAL), con 29.26% ± 2.58. Los tratamientos restantes mostraron valores intermedios: Tratamiento 2 (ROM + 0 BAL + Picado) con 27.94% ± 2.11, Tratamiento 3 (ROM + picado + 1000 ml BAL) con 28.69% ± 3.48, y Tratamiento 4 (ROM + picado + 2000 ml BAL) con 28.86% ± 2.58 (Tabla 3). Al comparar estos valores con los estándares de calidad para compost, se observa que todos los tratamientos superan satisfactoriamente el mínimo establecido tanto por la Norma Técnica Peruana (≥20%) como por la FAO (>20%) y la norma chilena (≥20%), lo que indica un adecuado contenido de materia orgánica en el compost final en todos los casos.

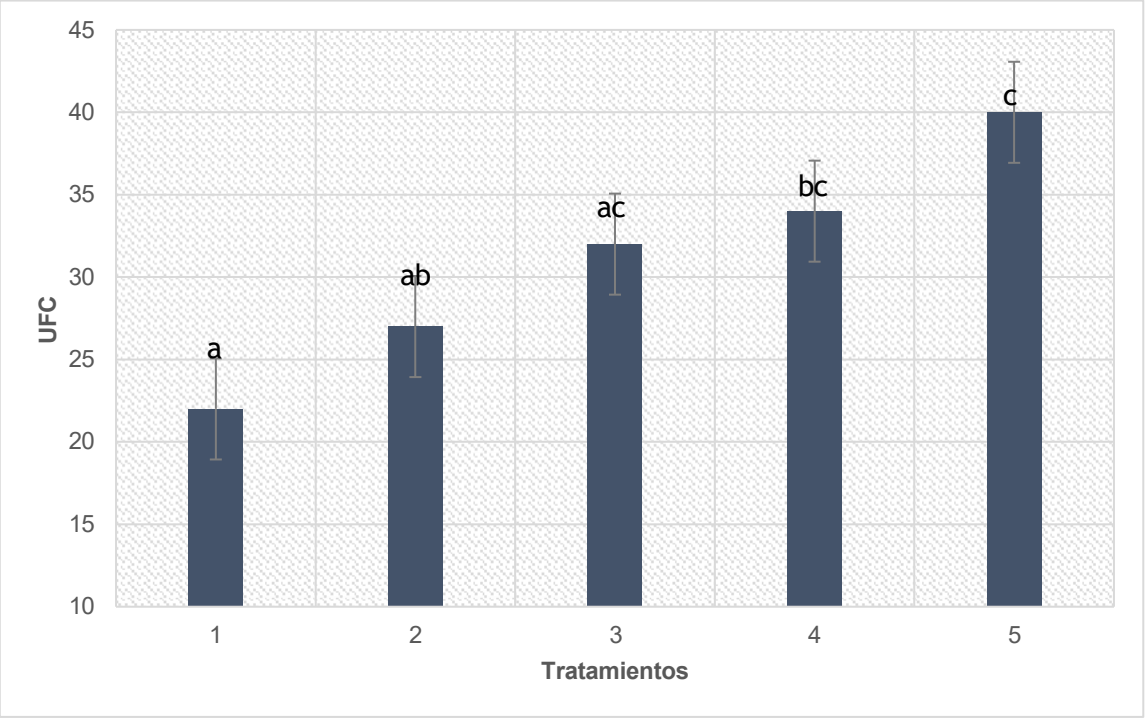
El análisis estadístico mostró la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, el Tratamiento 3 y el Tratamiento 5 difirieron significativamente del Tratamiento 1, así como el Tratamiento 2 con el Tratamiento 3. Sin embargo, el efecto del picado por sí solo (Tratamiento 1 y 2) no mostró una diferencia marcada, mientras que la combinación de picado con dosis crecientes de BAL (Tratamientos 3, 4 y 5) sugirió una tendencia hacia un mayor contenido de materia orgánica en el producto final.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Figura 11.**

*Cantidad de coliformes totales según tratamientos*




El recuento de coliformes totales (Figura 11) mostró una tendencia ascendente conforme se incrementó la dosis de inoculación con bacterias ácido lácticas (BAL). El valor más bajo se registró en el Tratamiento 1 (ROM + 0 BAL + Sin Picado), con un promedio de 22 ± 1.24 UFC/g; seguido del Tratamiento 2 (ROM + 0 BAL + Picado), que mostró un valor de 27 ± 1.87 UFC/g. Los tratamientos inoculados con BAL presentaron recuentos progresivamente mayores: el Tratamiento 3 (ROM + picado + 1000 ml BAL) registró 32 ± 2.15 UFC/g; el Tratamiento 4 (ROM + picado + 2000 ml BAL) mostró 34 ± 2.39 UFC/g; y el Tratamiento 5 (ROM + picado + 3000 ml BAL) alcanzó el valor más alto, con 40 ± 3.83 UFC/g (Tabla 3).

El análisis estadístico reveló la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, el Tratamiento 5 mostró una diferencia significativa con

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

respecto al Tratamiento 1 y 2. Cabe destacar que, si bien se observa un incremento en los recuentos de coliformes totales asociado a la dosis de BAL, todos los valores se mantuvieron en un rango considerado bajo para compostaje, lo que sugiere que la inoculación con BAL no comprometió la calidad microbiológica del compost en términos de contaminación fecal.

### 7.2. Dinámica del proceso de compostaje

Respecto a la temperatura (Tabla 4), parámetro fundamental que refleja la intensidad de la actividad microbiana durante la descomposición, se registraron los valores más bajos en los tratamientos testigo. El Tratamiento 1 (sin picado y sin BAL) presentó una temperatura de 25.28 °C, mientras que el Tratamiento 2 (con picado pero sin BAL) mostró un ligero incremento a 25.71 °C. Por el contrario, la adición de BAL en los tratamientos con residuos picados (3, 4 y 5) generó un aumento considerable, superando consistentemente los 30 °C. El Tratamiento 4 (2000 ml de BAL) registró la temperatura promedio más alta (31.33 °C), seguido muy de cerca por el Tratamiento 3 (1000 ml de BAL) y el Tratamiento 5 (3000 ml de BAL), cuyos valores fueron de 30.99 °C y 30.88 °C, respectivamente. Este patrón demostró que la inoculación con BAL, en combinación con el picado previo, estimuló significativamente la actividad biológica en la pila de compostaje.

En relación al pH, los datos revelaron una tendencia hacia la alcalinización en los tratamientos inoculados. Los tratamientos sin BAL (1 y 2) mantuvieron un pH cercano a la neutralidad (7.10 y 7.35). Sin embargo, a medida que se incrementó la dosis de BAL en los tratamientos con picado, el pH aumentó progresivamente, desde 7.68 en el Tratamiento 3, hasta 8.08 en el Tratamiento 4 y 8.27 en el Tratamiento 5. Este incremento sugiere una modificación activa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

del medio debido a los procesos metabólicos microbiales promovidos por la inoculación.

En el caso de la conductividad eléctrica (CE), indicador de la concentración de sales solubles, se observó un incremento progresivo y directo con la dosis de BAL aplicada. La CE más baja se encontró en el Tratamiento 1 (3.50 dS/m), y la más alta en el Tratamiento 5 (4.47 dS/m) con la dosis máxima de 3000 ml, mostrando una mineralización más intensa de la materia orgánica y una consecuente liberación de iones en solución.

