

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

Autor:

Oña Vinocunga Alex Santiago

Tutor:

Castillo De La Guerra Clever Gilberto

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto - 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Oña Vinocunga Alex Santiago, con cédula de ciudadanía No. 0503731820, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025"**, siendo Ing. MSc. Castillo De La Guerra Clever Gilberto, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 6 de agosto del 2026

Alex Santiago Oña Vinocunga
C.C: 0503731820
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **OÑA VINOCUNGA ALEX SANTIAGO**, identificado con cédula de ciudadanía **0503731820** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 - Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: Ing. Clever Gilberto Castillo De La Guerra, PhD

Tema: **"EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025"**,

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.
c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 6 días del mes de agosto de 2026.

Alex Santiago Oña Vinocunga	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
EL CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

"EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025", de Oña Vinocunga Alex Santiago, de la carrera de Agropecuaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 6 de agosto del 2026

Ing. Clever Gilberto Castillo De La Guerra, PhD
C.C: 0501715494
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Oña Vinocunga Alex Santiago, con el título del Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025"**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 6 de agosto del 2026

Ing. Jhinson Martinez Luzuriaga, Mcs.
C.C: 1104864127
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

MVZ. Edie Molina Cuasapaz, Mtr.
C.C: 1722547278
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Juan Carlos Tapia Molina, Mcs.
CC: 0503480154
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a los docentes de la carrera de Agropecuaria, donde adquirí conocimientos y puede desarrollar las competencias necesarias para desempeñarme como profesional y contribuir al desarrollo de la sociedad.

De igual manera un profundo agradecimiento a mis padres por enseñarme los valores de la vida, quienes con su amor, empeño y trabajo diario me han dado la mejor herencia, el estudio, y ser ejemplo de superación, ya que todo fin requiere mucho esfuerzo y sacrificio, son los pilares fundamentales para que me pueda formar como persona.

Alex Santiago Oña Vinocunga

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por darme la sabiduría y fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, Luis y Martha, por su apoyo moral en todos estos años, enseñarme el valor del estudio y del trabajo honesto, por ser mis guías de bien en este camino denominado vida, por darme su apoyo incondicional y confiar en las decisiones que he tomado para llegar a ser quien soy.

Alex Santiago Oña Vinocunga

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025"

Autor:
Oña Vinocunga Alex Santiago

RESUMEN

La lenta descomposición de la materia orgánica genera problemas ambientales y reduce su aprovechamiento como abono. Ante esta problemática la presente investigación se desarrolló en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el propósito de evaluar el uso de microorganismos eficientes (ME) en el proceso de descomposición de materia orgánica. Se capturaron microorganismos nativos de la zona mediante trampas de arroz y posteriormente se aislaron, purificaron y propagaron en laboratorio, identificándose cultivos de *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis*. La suspensión de *Trichoderma* spp. Presentó una concentración estimada de $2{,}5\times10^{8}$ esporas/ml, mientras que la suspensión de *Bacillus subtilis* fue de $2{,}1\times10^{10}$ células/ml. Se estableció un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, para un total de 27 unidades experimentales. Los tratamientos estuvieron constituidos por la combinación de microorganismos eficientes nativos y comerciales, un testigo sin aplicación de ME con tres materias orgánicas: gallinaza, cuyaza y bovinaza. Cada unidad experimental estuvo conformada por 11 kg de materia orgánica depositada en macetas Air-Pot; en los tratamientos inoculados se aplicaron 1,5 L de solución microbiana una sola vez al inicio del experimento. Las variables temperatura, pH, humedad y peso se registraron en los días 0, 7, 14, 21 y 28. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, ANOVA de medidas repetidas, prueba de Tukey (5 %) en el software Python. Las variables analizadas por tratamiento influyeron significativamente en la temperatura, el pH, la humedad y el peso. El análisis de varianza de medidas repetidas encontró alta significancia del tratamiento ($F = 23.854$; $p < 0.001$), no significancia del día de medición ($F = 1.578$; $p = 0.189$) y significancia de la interacción tratamiento × día ($F = 1.838$; $p = 0.017$), lo que indica que el efecto del tiempo en el pH depende del tratamiento.