El análisis estadístico, confirmó que las diferencias observadas en la temperatura, el pH y la CE entre los tratamientos fueron estadísticamente significativas. Esto permitió establecer que tanto el picado como, en mayor medida, la inoculación con BAL, tuvieron un efecto real y medible en las condiciones del proceso de compostaje. Considerando el conjunto de parámetros, en particular el logro de la temperatura más alta, el Tratamiento 4 (ROM + picado + 2000 ml BAL) se identificó como el más efectivo para promover las condiciones ideales para la descomposición acelerada bajo las condiciones de este estudio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Tabla 4.**

*Evaluación de parámetros promedio por cada tratamiento*

| Tratamiento | Descripción | Temperatura (°C) | pH | CE (dS.m-1) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | ROM + 0 BAL+ Sin Picado | 25.28 $^{a}$ ± 0.28 | 7.10 $^{a}$ ± 0.03 | 3.50 $^{a}$ ± 0.30 |
| **2** | ROM + 0 BAL+ Picado | 25.71 $^{a}$ ± 0.17 | 7.35 $^{a}$ ± 0.03 | 3.56 $^{ab}$ ± 0.30 |
| **3** | ROM + picado + 1000 ml BAL | 30.99 $^{a}$ ± 0.01 | 7.68 $^{b}$ ± 0.01 | 3.76 $^{bc}$ ± 0.30 |
| **4** | ROM + picado + 2000 ml BAL | 31.33 $^{b}$ ± 0.51 | 8.08 $^{b}$ ± 0.16 | 3.94 $^{c}$ ± 0.29 |
| **5** | ROM + picado + 3000 ml BAL | 30.88 $^{c}$ ± 0.06 | 8.27 $^{b}$ ± 0.01 | 4.47 $^{c}$ ± 0.30 |

*Nota*: Letras diferentes existen diferencias significativas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La evolución térmica registrada a lo largo del periodo de estudio (Anexo 5) refleja claramente la influencia de los tratamientos aplicados sobre la actividad microbiana durante el compostaje. Inicialmente, todos iniciaron en un rango similar (14-16°C), a partir de la quinta semana se manifestaron divergencias notorias; los tratamientos inoculados con BAL (T3, T4, T5) experimentaron un incremento acelerado, superando los 40°C, mientras que los testigos (T1, T2) alcanzaron máximos inferiores a 36°C. Este comportamiento demostró que la inoculación estimuló significativamente la actividad microbiana. Además, se identificó que la dosis de BAL fue determinante en la intensidad y persistencia del calor, donde el tratamiento T4 (2000 ml) mantuvo las temperaturas más altas y estables incluso en etapas avanzadas, registrando 35.56°C en la novena semana frente a los 31.06°C del T1.

El efecto del picado también se reflejó en los registros, ya que T2 (con picado, sin BAL) mostró un ligero incremento comparado con T1 (sin picado ni BAL), aunque su impacto fue secundario al de la inoculación. Hacia el final del periodo, el enfriamiento fue general, oscilando entre 17°C y 24°C; sin embargo, en los tratamientos con BAL, especialmente en T4, el descenso fue más gradual, lo que sugirió una actividad microbiana residual más prolongada y una potencial asociación con una mayor madurez del compost final.

Por otro lado, la evolución del pH durante el proceso de compostaje (Anexo 6) transitó desde condiciones inicialmente ácidas (pH 5.25-6.56) hacia un entorno consistentemente alcalino, siendo esta transición marcadamente influenciada por los tratamientos. A partir de la tercera semana, los tratamientos inoculados con BAL (T3, T4, T5) mostraron un aumento progresivo y pronunciado, superando pH 7.0, mientras que los testigos se mantuvieron

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ligeramente por debajo de este umbral. Esta tendencia se acentuó con el tiempo, ya que hacia la décima semana los compost con BAL registraron valores entre 8.33 y 8.70, contrastando con los controles que alcanzaron solo 7.59-7.82.

Al final del periodo, todos los tratamientos estabilizaron su pH en un rango alcalino (8.17-9.05), pero los tratamientos T3 y T4, con dosis de 1500 ml y 2000 ml de BAL respectivamente, alcanzaron los valores más altos (8.95 y 9.05). Este resultado indicó que la dosis de inoculante influyó directamente en el grado de alcalinización final. Por su parte, el picado mostró un efecto positivo pero limitado, ya que T2 presentó una ligera ventaja sobre T1 en la fase intermedia, aunque su impacto no fue determinante en la composición química final del compost.

Es así que, se identificó al Tratamiento 4 (ROM + picado + 2000 ml de BAL) como el más eficaz, ya que logró la mayor velocidad de descomposición, evidenciada por alcanzar y mantener las temperaturas más altas y persistentes en el menor tiempo, lo que indica una actividad microbiana intensa y acelerada; a la vez que produjo un compost de alta calidad con una relación C/N (19.19) que sugiere un buen grado de madurez, contenidos óptimos de nutrientes como potasio (0.55%) y materia orgánica (28.86%), un pH alcalino (8.08) estable y un bajo recuento de coliformes, cumpliendo así con los estándares de calidad y demostrando la sinergia óptima entre el picado y la dosis de 2000 ml de BAL para obtener un compost maduro en el menor tiempo posible.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## VIII. Discusión

Los resultados obtenidos en la composición final del compost demostraron una influencia de los tratamientos aplicados, tanto en la velocidad del proceso como en la calidad del producto terminado. La relación Carbono/Nitrógeno (C/N), principal indicador de madurez, presentó valores finales entre 17.60 y 19.19 para los distintos tratamientos; estos resultados se situaron por debajo del rango óptimo sugerido por la Norma Técnica Peruana (25:1 - 35:1) y la norma chilena (25 - 30), no obstante, se ubicaron en el extremo superior o ligeramente por encima del rango propuesto por la FAO (10:1 - 15:1) (FAO, 2021; NTP 201.208:2021). Los tratamientos que combinaron el picado con la inoculación de BAL, particularmente T4 y T5, alcanzaron las relaciones C/N más altas (19.19 y 18.69, respectivamente), lo que sugiere una mineralización del carbono ligeramente menos acelerada; este fenómeno podría asociarse a una mayor eficiencia en la conservación del carbono orgánico, como señalan Pezzolla et al. (2021), quien indica que una relación C/N final más elevada puede reflejar una estabilización más eficiente de la materia orgánica recalcitrante. La ausencia de una diferencia significativa en la C/N entre los tratamientos testigo (T1 y T2) evidenció que el picado por sí solo no fue un factor determinante para alterar la madurez final, coincidiendo con lo observado por Caruajulca et al. (2022), quienes reportaron que la preparación física del residuo debe ir acompañada de un inóculo microbiano para impactar significativamente en la dinámica de los nutrientes.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Respecto al contenido de potasio ($K_2O$), se observó un incremento progresivo y dependiente de la dosis de BAL, desde 0.43% en T1 hasta 0.57% en T5; este aumento puede atribuirse a una mayor mineralización de la materia orgánica facilitada por la actividad microbiana de las BAL, tal como lo reportó Moncayo (2021), quien encontró que la aplicación de microorganismos benéficos incrementaba la concentración de nutrientes como el potasio en el compost final. Todos los tratamientos se ubicaron dentro del rango considerado óptimo (0.3 - 1.0%) tanto por la NTP como por la FAO, lo que indica una buena disponibilidad de este macronutriente. Por su parte, el contenido de fósforo ($P_2O_5$) fue notablemente alto en todos los tratamientos (1.27% - 1.54%), superando ampliamente el rango de referencia (0.1 - 1.0%); esta elevada concentración, que resultó en una diferencia significativa para la dosis máxima de BAL (T5), podría deberse a la composición inicial de los residuos orgánicos municipales, los cuales suelen ser ricos en restos de frutas y verduras, tal como lo observó Caruajulca et al. (2022) en compost elaborado a partir de residuos de mercado.

El contenido de materia orgánica (MO) osciló entre 27.03% y 29.26%, superando satisfactoriamente el mínimo establecido (≥20%) por las normativas consultadas; los tratamientos inoculados con BAL, en especial T5, mostraron los valores más altos, lo que sugiere que la adición del inóculo pudo favorecer una degradación más eficiente que conservó una mayor proporción de MO estable en el producto final, un hallazgo consistente con lo reportado por Moncayo (2021), quien también halló una mayor concentración de MO en compost tratado con microorganismos. Finalmente, el recuento de coliformes totales mostró una tendencia ascendente con la dosis de BAL, desde 22 UFC/g en T1 hasta 40 UFC/g en T5; si bien este incremento fue estadísticamente significativo, todos



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

los valores se mantuvieron en un rango considerado bajo para compostaje, lo que indica que el proceso de compostaje fue eficaz en la reducción de patógenos. Este fenómeno podría explicarse porque las BAL, al producir ácidos orgánicos y bacteriocinas, crean un ambiente desfavorable para patógenos competitivos, pero no necesariamente eliminan todos los grupos de coliformes, los cuales pueden incluir especies ambientales no fecales, como se ha documentado en otros estudios (Mokoena et al., 2021; Avidov et al., 2022).

Por otro lado, la evolución de los parámetros de temperatura, pH y conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje demostró una influencia significativa de los tratamientos aplicados, revelando distintos patrones de descomposición y maduración. La temperatura, principal indicador de la actividad microbiana, demostró ser un indicador clave de la actividad microbiana, revelando diferencias sustanciales entre los tratamientos que reflejaron la eficiencia y velocidad de descomposición. Los tratamientos inoculados con bacterias ácido lácticas (BAL), particularmente el T4 con 2000 ml, registraron temperaturas significativamente más altas (superiores a 30 °C) en comparación con los testigos T1 y T2 (25.28 °C y 25.71 °C), lo cual indica una intensa actividad biológica desde las primeras etapas del proceso. Este incremento térmico temprano y sostenido fue crucial para acelerar la descomposición, ya que, como señalan Wang et al. (2021), la temperatura refleja directamente la actividad metabólica de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica.

La capacidad del tratamiento T4 para mantener temperaturas elevadas (35.56 °C en la novena semana) durante un período prolongado evidenció una actividad microbiana continua y eficiente, lo que se tradujo en una notable



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

reducción del tiempo necesario para alcanzar la madurez del compost. Este hallazgo coincide con lo reportado por Ludeña (2019), quien observó que la aplicación de microorganismos eficaces redujo el tiempo total de compostaje en más del 50%, destacando el potencial de los inoculantes microbianos para optimizar la duración del proceso. La estabilidad térmica mostrada por el T4, con un descenso más gradual hacia el final del periodo, sugiere además una mineralización más completa de la materia orgánica, asociada a un compost de mayor calidad en un menor tiempo.

La relación entre la dosis de BAL y la respuesta térmica no fue lineal, ya que el T4 (2000 ml) superó ligeramente al T5 (3000 ml) en temperatura promedio, lo que indica la existencia de un nivel óptimo de inoculación para maximizar la eficiencia del proceso. Este resultado concuerda con lo observado por Avila et al. (2021), quienes enfatizan la importancia de dosificar adecuadamente los inoculantes para mantener el equilibrio de la comunidad microbiana y evitar efectos de competencia que puedan ralentizar la descomposición. La rápida elevación térmica en los tratamientos con BAL, seguida de un mantenimiento prolongado de temperaturas altas, creó condiciones favorables para una degradación acelerada y uniforme de los residuos, lo que se tradujo en una significativa reducción del tiempo total de compostaje.

La evolución del pH durante el proceso de compostaje constituyó un indicador fundamental de las transformaciones microbianas y bioquímicas ocurridas en los distintos tratamientos. La transición desde valores inicialmente ácidos (pH 5.25-6.56) hacia un rango consistentemente alcalino (pH 8.17-9.05) en la fase final, documentada en este estudio, refleja un patrón típico de sucesión microbiana durante la compostación. Sin embargo, la marcada diferencia en la



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

magnitud y velocidad de esta alcalinización entre los tratamientos testigo y aquellos inoculados con bacterias ácido lácticas (BAL) revela el profundo impacto del bioinóculo en la ecología del proceso. Los tratamientos T1 y T2, carentes de BAL, mostraron una evolución moderada, estabilizándose en pH 7.10 y 7.35, respectivamente; por el contrario, los tratamientos T3, T4 y T5, suplementados con BAL, exhibieron una tendencia alcista más pronunciada y dependiente de la dosis, alcanzando valores de 7.68, 8.08 y 8.27. Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad metabólica de las BAL para consumir ácidos orgánicos volátiles generados en las fases iniciales de la descomposición, así como a su rol en la mineralización de compuestos nitrogenados, liberando amoníaco ($NH_3$) y elevando el pH del sustrato, un mecanismo previamente descrito por Hidalgo *et al.* (2022) y Tran *et al.* (2019).

La velocidad de esta transición fue particularmente notable; mientras que en los testigos el pH se mantuvo por debajo de 7.5, en los tratamientos inoculados se superó este umbral de forma temprana y se alcanzaron valores superiores a 8.0 hacia el final del proceso. Esta alcalinización acelerada sugiere que la inoculación con BAL no solo enriqueció la comunidad microbiana, sino que también modificó la trayectoria bioquímica del compostaje, posiblemente al favorecer vías metabólicas específicas que conducen a la producción de compuestos básicos. Ge *et al.* (2022) sostienen que un pH dentro del rango de 6.5 a 8.5 es óptimo para el desarrollo microbiano y la solubilidad de micronutrientes; en este sentido, los valores finales entre 8.08 y 8.27 registrados en los tratamientos T4 y T5 se sitúan en el límite superior de este rango, lo que pudo favorecer la actividad de microorganismos alcalófilos involucrados en las etapas finales de maduración y estabilización del compost. No obstante, es



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

crucial considerar que pH excesivamente alcalinos (superiores a 8.5) pueden inducir la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco, representando una potencial pérdida de este nutriente esencial, tal como advierten Azis *et al.* (2023) y Ji *et al.* (2023).

Cabe destacar que la evolución del pH observada en este estudio corrobora hallazgos de investigaciones previas que utilizaron inoculantes microbianos. Por ejemplo, Sanchez (2024) reportó que la aplicación de BAL al 20% permitió que el pH de residuos orgánicos domésticos evolucionara desde 4.42 hasta 6.77, mientras que en el presente estudio, con dosis similares (T5, 3000 ml), se alcanzó un pH final de 8.27. Esta discrepancia en los valores absolutos puede atribuirse a diferencias en la composición inicial del sustrato, pero en ambos casos se confirma la capacidad de las BAL para modular activamente la acidez del medio. La tendencia hacia la alcalinidad en los tratamientos inoculados también se ha asociado con una mayor degradación de compuestos lignocelulósicos recalcitrantes, ya que en condiciones ligeramente alcalinas se favorece la actividad de enzimas como las ligninasas y las celulasas, tal como lo documentaron Bangar *et al.* (2022) en sus estudios sobre el mecanismo de acción de las BAL.

Respecto a la conductividad eléctrica (CE), se observó un incremento progresivo y directo con la dosis de BAL aplicada, desde 3.50 dS/m en T1 hasta 4.47 dS/m en T5. Este aumento indica una mayor mineralización de la materia orgánica y una consecuente liberación de iones solubles como potasio, calcio y amonio, tal como lo explican Gondek et al. (2020) y Popescu et al. (2025), quienes atribuyen el origen de estas sales a la propia materia orgánica inicial. Si bien una CE elevada puede ser un factor de fitotoxicidad en compost inmaduro,



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

la monitorización de este parámetro es esencial para garantizar un producto final estable, tal como lo destacan Wakas et al. (2023) y Pease, Thompson y Thoms (2022), quienes señalan que un compost maduro debe tener una baja concentración de sales fácilmente lixiviables para evitar daños por estrés salino.