Palabras clave: microorganismos eficientes, compostaje, descomposición de materia orgánica, gallinaza, bovinaza, cuyaza, agricultura sostenible.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "EVALUATION OF THE USE OF EFFECTIVE MICROORGANISMS (EM) TO ACCELERATE THE DECOMPOSITION PROCESS OF ORGANIC MATTER, SALACHE 2025"

Author:
Oña Vinocunga Alex Santiago

ABSTRACT

The slow decomposition of organic matter generates environmental problems and reduces its use as fertilizer. In response to this problem, the present research was conducted at the Salache Campus of the Technical University of Cotopaxi, with the purpose of evaluating the use of efficient microorganisms (EM) in the decomposition process of organic matter. Indigenous microorganisms from the area were trapped using rice traps and the isolated strains were used to obtain pure cultures of Trichoderma spp. and Bacillus subtilis. The Trichoderma spp. suspension had an estimated concentration of $2,5\times10^{8}$ spores/ml, and the Bacillus subtilis suspension had an estimated concentration of 2,1×10^10 cells/ml. Nine treatments were arranged in three replications in a completely randomized design, yielding a total of 27 experimental units. The treatments consisted of a combination of native and commercially available efficient microorganisms, a control without EM application, and three types of organic matter: chicken manure, guinea pig manure, and cattle manure. Each experimental unit consisted of 11 kg of organic matter placed in Air-Pot containers. In the inoculated treatments, 1.5 L of microbial solution was applied once at the beginning of the experiment. Temperature, pH, humidity, and weight were recorded on days 0, 7, 14, 21, and 28. Data were analyzed using descriptive statistics, repeated measures ANOVA, and Tukey's test (5%) in Python software. The variables analyzed by treatment significantly influenced temperature, pH, humidity, and weight. The repeated measures ANOVA showed that the treatment had a highly significant effect on pH ($F = 23.854$; $p < 0.001$). In contrast, the evaluation day did not show a significant effect ($F = 1.578$; $p = 0.189$). However, the treatment × day interaction was significant ($F = 1.838$; $p = 0.017$), indicating that the pH response over time depended on the treatment applied.

Keywords: efficient microorganisms, composting, decomposition of organic matter, chicken manure, cattle manure, guinea pig manure, sustainable agriculture.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR iii

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN vi

AGRADECIMIENTO vii

DEDICATORIA viii

1. INFORMACIÓN GENERAL xv

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 3

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. 3

5. OBJETIVOS: 4

5.1. General 4

5.2. Específicos 4

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS. 4

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA 7

7.1 Microorganismos 7

7.2 Microorganismos Eficientes 8

7.2.1 Grupos de microorganismos eficientes en la agricultura 8

7.2.2 Beneficios de los microorganismos eficientes en la agricultura. 9

7.3 Tipos de organismos descomponedores. 10

7.4.1 Fuentes de materia orgánica. 11

7.5 Descomposición 15

7.5.1 Descomposición de materia orgánica. 16

7.5.2 Fases del compostaje. 16

7.6 Factores de la Descomposición.....18
7.6.1 El clima.....18
7.6.2 La vegetación.....18
7.6.3 La composición del suelo.....19
7.6.4 La situación del terreno.....19
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.....19
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....20
9.1. Metodología.....20
9.1.1. Área de investigación y duración del proyecto.....20
9.1.1.1. Ubicación de la zona estratégica.....20
9.2 Metodología de laboratorio.....23
9.3 Metodología de campo.....28
9.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....36
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....41
Estadísticas descriptivas.....42
10.1. Análisis de las variables de respuesta.....44
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....60
12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....61
14. BIBLIOGRAFÍA.....63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos por Actividad. 4

Tabla 2. Concentración microbiana Trichoderma spp. 26

Tabla 3. Concentración microbiana Bacillus subtilis. 27

Tabla 4. Tratamientos del experimento. 37

Tabla 5. Frecuencia de medición. 38

Tabla 6. Sustratos y dosis por cada unidad experimental. 39

Tabla 7. Interacciones de Tratamientos. 40

Tabla 8. Esquema de Implementación en Campo 40

Tabla 9. Resultados de la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) por tratamiento. 42

Tabla 10. Medias y desviaciones por día. 42

Tabla 11. Medias por tratamiento. 43

Tabla 12. Matriz de correlación de Pearson. 43

Tabla 13. Análisis de varianza de medidas repetidas para la temperatura. 44

Tabla 14. Comparaciones de tratamientos con diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). 46

Tabla 15. Análisis de varianza de medidas repetidas para el pH. 47

Tabla 16. Comparación de medias del pH entre tratamientos mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). 49

Tabla 17. Análisis de varianza de medidas repetidas para la variable Humedad. 51

Tabla 18. Comparación de medias de la humedad entre tratamientos mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). 52

Tabla 19. Análisis de varianza de medidas repetidas para la variable Peso. 53

Tabla 20. Comparaciones de tratamientos con diferencias significativas para el peso mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). 55

Tabla 21. Costos de materiales e insumos. 58

Tabla 22. Costos por tratamiento. 57

Tabla 23. Relación beneficio/costo estimada de los tratamientos. 58

Tabla 24. Tabla redactada de los costos y presupuesto del proyecto. 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del proyecto 20