Asmismo, se identificó una estrecha relación entre la dinámica del pH y la de otros parámetros, como la temperatura y la conductividad eléctrica, refuerza su utilidad como un indicador integral del estado del proceso. El incremento sostenido del pH en los tratamientos con BAL coincidió con periodos de mayor actividad térmica y un aumento en la conductividad eléctrica, lo que sugiere una mineralización simultánea y acelerada de la materia orgánica. Este fenómeno de alcalinización, por lo tanto, no fue un evento aislado, sino parte de una respuesta microbiana coordinada que condujo a una maduración más rápida y eficiente del compost, validando el uso de BAL como una estrategia efectiva para optimizar el proceso de compostaje y mejorar la calidad final del producto.

En conjunto, la dinámica de estos parámetros confirma que la inoculación con BAL, particularmente en su dosis de 2000 ml (T4), no solo aceleró la descomposición al generar y mantener las temperaturas más altas en el menor tiempo, sino que también modificó activamente las condiciones del medio, promoviendo un entorno alcalino y una mineralización más intensa. Estos hallazgos se alinean con los de Sanchez (2024), quien reportó que la aplicación de BAL al 20% produjo los cambios más favorables en el pH y la CE, acelerando el proceso de compostaje; asimismo, refuerzan el principio de sucesión microbiana controlada descrito por Palaniveloo et al. (2020), donde los consorcios microbianos beneficiosos, como las BAL, optimizan la descomposición de la materia orgánica.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# IX. Conclusión

La inoculación con bacterias ácido lácticas (BAL) demostró influir significativamente en la descomposición de los residuos orgánicos municipales, donde el tratamiento T4 (2000 ml de BAL con picado), acelerando notablemente el proceso y produciendo un compost de calidad en menor tiempo comparado con los testigos.

El picado de los residuos por sí solo no resultó determinante para la madurez del compost; sin embargo, su combinación con BAL, particularmente en el T4, optimizó las condiciones del proceso, evidenciado por una relación C/N final de 19.19 y un contenido adecuado de materia orgánica (28.86%), lo que confirmó su papel complementario para obtener un producto estable.

La dosis de 2000 ml de BAL (T4) se identificó como la más efectiva para acelerar la descomposición, registrando la mayor actividad microbiana con temperaturas promedio de 31.33 °C y una evolución térmica más rápida y persistente, lo que redujo significativamente la duración total del compostaje.

Los tratamientos inoculados con BAL, especialmente el T4, presentaron una composición química óptima con adecuado contenido de potasio (0.55%) y materia orgánica, junto con un pH alcalino (8.08) estable, cumpliendo con los estándares de calidad; aunque se observó un incremento en coliformes totales (34 UFC/g), este se mantuvo en un rango seguro sin comprometer la calidad microbiológica.

El picado mostró un efecto limitado en la composición final cuando se aplicó de manera aislada; no obstante, en sinergia con las BAL, facilitó una

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

mayor eficiencia en la degradación, particularmente en el T4, donde se logró la mejor relación entre velocidad del proceso y calidad del producto.

Finalmente, el tratamiento T1 (sin picado ni BAL) registró la menor producción de compost, asociada a una descomposición lenta e ineficiente; en contraste, el T4 no solo redujo el tiempo de compostaje, sino que optimizó la transformación de residuos, confirmándose como la alternativa más viable para una producción eficiente y de alta calidad bajo las condiciones del estudio.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# X. Recomendaciones

Para la producción de compost en sistemas municipales o comunitarios, se recomienda adoptar la inoculación con bacterias ácido lácticas (BAL) en la dosis identificada como óptima en este estudio, aproximadamente 2000 ml por pila (Tratamiento 4), y siempre en combinación con el picado previo de los residuos orgánicos municipales (ROM); esta práctica favorece una aceleración del proceso de descomposición, alcanza temperaturas termófilas más elevadas y mejora la homogeneidad del producto final, por consiguiente debería implementarse en pruebas piloto antes de su escalado operativo.

Para evitar posibles efectos adversos en suelos sensibles a la salinidad, se aconseja controlar la conductividad eléctrica del compost; cuando los valores de CE aumenten con la inoculación, aplicar medidas de manejo como mezclas con enmiendas de baja salinidad o períodos de curado adicionales; además, realizar ensayos de fitotoxicidad en cultivos locales antes de su uso extensivo en terrenos agrícolas.

Se recomienda realizar estudios complementarios antes del escalado definitivo: ensayos agronómicos para evaluar el efecto fertilizante del compost sobre distintos cultivos; análisis a largo plazo del impacto sobre propiedades del suelo (contenido de carbono, actividad microbiana, salinidad acumulada); y pruebas de dosis más finas para confirmar el intervalo óptimo de BAL en condiciones climáticas y de residuos diversas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## XI. Referencias bibliográficas

Álvarez, A., & Sánchez, L. (2021). *Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost*. Redalyc, 39, 9. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792021000100131

Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, *13*(2), 542. https://doi.org/10.3390/agronomy13020542

Arrigoni, J. (2011). *Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos* [Tesis de maestría .Universidad Nacional del Comahue] https://www.academia.edu/26863127/Evaluación_del_desempeño_de_diferentes_prototipos_de_compostadores_en_el_tratamiento_de_residuos_orgánicos_Tesis_de_ Maestría

Asociación Catalana de Ingeniería Sin Fronteras. (2018). *Manual de producción de compost. Quito: Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres.* Artes Gráficas SILVA.

https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf

Avidov, R., Varma, V. S., Saadi, I., Khoury, O., Chen, Y., & Laor, Y. (2022). A Combined Field–Lab Approach for Assessing Salmonella Infantis Persistence in Broiler Litter in a Stockpile and Composting

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Sleeve. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *6*, 811530. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.811530

Avila, GM de A., Gabardo, G., Clock, DC, y Lima Junior, OS de. (2021). Uso de microorganismos eficientes en la agricultura. *Investigación, Sociedad y Desarrollo* , *10* (8), e40610817515. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17515

Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability*, *12*(11), 4456. https://doi.org/10.3390/su12114456

Azis, F. A., Choo, M., Suhaimi, H., & Abas, P. E. (2023). The effect of initial carbon to nitrogen ratio on kitchen waste composting maturity. *Sustainability*, *15*(7), 6191. https://doi.org/10.3390/su15076191

Aziz, R., Ruslinda, Y., Sari, N., & Arum, L. (2021). *The effect of chopping raw material on composting result with the biopore infiltration hole method . Materials Science and Engineering, 4(1),8-10.* Doi:10.1088/1757-899X/1041/1/012033

Azurduy, S. (2014). *Evaluación de Activadores Naturales para Acelerar el Proceso de Compostaje de Residuos Orgánicos en el Municipio de Quillacollo*. Scielo, 7 (4), 369-388. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S168307892016000200002&script=sci_abstract

Balarezco, J. (2019). *Obtención de vermicompost con aplicación de microorganismos benéficos, utilizando residuos orgánicos domésticos*.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

[Tesis de Pregrado, Universidad Católica de la Cuenca]. https://dspace.ucacue.edu.ec/items/9ef4da16-6e08-47f5-8aa8-5e6f27a8d51d

Balkrishna, A., Mishra, S., Rana, M., Arya, V., & Singh, S. (2024). Effect of Coliform bacteria on various environmental factors: A review. *International Journal of Health Sciences and Research*, *14*(5), 279-292.

Bangar, S. P., Suri, S., Trif, M., & Ozogul, F. (2022). Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach. *Food bioscience*, *46*, 101615. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615

Barrena, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso* [Tesis de doctorado, Universitat Autónoma de Barcelona]. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf

Bravo, Y. (2017). *Aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes* [ Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12671/1/T-UCE-0017-0052-2017.pdf

Cabezas, D., Andrade, D., & Torres,J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Cao, Q., Zhang, W., Zheng, Y., Lian, T., & Dong, H. (2020). Production of short-chain carboxylic acids by co-digestion of swine manure and corn silage: Effect of carbon-nitrogen ratio. *Transactions of the ASABE*, *63*(2), 445-454. https://doi.org/10.13031/trans.13878

Caruajulca Díaz, J. L., Sánchez Rojas, A., Muñoz Chávarry, P., Chávez Collantes, A., Vega Eras, M. Y., & Sánchez Iglesias, O. A. (2022). Caracterización fisicoquímica de compost producido con residuos



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

orgánicos obtenidos del mercado mayorista de Chota, Cajamarca, Perú. *Revista Ciencia Nor@ndina*, *5*(2), 126–138. https://doi.org/10.37518/2663-6360X2022v5n2p126

Cariello, M., & Castañeda, L. (2007). *Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. Scielo*, 7(3), 12. https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v7n3/art03.pdf

Castillo, L. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi.*[Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8245

Cieza, J. E. (2017) *Aplicación de bacterias ácido lácticas para acelerar la descomposición de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el centro de compostaje Yencala Boggiano*.[Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/11185/ciezа_pj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ComexPerú (2022). Solo aprovechamos el 1% de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos. https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos

Cristóbal, J., Vázquez-Rowe, I., Margallo, M., Ita-Nagy, D., Ziegler-Rodriguez, K., Laso, J., ... & Aldaco, R. (2022). Climate change mitigation potential of transitioning from open dumpsters in Peru: Evaluation of mitigation strategies in critical dumpsites. *Science of The Total Environment*, *846*, 157295. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157295

Cvetkovic, A., Maguiña, J., Soto, A., Lama, J., & Correa, L. (2021). Estudios transversales. Scielo, 21(1), 179-185. http://www.scielo.org.pe/pdf/rfmh/v21n1/2308-0531-rfmh-21-01-179.pdf

Del Pilar Maldonado Rojas, J. (2020). *Comparación de la calidad del compost*



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

*resultante del proceso realizado por microorganismos eficientes comerciales y naturales en el distrito de Jepelacio* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSS_*be6ee3b6276808b2edf436de8b7f52b3*/Details

Diaz Huachaca, S. M. (2022). *Impacto ambiental del botadero Patapampa controlado del material reciclable en el distrito de Pauza, Paucar del Sara Sara-Ayacucho, 2022.* Universidad Nacional San Luis Gonzaga. https://hdl.handle.net/20.500.13028/5669

Dubey, M., Kumar, S., & Ram, M. (2025). Methods of Composting in Organic Farming. In *Organic Production of Vegetable Crops* (pp. 289-326). Apple Academic Press.

EPA - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2013). *Compost guideline. Environment Protection Authority-South Australia*. https://www.epa.sa.gov.au/files/7687_guide_compost.pdf

Eulloque Guerrero, J. (2013). *Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de eisenia foetida obtenido del contenido ruminal de bovino* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. https://www.redalyc.org/pdf/436/43631105.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Santiago: Portal Terminológico de la FAO*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf

Fourti, O., & Jedidi, N. (2011). *Comparison of methods for evaluating stability and maturity of co-composting of municipal solid wastes and sewage sludge in semi-arid pedo-climatic condition. Natural Science*, 3 (2), 124-135.

Doi: 10.4236/ns.2011.32018.

Gayathri, L. N., & Nair, P. (2023). Role of Aerobic and Anaerobic Bacteria in the Bio-conversion of Lignocellulose waste material. *Journal of Microbes and Research*, *2*(1), 2836-2187. https://doi.org/10.58489/2836-2187/008



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Ge, M., Shen, Y., Ding, J., Meng, H., Zhou, H., Zhou, J., ... y Liu, J. (2022). Nuevos conocimientos sobre el impacto del contenido de humedad y el pH en la materia orgánica disuelta y la dinámica microbiana durante el compostaje de estiércol de ganado. *Bioresource Technology* , *344* , 126236. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126236

Getaneh, Z., Nigussie, A., Desta, A., & Love, N. G. (2021). Food waste produced lactic acid for pathogen inactivation, urea stabilization and odor control in feces. *African Journal of Environmental Science and Technology*, *15*(10), 390-398. https://doi.org/10.5897/AJEST2021.3056

Gondek, M., Weindorf, D. C., Thiel, C., & Kleinheinz, G. (2020). Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review. *Compost Science & Utilization*, *28*(2), 59-75. https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1772906

Hernández , R., Fernández , C. & Baptista , P. (2014). *Metodología de la investigación.* 6 ed. Mc Graw Hill Education. México. https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

Hidalgo, D., Corona, F., & Martín-Marroquín, J. M. (2022). Manure biostabilization by effective microorganisms as a way to improve its agronomic value. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *12*(10), 4649-4664. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02428-x

Husaini, T., & Trisakti, B. (2017). *Composting of empty fruit bunches in the tower composter – effect of air intake holes. IOP Publishing*, 309(1),9. DOI:10.1088/1757-899X/309/1/012066

INACAL. (2021). NTP 201.208:2021. *Fertilizantes. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales*. Lima: Gobierno Peruano.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Boletin_de_Normas_Legales/NL20210726.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019). *Residuos Sólidos. Lima: Plataforma del Estado Peruano.*

https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/c-residuos-10291/

Ji, Z., Zhang, L., Liu, Y., Li, X., & Li, Z. (2023). Evaluation of composting parameters, technologies and maturity indexes for aerobic manure composting: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, *886*, 163929. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163929

Juanga-Labayen, J. P., Labayen, I. V., Montalbo-Lomboy, M., Ngo, M. T. T., & Doan, P. V. M. (2024). Emerging Green Technologies for Organic Waste Management. In *Waste Management in Climate Change and Sustainability Perspectives* (pp. 3-26). CRC Press.

Largo, A., & Alvarez, M. (2019). *Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. Scielo*, 10(3), 9., http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172019000300005

Li, E., Saleem, F., Edge, T. A., & Schellhorn, H. E. (2021). Biological indicators for fecal pollution detection and source tracking: A review. *Processes*, *9*(11), 2058. https://doi.org/10.3390/pr9112058

Liberato Soto, N. E. (2020). *Microorganismos eficientes y su efecto en el tratamiento de lixiviados generados en el proceso de compostaje en el centro ecoturístico de protección ambiental "Santa Cruz"-CEPASC, Concepción, 2019.* Universidad Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/8572

Liu, G., Mamode Ally, N., Dooly, D. D., Li, Y., Boodhoo, K., & Neetoo, H. (2021). A study on the effectiveness of a defined microbial consortium to enhance the microbiological safety of cattle manure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(6), 2614-2620. https://doi.org/10.1002/jsfa.10886

Llerena, M. (2015). *Aplicación de BALs (bacterias acidolácticas; bacterias fototrópicas; hongos; levaduras) para la producción de compost a partir*



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

*de los desechos sólidos generados*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]

https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/12945

Ludeña, M. J. (2019) *Efecto de los microorganismos eficaces en la descomposición de los desechos sólidos orgánicos más estiércol de ganado vacuno en el distrito de José Gálvez* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2784?show=full

Mahapatra, S., Ali, M. H., & Samal, K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus*, *6*, 100062. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100062

Manga, M., Muoghalu, C. C., & Acheng, P. O. (2023). Inactivation of faecal pathogens during faecal sludge composting: a systematic review. *Environmental Technology Reviews*, *12*(1), 150-174. https://doi.org/10.1080/21622515.2023.2182719

Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., & García, N. (2019). *Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36-49. https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2018.11.005

Margaritis, M., Dimos, V., Malamis, D., & Loizidou, M. (2023). An experimental investigation of the composting process in an innovative home composting System: The influence of additives. *Cleaner Materials*, *8*, 100185. https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100185

Ministerio del Ambiente. (21 de Diciembre de 2017). *Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. El peruano*, pág. 32.