Figura 2. Trampas de arroz para captura de microorganismos. 22

Figura 3. Trampas de arroz enterradas en área de cultivos y zona boscosa Salache. 22

Figura 4. Microorganismos de montaña aislados. 23

Figura 5. Aislamiento de microorganismos de montaña ubicación Salache. 23

Figura 6. Microorganismos de montaña Trichoderma spp y Bacillus subtilis. 24

Figura 7. Trichoderma ssp y Bacillus subtilis microscopicamente. 25

Figura 8. Trichoderma spp y Bacillus subtilis purificados. 25

Figura 9. Solución de Trichoderma spp y Bacillus subtilis. 27

Figura 10. Microorganismos eficientes comerciales. 29

Figura 11. Eficientes Comercial activados. 30

Figura 12. Microorganismos de Montaña solución líquida Trichoderma spp. 30

Figura 13. Microorganismos de montaña solución líquida Bacillus subtilis. 31

Figura 14. Materia orgánica: gallinaza, bovinaza, cuyaza. 31

Figura 15. Pesaje por cada unidad experimental mediante una balanza. 32

Figura 16. Distribución de materias orgánicas en la unidad experimental. 32

Figura 17. Distribución de las unidades experimentales. 33

Figura 18. Área experimental con las unidades experimentales etiquetadas. 34

Figura 19. Aplicación de Microorganismos Eficientes mediante aspersión. 35

Figura 20. Monitoreo de los factores en estudio: humedad, temperatura, pH. 35

Figura 21. Proceso de pesaje de unidades experimentales. 36

Figura 22: Evolución de Temperatura 45

Figura 23: Evolución del Ph 48

Figura 24: Evolución de humedad 51

Figura 25: Evolución de peso durante el proceso de descomposición. 54

Figura 26: Matriz de correlación Significativas. 56

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

"EVALUACIÓN DEL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, SALACHE 2025"

Fecha de inicio:

Agosto 2025

Fecha de finalización:

Agosto 2026

Lugar de ejecución:

Barrio Salache- Parroquia Eloy Alfaro - Universidad Técnica de Cotopaxi- Cantón Latacunga - Provincia de Cotopaxi- Zona 3.

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Agropecuaria

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Clever Gilberto Castillo De La Guerra, PhD

Lector 1: Ing. Jhinson Martinez Luzuriaga, Mg

Lector 2: MVZ. Edie Molina Cuasapaz, Mtr.

Lector 3: Ing. Juan Carlos Tapia Molina, Mg

Coordinador del Proyecto:

Nombre/s: Alex Santiago Oña Vinocunga

Teléfonos: 0995323924

Correo electrónico: alex.ona1820@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura -Agricultura, silvicultura y pesca- Agricultura, horticultura y jardinería.

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

Sub línea de investigación:

Manejo sostenible de cultivos y tecnologías de agricultura de precisión conservando la biodiversidad.

Línea de vinculación de la carrera:

Gestión de recursos naturales, biotecnologías, biodiversidad y gestión para el desarrollo humano y social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación se realiza con el propósito de evaluar el uso de microorganismos eficientes (ME) para acelerar el proceso de descomposición de materia orgánica en Salache durante el año 2026. En respuesta a esta problemática, se ha planteado como objetivo el desarrollo de métodos alternativos para la gestión de los residuos orgánicos, que suelen causar problemas como olores desagradables, proliferación de plagas y contaminación del suelo y del agua al acumularse.

Se espera que esta investigación genere la información necesaria que permita conocer la efectividad de los microorganismos eficientes para acelerar la descomposición de los residuos y optimizar el proceso de producción de abonos orgánicos, lo que contribuirá al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

La importancia e impacto de la investigación radica en su contribución a la preservación del medio ambiente y el desarrollo de una agricultura sostenible, a través de su uso de microorganismos eficaces para aumentar la velocidad de descomposición de la materia orgánica, reducir la contaminación, mejorar el reciclaje de residuos y proteger los recursos naturales.