https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Ministerio del Ambiente. (28 de Mayo de 2023). *Esto debes saber sobre los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechables . Portal del Gobierno del Perú,* pág. 3.

https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/763484-esto-debes-saber-sobre-los-residuos-solidos-organicos-e-inorganicos-aprovechables

Mokoena, M. P., Omatola, C. A., & Olaniran, A. O. (2021). Applications of lactic acid bacteria and their bacteriocins against food spoilage microorganisms and foodborne pathogens. *Molecules*, *26*(22), 7055. https://doi.org/10.3390/molecules26227055

Moncayo Vasquez, B. (2021). *Calidad de compost a partir de residuos orgánicos domiciliarios, con aplicación de microorganismos benéficos*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca]

https://dspace.ucacue.edu.ec/items/2117d515-bfef-472e-90c2-00416aafbd71

Moncks, P. C. S., Corrêa, É. K., Guidoni, L. L. C., Moncks, R. B., Corrêa, L. B., Lucia Jr, T., ... & Marques, F. S. (2022). Moisture content monitoring in industrial-scale composting systems using low-cost sensor-based machine learning techniques. *Bioresource Technology*, *359*, 127456. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127456

Nagao , N., Matsuyama, T., & Yamamoto, H. (2003). *A novel hybrid system of solid state and submerged fermentation with recyclefor organic solid waste treatment. Science Direct*, 39(1), 43.

https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00292-3

Naranjo, E. (2013) . *Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Técnica de Ambato].

https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/5310

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2021). *Beneficios del compostaje, reuso y reciclaje de nutrientes para la productividad agrícola.Portal de la FAO*. Food and Agriculture



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Organization of the United Nations.

https://www.fao.org/land-water/overview/onehealth/composting/en/

Palaniveloo, K., Amran, M. A., Norhashim, N. A., Mohamad-Fauzi, N., Peng-Hui, F., Hui-Wen, L., ... & Razak, S. A. (2020). Food waste composting and microbial community structure profiling. *Processes*, *8*(6), 723. https://doi.org/10.3390/pr8060723

Paredes, J., & Dueñas, A. (2021). *Aplicación de microorganismos eficientes en la descomposición de residuos de palma africana para la elaboración de compost. Research Gate,* 11(2), 17.

DOI:10.31381/paideia%20xxi.v11i2.4085

Pease, B., Thompson, G. L., & Thoms, A. W. (2022). Evaluation of compost and soil mix ratios for perennial ryegrass establishment on topsoil and subsoil. *HortTechnology*, *32*(2), 191-198. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04939-21

Peña, H., Mendoza, H., Diánez, F., & Santos, M. (2020). Parameter selection for the evaluation of compost quality. *Agronomy*, *10*(10), 1567. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126236

Pérez Avalos, C. (2017). *Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos Para el Recinto Universitario Rubén Darío Unan-Managua, durante el plazo del 2016* al *2022.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Atuónoma de Nicaragua]. https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/9425/

Pezzolla, D., Cucina, M., Proietti, P., Calisti, R., Regni, L., & Gigliotti, G. (2021). The use of new parameters to optimize the composting process of different organic wastes. *Agronomy*, *11*(10), 2090. https://doi.org/10.3390/agronomy11102090

Popescu, I. S., Covaliu-Mierlă, C. I., Niculescu, V. C., & Șandru, C. (2025). Home Composting: A Sustainable Solution at Community Level. *Sustainability*, *17*(8), 3368. https://doi.org/10.3390/su17083368

Quyen,T., Hiroshi, M., & Kiyohiko, N.(2015) *Inoculation of lactic acid bacterium accelerates organic matter degradation during composting*. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 104, 377-383.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.07.007

Rafael Avila, M. D. (2015) *Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos, Sapallanga – Huancayo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Centro del Perú] http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3511

Ram, C., & Kumar, A. (2021). 2 Municipal Solid Waste. *Nanobiotechnology for Green Environment*, 37.

Rama, H., Akindolire, M., Obi, L., Bello-Akinosho, M., Ndaba, B., Dhlamini, M. S., ... & Roopnarain, A. (2023). Anaerobic digestion: Climate change mitigation through sustainable organic waste valorization. In *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change* (pp. 1-19). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98067-2_7-1

Raman, J., Kim, J. S., Choi, K. R., Eun, H., Yang, D., Ko, Y. J., & Kim, S. J. (2022). Application of lactic acid bacteria (LAB) in sustainable agriculture: advantages and limitations. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(14), 7784. https://doi.org/10.3390/ijms23147784

Rawoof, S. A. A., Kumar, P. S., Vo, D. V. N., Devaraj, K., Mani, Y., Devaraj, T., & Subramanian, S. (2021). Production of optically pure lactic acid by microbial fermentation: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *19*, 539-556. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01083-w

Regueira, A., Lema, J. M., & Mauricio-Iglesias, M. (2021). Microbial inefficient substrate use through the perspective of resource allocation models. *Current Opinion in Biotechnology*, *67*, 130-140. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.01.015

Ríos, O., Salas, S., & Sánchez, M. (1993). *Manual de Lombricultura en Trópico Húmedo. Iquitos: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*. https://repositorio.iiap.gob.pe › Rios_Libro_1993

Roy, E. D., Esham, M., Jayathilake, N., Otoo, M., Koliba, C., Wijethunga, I. B., & Fein-Cole, M. J. (2021). Compost quality and markets are pivotal for



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sustainability in circular food-nutrient systems: a case study of Sri Lanka. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*, 748391. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.748391

Sadeghi, S., Nafez, A. H., Nikaeen, M., Mohammadi, F., Tady, D. J., & Hatamzadeh, M. (2023). Microbial indicators in municipal solid waste compost and their fate after land application of compost. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *21*(1), 85-92. https://doi.org/10.1007/s40201-022-00841-y

Sanchez, L. (2024). *Eficiencia de las bacterias ácido lácticas para acelerar la descomposición de residuos orgánicos para el compostaje, Kotosh, Huánuco 2023-2024-* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]

https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/5336

da Silva, F. O., Camargo, A. F., & Treichel, H. (2024). Thermotolerant coliform bacteria present in water bodies. *Brazilian Applied Science Review*, *8*(1), 42–67. https://doi.org/10.34115/basrv8n1-003

Soriano, J. (2016). *Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de "microorganismos eficaces"- concepción* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. http://hdl.handle.net/20.500.12894/3487

Sun, P., Liu, B., Ahmed, I., Yang, J., & Zhang, B. (2022). Composting effect and antibiotic removal under a new temperature control strategy. *Waste Management*, *153*, 89-98. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.08.025

Taylor, T. M., & Doores, S. X. (2020). Organic acids. In *Antimicrobials in food* (pp. 133-190). CRC Press.

Tran, Q. N. M., Mimoto, H., Koyama, M., & Nakasaki, K. (2019). Lactic acid bacteria modulate organic acid production during early stages of food waste composting. *Science of the Total Environment*, *687*, 341-347. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.113

Uribe, J., & Estrada, M. (2001). *Evaluación de los Microorganismos eficaces (E.M) en producción de abono orgánico a partir del a partir del estiércol de aves de jaula,* 14(2),164–172. *Revista Colombiana de Ciencias*



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

*Pecuarias.*

https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323763

Valeriano Machaca, M. N. (2024). *Impacto ambiental causado en el medio físico, biológico y socioeconómico-cultural del botadero de residuos sólidos municipales del centro poblado de Buenavista Chacachaca del distrito de Pomata 2022.* Universidad Privada San Carlos. http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/828

Vinti, G., & Vaccari, M. (2022). Solid waste management in rural communities of developing countries: An overview of challenges and opportunities. *Clean Technologies*, *4*(4), 1138-1151. https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040069

Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M., ... & Lin, H. A. (2023). Composting processes for agricultural waste management: a comprehensive review. *Processes*, *11*(3), 731. https://doi.org/10.3390/pr11030731

Wang, G., Ren, Y., Bai, X., Su, Y., & Han, J. (2022). Contributions of beneficial microorganisms in soil remediation and quality improvement of medicinal plants. *Plants*, *11*(23), 3200. https://doi.org/10.3390/plants11233200

Wang, Z., Wu, D., Lin, Y., & Wang, X. (2021). Role of temperature in sludge composting and hyperthermophilic systems: a review. *BioEnergy Research*, 1-15. https://doi.org/10.1007/s12155-021-10281-5

Waste Atlas (2018) What a waste: an updated look into the future of solid waste management. https://www.worldbank.org/en/news/ immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-intothe-future-of-solid-waste-management. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.12.003

Yang, H., Zhang, H., Qiu, H., Anning, D. K., Li, M., Wang, Y., & Zhang, C. (2021). Effects of C/N Ratio on lignocellulose degradation and enzyme activities in aerobic composting. *Horticulturae*, *7*(11), 482. https://doi.org/10.3390/horticulturae7110482

Yee, F., Chew, L., Jiří, K., & Lee, C. *Evaluation of Effective Microorganisms on*



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

*home scale organic waste composting. Journal of Environmental Management,* 216, 41-48

https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.019

Zurita, J., Márquez, H., Miranda, G., & Villasís, M. (2018). *Estudios experimentales: diseños de investigación para la evaluación de intervenciones en la clínica. RAM,* 65(2), 178-186.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902018000200178



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## XII. Abreviaturas

- Residuos orgánicos municipales (ROM)

- Bacterias ácido lácticas (BAL)



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

# XIII. Anexos

## Anexo 1.

*Aprobación del proyecto de tesis*

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 052-2023-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 17 de marzo del 2023

**VISTO:**
El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética (**N° de Constancia: 018-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023**) del proyecto de tesis titulado: ***EFECTO DEL PICADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES Y APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN LA MADUREZ DEL COMPOST EN EL CEPASC, CONCEPCIÓN - JUNÍN, 2022***, presentado por:

- **JOSÉ MARÍA MELO MARMOLEJO**
- **ÁLVARO MARCELO GARRIAZO SUNI**

**CONSIDERANDO:**
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: ***EFECTO DEL PICADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES Y APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN LA MADUREZ DEL COMPOST EN EL CEPASC, CONCEPCIÓN - JUNÍN, 2022*** con N° de registro: **PRE-11-2022-00078**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como **asesor** para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

**Dr. Gonzalo Francisco Flores Roca**
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Anexo 2.**

*Autorizaciones*



Municipalidad Provincial de
CONCEPCIÓN

"Año de la Unidad, la Paz y del Desarrollo"

Concepción, 14 de abril del 2023

**CARTA N° 017– 2023-GEMA/MPC**

**Señor (a):**
**JOSE MARIA MELO MARMOLEJO**
**Dirección Jr. Dos de mayo N° 884-Concepción**

Presente. -

**Asunto: AUTORIZACION PARA REALIZAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.**

De mi consideración:

Por medio del presente me dirijo a usted, asimismo para hacer de su conocimiento que se **AUTORIZA REALIZAR EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (TESIS)** con título "Efecto del picado de residuos orgánicos municipales y aplicación de bacterias acido lácticas en la madurez del compost en el CEPASC, Concepcion-Junin-2022", el mismo que deberá de presentar el plan de trabajo a realizar donde indique la fecha de inicio.

Sin otro particular, espero la atención al presente.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CONCEPCIÓN
Ing. Danny Ursulo Cuba Ramos
GERENTE DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

CC. ARCHIVO.

GESTIÓN EDIL 2023-2026
Oportunidad para todos.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Anexo 3.**

*Métodos del análisis de compost en laboratorio*

| Parámetro | Método |
|---|---|
| pH | pHmetro |
| Relación C/N | Micro Kjeldahl (%) |
| Potasio | Absorción Atómica (%) |
| Fósforo | Digestión Vía Seca(%) |
| Materia orgánica. | Walkley y Black (%) |
| Conductividad Eléctrica | Conductómetro (dS/m) |



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Anexo 4.**

*Evidencia Fotográfica*

*Identificación del área de trabajo*



*Delimitación de celdas de compost*







Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Anexo 4.**

*Recolección de materia seca (paja)*





*Preparación de las bases de las celdas de compost con la aplicación del material seco*