De igual forma, los resultados podrían ser utilizados en el diseño de sistemas de compostaje más eficientes para la producción de abonos orgánicos en menor tiempo y con un mejor valor nutricional, que se traduzcan en una mayor productividad agrícola y en un mejor uso sustentable de los recursos de la comunidad.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Beneficiarios directos:

Los beneficiarios directos son los agricultores, productores y la población del barrio de Salache, que serán capacitados para el manejo de los residuos orgánicos mediante la producción de compost con microorganismos eficientes, para mejorar la calidad del abono producido y para que adopten prácticas de producción más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Beneficiarios indirectos:

También se consideran beneficiarios indirectos de la investigación a los estudiantes, los profesores, los investigadores, los técnicos y las personas que se dediquen o estén interesadas en el manejo biológico de residuos orgánicos, ya que el producto de la investigación será usado como insumo para la ejecución de actividades académicas, proyectos de investigación y formación en la producción de abonos orgánicos y la agricultura sostenible.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

La acumulación de materia orgánica a raíz de los desechos generados por la producción agrícola y ganadera representa un problema para el medio ambiente, ya que en caso de no ser manejada correctamente esta materia orgánica se descompone de forma lenta, provocando malos olores, la proliferación de microorganismos patógenos, la emisión de gases contaminantes y el desperdicio de materiales que pueden ser utilizados como abono orgánico (Noboa, 2021).

Debido al tiempo prolongado que requieren las técnicas tradicionales de manejo de materia orgánica, como el compostaje tradicional, se ha sugerido que la biodegradación, estabilización y aprovechamiento de la materia orgánica podría verse beneficiada por el uso de microorganismos eficientes (ME) como tecnología biológica (Rodríguez, 2013).

Aunque la descomposición natural de la materia orgánica es un proceso biológico, su velocidad suele ser limitada, lo que dificulta una gestión eficiente de los residuos orgánicos. En este contexto, los Microorganismos Eficientes (ME) surgen como una alternativa biotecnológica que podría acelerar el proceso de descomposición, mejorar la actividad microbiana y optimizar la transformación de la materia orgánica. Sin embargo, aún existe insuficiente evidencia científica que permita determinar con claridad la efectividad real del uso de Microorganismos Eficientes en la aceleración del proceso de descomposición de la materia orgánica (Chigue & Saracay, 2021).

En este contexto, el presente proyecto surge de la necesidad de determinar si el uso de microorganismos eficientes (ME), constituidos por bacterias ácido-lácticas, levaduras y microorganismos fotosintéticos, puede acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica.

5. OBJETIVOS:

5.1. General

- Evaluar el uso de microorganismos eficientes (ME) para acelerar el proceso de descomposición de materia orgánica.

5.2. Específicos

- Identificar los microorganismos de montaña capturados, aislados y purificados en el Campus Salache.
- Determinar la eficiencia de los microorganismos eficientes en el proceso de descomposición de materias orgánicas.
- Determinar los costos de implementación de los tratamientos con microorganismos eficientes durante la descomposición de las materias orgánicas.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 1. *Objetivos por Actividad.*

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Obj.Esp.1 Identificar los microorganismos de montaña capturados, aislados y purificados en el Campus Salache	1.1 Captura de microorganismos nativos benéficos, levaduras, bacterias y hongos mediante la técnica de trampas de arroz en campo.	• Técnica de trampas de arroz: enterrar vasos con 50 g de arroz semicocido a 20 cm de profundidad por 2 semanas.	• Obtención de colonias de consorcios microbianos benéficos del suelo agrícola de la zona de estudio Salache.

	1.2 Aislamiento y propagación en laboratorio.	• Siembra en medios selectivos Agar Papa Dextrosa para hongos y Agar Nutritivo para bacterias, incubación y resiembra por agotamiento.	• Cepario puro de bacterias ácido-lácticas, levaduras y hongos.
	1.3 Evaluación de pureza.	• Observación microscópica, tinción de Gram y recuento de esporas y células/mL.	• Informe de pureza y concentración microbiana.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Obj.Esp.2 Determinar la eficiencia de los microorganismos eficientes en el proceso de descomposición de diferentes materias orgánicas.	2.1 Montaje de pilas de compostaje	• Armado y acondicionamiento de las macetas Air-Pot. • Pesaje individual de las materias orgánicas. • Mezcla homogénea de los residuos orgánicos. • Llenado de las macetas Air-Pot. • Aplicación de los microorganismos correspondi	• Pilas experimentales establecidas.

	2.2 Monitoreo semanal por 28 días.	entes a cada tratamiento. • Identificación de las unidades experimentales. • Medición de temperatura, pH, humedad, reducción de peso, tiempo de descomposición.	• Base de datos de descomposición.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Obj.Esp.3 • Determinar los costos de implementación de los tratamientos con microorganismos eficientes durante la descomposición de las materias orgánicas.	3.1 Compra de materiales e insumos de laboratorio	• Establecimientos comerciales especializados en la venta de productos e implementos para laboratorio.	• Cajas Petri, Agar PDA, guantes, mascarilla, bisturí, alcohol al 96 % papel absorbente, botellas plásticas, portaobjetos y cubreobjetos. • Facturas
	3.2 Compra de instrumentos de medición	• Plataformas de comercio electrónico y proveedores especializados en la venta de instrumentos de	• Instrumentos de medición: balanza y soil tester 3 en 1.

		medición agrícola.	
	3.3 Recolección y traslado de la materia orgánica.	• Mano de obra	• Obtención de materia orgánica Gallinaza; Bovinaza, Cuyaza
	3.4 Elaboración del informe económico final.	• Excel	• Tabla de datos

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA.

7.1 Microorganismos

En la década de 1980, el Dr. Teruo Higa, de origen japonés, fue pionero en el desarrollo y aplicación de microorganismos en el ámbito agrícola, que ganaron popularidad a través de productos comerciales desarrollados en laboratorios, se hicieron conocidos como microorganismos eficientes, además, los microorganismos provenientes de ecosistemas montañosos o recolectados de la biosfera han demostrado ser útiles en diversos procesos agrícolas, su uso beneficia a los agricultores al promover una producción sostenible de cultivos, contribuyendo a la conservación del suelo y a la protección de la biodiversidad (Gladys Koralia Mullo Ochoa, 2021).

La actividad microbiana del suelo sus beneficios sobre éste, es fuertemente impactada por las prácticas agrícolas intensivas no sostenibles las condiciones climáticas, a través de modificaciones de las características del suelo a nivel físico, químico y biológico, temperatura, humedad, salinidad, aireación, estado de óxido-reducción, contenido y composición de los gases en el espacio poroso, biodisponibilidad de los nutrientes, pH. De esta manera, el desequilibrio en las comunidades microbianas del suelo desencadena procesos de degradación biológica, reduciendo el rendimiento calidad de los cultivos al aumentar la vulnerabilidad ante

diversos tipos de estrés y limita la capacidad de llevar a cabo sus principales servicios ecosistémicos, tales como: producción de biomasa vegetal, almacenamiento, reciclaje de nutrientes, almacenamiento, filtrado de agua, regulación de clima e inundaciones, mitigación del cambio climático y hábitat para la actividad biológica (Cruz-Cárdenas et al., 2021).

7.2 Microorganismos Eficientes

Los EM son un grupo muy grande de organismos, que cumplen multitud de funciones en el suelo y mantienen en orden los ciclos normales de múltiples sustancias. Esta labor es permanente y gracias a ella la vida en el suelo se mantiene. Estos organismos viven naturalmente en el suelo (bacterias, hongos, actinomicetos) y cumplen múltiples funciones, especialmente degradando o transformando diversos materiales para que sean aprovechados en la nutrición de las plantas. Intervienen además en los ciclos biogeoquímicos en la naturaleza (Agustina, 2019).

Existen microorganismos en el aire, en el suelo, en nuestros intestinos, en los alimentos que consumimos, en el agua que bebemos. Las condiciones actuales de contaminación y uso excesivo de sustancias químicas sintéticas han causado la proliferación de especies de microorganismos considerados degeneradores. Estos microorganismos a grandes rasgos, son causantes de enfermedades en plantas, animales y generan malos olores, gases nocivos al descomponer residuos orgánicos (Montero, 2019).

7.2.1 Grupos de microorganismos eficientes en la agricultura

Bacterias beneficiosas

Bacterias fijadoras de nitrógeno

Rhizobium spp.: Forman una relación simbiótica con las raíces de las leguminosas (como frijoles, guisantes y soja) para fijar nitrógeno atmosférico, lo que mejora la fertilidad del suelo sin necesidad de fertilizantes nitrogenados (Madrid, 2023).

***Azotobacter spp*.:** Son bacterias no simbióticas que fijan nitrógeno libre en el suelo y lo hacen disponible para las plantas (Mero, 2021).

***Azospirillum spp*.:** Fijan nitrógeno y promueven el crecimiento de las raíces mediante la producción de hormonas vegetales (García, 2011).

Bacterias solubilizadoras de fósforo

***Bacillus spp. y Pseudomonas spp*.:** Ayudan a solubilizar fósforo en el suelo, un nutriente esencial para las plantas, que de otro modo podría estar en una forma no disponible para las raíces.

Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR):

***Bacillus subtilis y Pseudomonas fluorescens*:** Estas bacterias estimulan el crecimiento vegetal a través de la producción de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas (Control Bio, 2025).

Hongos beneficiosos

Micorrizas (Glomus spp)

Las micorrizas son asociaciones simbióticas establecidas entre determinados hongos y las raíces de las plantas, cuya función principal es favorecer la absorción de fósforo y otros nutrientes esenciales. Además, contribuyen a incrementar la resistencia de las plantas frente a enfermedades y condiciones de estrés, mejoran las propiedades físicas del suelo al favorecer su estructura, aumentan la retención de agua y la aireación, y ayudan a reducir los procesos de erosión (Gonzalez, Ruscitti, Arango, & Pastorino, 2018).

Trichoderma spp.

Trichoderma es un hongo benéfico que actúa como biocontrolador de patógenos del suelo, protegiendo las raíces de las plantas de enfermedades fúngicas del suelo como *Fusarium* y *Phytophthora,* además de estimular su crecimiento y aumentar la disponibilidad de nutrientes (Control Bio, 2025).

Actinobacterias

Streptomyces spp.

Son bacterias filamentosas que ayudan a descomponer materia orgánica compleja y liberar nutrientes en el suelo. También producen antibióticos naturales que combaten patógenos, protegiendo así a las plantas de enfermedades. Contribuyen a la mejora de la estructura del suelo y la calidad del humus, lo que mejora la fertilidad a largo plazo(Espinosa-barrera, Y, & Centeno-leija, 2021).

7.2.2 Beneficios de los microorganismos eficientes en la agricultura.

- Mejora de la fertilidad del suelo: La fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la descomposición de materia orgánica aumentan la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

- Reducción de insumos químicos. Los microorganismos eficientes reducen la aplicación de fertilizantes y plaguicidas a partir de la disponibilización de nutrientes y el control de plagas, por lo que se considera que contribuyen a una agricultura más sostenible.
- Control biológico de enfermedades: Microorganismos benéficos como Trichoderma y Bacillus suprimen patógenos y protegen las raíces de las plantas frente a infecciones por hongos y bacterias.
- Mejora de la estructura del suelo: Los microorganismos como las micorrizas y las actinobacterias contribuyen a la formación de humus y mejoran la aireación, la retención de agua y la infiltración del agua en el suelo.
- Resiliencia al estrés: Algunos microorganismos ayudan a las plantas a resistir el estrés abiótico como la sequía o la salinidad al mejorar la absorción de agua y nutrientes (Arias, 2010).

7.3 Tipos de organismos descomponedores.

Los descomponedores son el grupo de organismos del ecosistema que descomponen la materia orgánica, es decir, la reducen a compuestos químicos más simples y reciclan los nutrientes. Los descomponedores incluyen hongos, bacterias, gusanos e insectos, cada uno de los cuales tiene un papel que desempeñar en el proceso de descomposición. Por eso, su papel es vital en el equilibrio y la salud del medio ambiente, ya que, al descomponer la materia orgánica, liberan elementos que pueden ser absorbidos nuevamente por las plantas para completar el ciclo de la materia (Buri & Salazar, 2021).

Bacterias y hongos heterótrofos utilizan la materia orgánica para construir su propia sustancia celular y para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales. Para ello transforman la materia orgánica, en determinadas condiciones, en sustancias minerales, siendo esta remineralización de los compuestos orgánicos la principal función de bacterias y hongos en el equilibrio de la materia en el agua. Así es como los nutrientes de las plantas, presentes por sí mismos en cantidades mínimas, se incorporan de forma constante al ciclo de materia permitiendo su desarrollo ininterrumpido. La remineralización completa tiene lugar generalmente en presencia de oxígeno, es decir, en aguas aerobias, ya que en ambientes anaerobios los ciclos de degradación suelen quedar incompletes (L. Rodriguez, 2020).

7.4 Materias Orgánicas

La materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, así como de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos. En general, la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos. En los segundos persiste todavía la composición química e incluso la estructura física de los tejidos animales o vegetales originales (Brandy, 2017).

La materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de N total, pero también contiene otros. elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes. Durante la evolución de la materia orgánica en el suelo se distinguen dos fases: la humidificación y la mineralización. La humidificación es una fase bastante rápida, durante la cual los microorganismos del suelo actúan sobre la materia orgánica desde el momento en que se la entierra (Julca-Otiniano et al., 2006).

7.4.1 Fuentes de materia orgánica.

La fertilización orgánica comprende un conjunto de prácticas orientadas a la incorporación de materiales orgánicos provenientes tanto de la propia unidad de producción como de fuentes externas. Estos insumos, además de suministrar nutrientes minerales esenciales al suelo, favorecen la formación de reservas de humus y aportan compuestos biológicamente activos. Cuando las condiciones edáficas y ambientales son adecuadas, su aplicación contribuye a mejorar la fertilidad, incrementar la productividad y promover la sostenibilidad de los suelos destinados a la producción agrícola. (AEFA, 2021).

Tradicionalmente, las principales fuentes de materia orgánica para la agricultura han sido los estiércoles, el purín, la gallinaza y palomino, el humus de lombriz, turbas, algas marinas, restos vegetales, así como restos orgánicos de procedencia doméstica, urbana o industrial.

El estiércol Bovino.

El estiércol es la mezcla de la cama de los animales y sus deyecciones sólidas y líquidas, que ha sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y después en un proceso de compostaje en el estercolero.

El estiércol bovino es un residuo orgánico generado por el ganado vacuno, compuesto por excretas sólidas y líquidas mezcladas con restos de alimento y material de cama. En el ámbito agrícola, constituye una fuente importante de nutrientes y materia orgánica, ampliamente

utilizada como fertilizante natural para mejorar la productividad de los suelos (Trejo-escareño, Salazar-sosa, Dimas, & Cirilo, 2013).

La utilización irrazonable de fertilizantes sintéticos en los cultivos agrícolas, a pesar de que pueden potenciar la productividad, también han influido en el empobrecimiento de los parámetros físicos y químicos del suelo, lo cual ha influenciado en el ambiente, por el contrario, en distintas investigaciones se ha demostrado que la aplicación de abonos orgánicos, como el estiércol bovino brindan un abanico muy amplio de bondades puesto a que contribuyen en la mejora de las características físicas y químicas del suelo, dan una mayor disponibilidad de los nutrientes a las plantas, mejoran significativamente la estructura, dan mejor aireación, porosidad y capacidad de retención de líquidos, generando un impacto más leve sobre el ambiente, además, los costos de los fertilizantes orgánicos son notablemente menores a los químicos (Vinicio, Peralta, & Ambiental, 2024).

Composición química y nutricional del estiércol bovino.

Desde el punto de vista agronómico, el estiércol bovino aporta macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de micronutrientes como calcio, magnesio y azufre. Su alto contenido de materia orgánica favorece la actividad biológica del suelo y mejora la disponibilidad gradual de nutrientes para las plantas (Trejo-escareño et al., 2013).

Añadir estiércol al suelo influye en los aspectos químicos, biológicos y físicos de su calidad. El estiércol aumenta la productividad vegetal y la materia orgánica, mejora la estructura, la infiltración y la capacidad de retención de agua y, con el tiempo, puede reducir la pérdida de sedimentos y la erosión mediante su aplicación e incorporación al suelo. El estiércol compostado puede mejorar la actividad enzimática y la diversidad bacteriana en los suelos (Silva et al., 2025)

El estiércol, desde que se produce hasta que es utilizado, puede sufrir una serie de pérdidas en el contenido de nutrientes vegetales, que se pueden clasificar en tres tipos:

Pérdidas gaseosas. El estiércol contiene elementos que pueden volatilizarse y que si no se almacena de una forma adecuada se pierden. Estas pérdidas pueden suponer un 10 por 100 del nitrógeno.

Pérdidas por lavado. El estiércol suele almacenarse al aire libre y, por lo tanto, al llover, el agua puede arrastrar los componentes nutritivos. Por esta vía se puede perder un 20 por 100 del nitrógeno, un 5 por 100 del fósforo y más del 35 por 100 del potasio.

Pérdidas por filtración. Estas pérdidas se producen cuando los líquidos del interior de la pila de estiércol pasan al suelo.

Para que no se produzcan estas pérdidas, se sugiere que el estiércol se almacene sobre una superficie de hormigón, que se compacte y que se cubra para evitar el lavado por la lluvia (Rittenhouse, 2020).

Tipos de estiércol bovino utilizados en agricultura

Las tres formas más comunes son estiércol bovino fresco, estiércol bovino seco y estiércol bovino compostado. Este último es el estiércol más apropiado para su uso agrícola ya que es el más estable, el que menor carga de microorganismos patógenos tiene y el que mejor se aprovecha por los cultivos.

Estiércol fresco: Se aplica en su forma más natural. Es bastante húmedo, tiene un alto contenido en nitrógeno amoniacal, en patógenos que pueden resultar dañinos para las raíces, y puede contener semillas de malas hierbas que no han llegado a germinar.

Estiércol Seco: Menos volátil que el fresco, pero contiene compuestos que deben madurar y puede contener patógenos.

Estiércol Compostado: El más beneficioso. Tras un proceso de fermentación controlada (compostaje), se transforma en un material similar al suelo, con nutrientes estables y disponibles, sin olor fuerte y libre de patógenos, mejorando la textura del suelo y su vida microbiana (Martínez & Ronaldo, 2021).

La gallinaza.

La gallinaza es la excreta de las gallinas y pollos; se conocen tres tipos de gallinazas; la gallinaza de jaula, que proviene de las gallinas ponedoras comerciales, localizadas en baterías de jaulas; la gallinaza de piso proviene de las gallinas ponedoras comerciales y gallinas reproductoras, ubicadas en el piso, normalmente con una cama de aserrín u otro material vegetal absorbente; y la pollinaza, que proviene de la actividad del engorde de pollo, rea fizada sobre la cama de material vegetal (El Sitio Avícola, 2016).

Importancia de la gallinaza

Cabe destacar, que existen diferentes conceptos del fertilizante de la gallinaza orgánica, ya que ejerce una influencia positiva sobre la fertilidad del suelo, aumenta la eficacia de los fertilizantes y minerales, por lo tanto, aumenta el rendimiento de las cosechas por la eficacia de mejora que le da al suelo y la producción mundial de alimento (Tade, Huánuco, Roberto, & Paredes, 2022).

El valor fertilizante de las gallinazas se da por el alto contenido de nutrientes y minerales esenciales para el crecimiento de las plantas; los porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio varían de una gallinaza a otra, algunas de manera considerable, por factores como: si está revuelta con material vegetal (cama) o no, el tipo de cama, la humedad, el tiempo que ha permanecido húmeda, tipo de alimentación de las aves, ciclo de producción, entre otras (Tade et al., 2022).

En la actualidad el cultivo ha tomado importancia gracias al compost de la gallinaza como fertilizante natural". Por ello, el fertilizante orgánico es un producto con alto grado de comercialización y de alta rentabilidad, observándose una tendencia creciente en su comercio internacional con el fin de desarrollar un método que permita, sostenibilidad de la producción ya que la demanda creciente de productos naturales no tradicionales ha generado un mercado nacional bastante importante respecto a la aceptación de productos naturales con componentes orgánico (Tade et al., 2022).

Gallinaza como fertilizante agrícola

El valor fertilizante de las gallinazas se da por el alto contenido de nutrientes y minerales esenciales para el crecimiento de las plantas; los porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio varían de una gallinaza a otra, algunas de manera considerable, por factores como: si está revuelta con material vegetal (cama) o no, el tipo de cama, la humedad, el tiempo que ha permanecido húmeda, tipo de alimentación de las aves, ciclo de producción, entre otras (El Sitio Avícola, 2016).

Cabe destacar que la gallinaza es también uno de los abonos orgánicos con mayor tasa de mineralización. Esto la hace una excelente fuente para el aporte de nitrógeno a los cultivos, pues tan solo en tres semanas el nitrógeno orgánico de la gallinaza se mineraliza en un 75 % aproximadamente. Por citar un ejemplo: si aplicáramos 10 ton de gallinaza con 80 % de materia seca (8 ton), 4 % de N (320 kg de N orgánico), y con un 75 % de mineralización, tendríamos un aporte de 240 kg de N disponible para el cultivo (INTAGRI, 2021).

Prácticas de manejo de la gallinaza

Para que la gallinaza sea un fertilizante orgánico eficiente se deben seguir las siguientes recomendaciones:

Evitar que la humedad del material sea elevada, la ventilación es un factor a considerar si se desea obtener un abono rico en nutrientes.

El secado de las excretas en zonas específicas donde se puede proteger de la lluvia es un aspecto importante. Además, se debe considerar un correcto acomodo; la forma de pirámide es la más

utilizada ya que permite un mejor escurrimiento. Si se desea disminuir el tiempo de secado se recomienda extenderlas sobre una superficie (INTAGRI, 2021).

Cuyaza

La cuyaza es el estiércol producido por el cuy o cobayo, un animal herbívoro común en sistemas de producción familiar andina. Este residuo se genera constantemente en criaderos domésticos y comerciales. Su acumulación sin manejo adecuado puede causar problemas ambientales como emisión de gases, proliferación de plagas o contaminación de suelos y aguas subterráneas si no se reutiliza. Por ello, su uso como recurso agronómico es relevante para sistemas de producción sostenible (Rongcai, Guoxiong, & Ming, 2020).

El excremento de cuyes es de consistencia blanda cuando es fresco, y al pasar los días se deshidrata y pasa a consistencia sólida. Este excremento sólido, junto con otros materiales de la cama acumulada, es degradado. La cama de los cuyes recibe el nombre de cuyinaza, formada de materiales vegetales como rastrojos de cultivos, viruta, cáscaras, excremento, pelos y residuos del alimento. No posee malos olores por lo tanto no atrae moscas. Esta cama puede sufrir un proceso de compostaje inicial o completo, según el tiempo que se mantenga. En este proceso actúan diferentes organismos entre los que destacan diferentes especies de insectos, escarabajos, hongos macroscópicos, levaduras, protozoarios, bacterias aerobias y anaerobias (