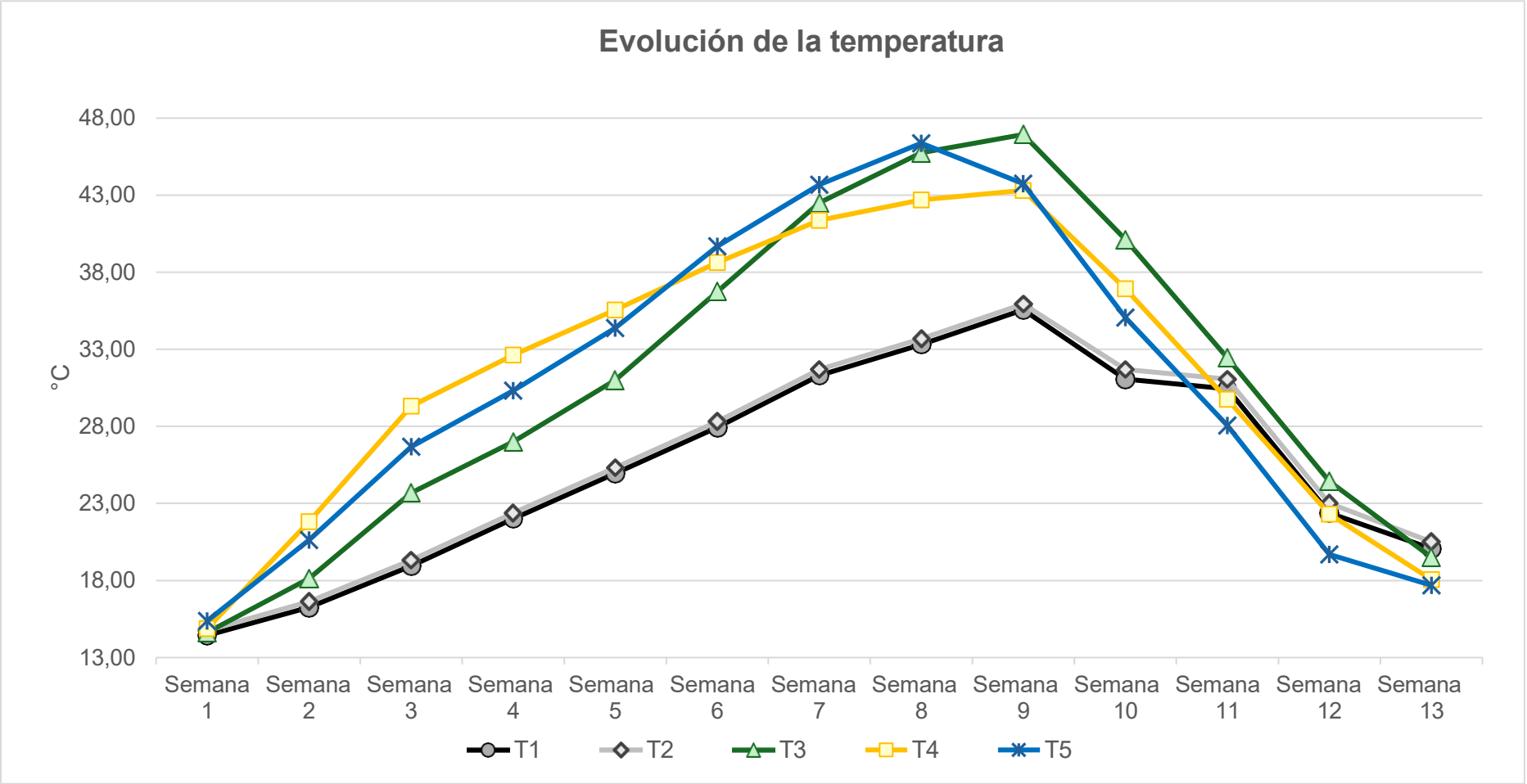


Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Anexo 5.**

*Evolución de la temperatura según tratamientos*

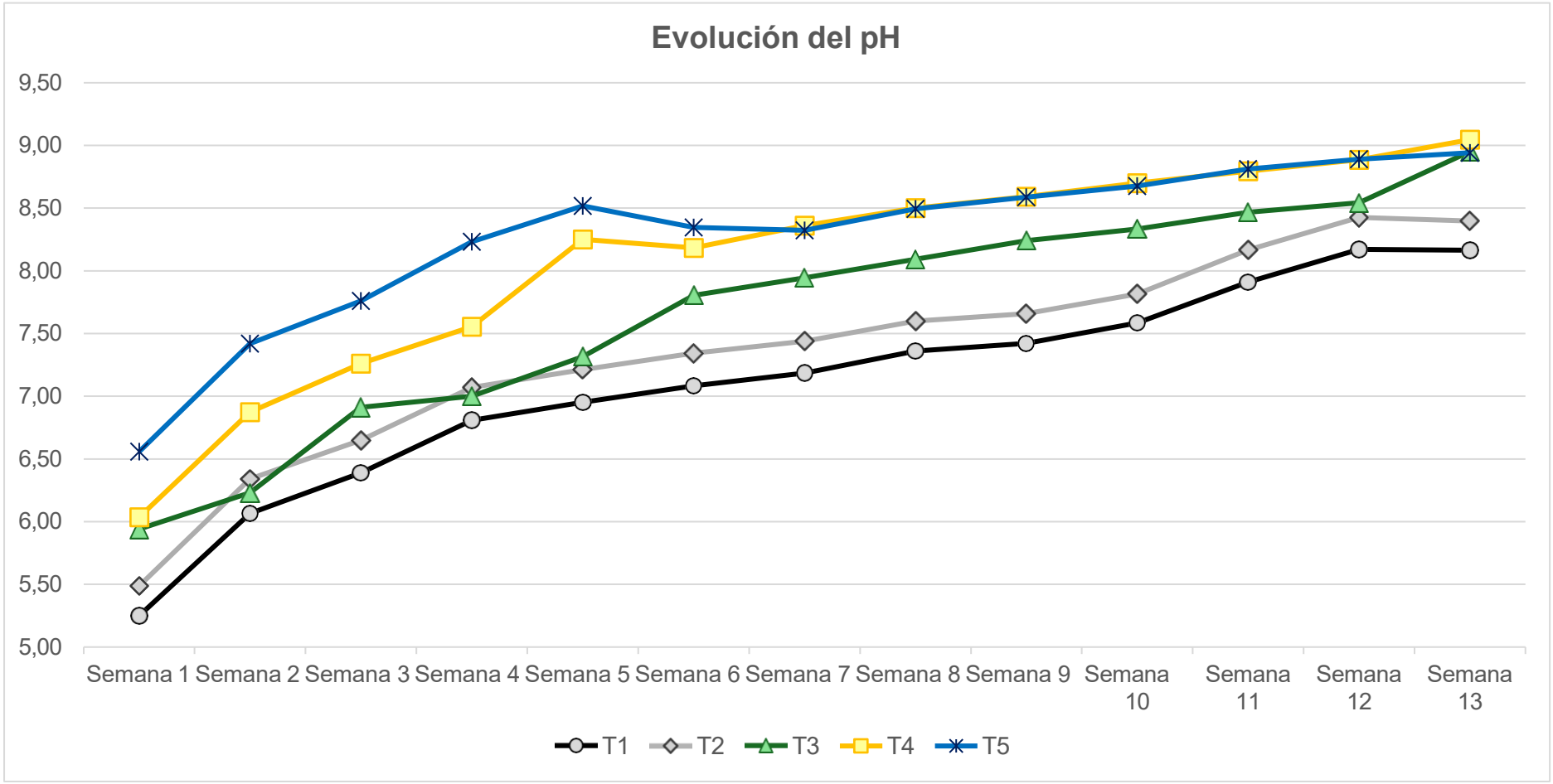



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

**Anexo 6.**

***Evolución del pH según tratamientos***






Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

## Anexo 7.

*Análisis de normalidad*

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Temperatura | Control | ,209 | 9 | ,200* | ,823 | 9 | ,037 |
| | Tratamieno 1 | ,356 | 9 | ,002 | ,655 | 9 | ,000 |
| | Tratamiento 2 | . | 16 | . | . | 16 | . |
| | Tratamiento 3 | ,489 | 16 | ,000 | ,514 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,536 | 16 | ,000 | ,273 | 16 | ,000 |
| pH | Control | ,215 | 9 | ,200* | ,821 | 9 | ,036 |
| | Tratamieno 1 | ,215 | 9 | ,200* | ,821 | 9 | ,036 |
| | Tratamiento 2 | ,299 | 16 | ,000 | ,744 | 16 | ,001 |
| | Tratamiento 3 | ,511 | 16 | ,000 | ,316 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,371 | 16 | ,000 | ,665 | 16 | ,000 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| CN | Control | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamieno 1 | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamiento 2 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 3 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| CE | Control | ,351 | 9 | ,002 | ,717 | 9 | ,002 |
| | Tratamieno 1 | ,351 | 9 | ,002 | ,717 | 9 | ,002 |
| | Tratamiento 2 | ,324 | 16 | ,000 | ,724 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 3 | ,429 | 16 | ,000 | ,594 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,365 | 16 | ,000 | ,674 | 16 | ,000 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| K | Control | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamieno 1 | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamiento 2 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 3 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P | Control | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamieno 1 | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamiento 2 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 3 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,398 | 16 | ,000 | ,621 | 16 | ,000 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| MO | Control | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamieno 1 | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamiento 2 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 3 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramientos | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Coliformes | Control | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamieno 1 | ,244 | 16 | ,012 | ,795 | 16 | ,002 |
| | Tratamiento 2 | ,239 | 16 | ,015 | ,796 | 16 | ,002 |
| | Tratamiento 3 | ,398 | 16 | ,000 | ,621 | 16 | ,000 |
| | Tratamiento 4 | ,431 | 16 | ,000 | ,591 | 16 | ,000 |

a. Corrección de significación de Lilliefors



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Anexo 8.**

*Análisis estadístico Kruskal Wallis*

**Resumen de prueba de hipótesis**

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|---|---|---|---|
| 1 | La distribución de Temperatura es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |
| 2 | La distribución de pH es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |
| 3 | La distribución de CE es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**Resumen de prueba de hipótesis**

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|---|---|---|---|
| 1 | La distribución de CN es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |
| 2 | La distribución de K es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |
| 3 | La distribución de P es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |
| 4 | La distribución de MO es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |
| 5 | La distribución de Coliformes es la misma entre las categorías de Tramientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | ,000 | Rechazar la hipótesis nula. |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,0



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

**CONSTANCIA N° 018-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023**

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

| | |
|---|---|
| Código de registro: | **PRE-11-2022-00078** |
| Título: | **Efecto del picado de residuos orgánicos municipales y aplicación de bacterias ácido lácticas en la madurez del compost en el CEPASC, Concepción - Junín, 2022** |
| Investigador(a): | **José María Melo Marmolejo; Álvaro Marcelo Garriazo Suni** |

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 26 de agosto de 2024**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 27 de febrero de 2023




Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja
Presidenta (e)
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad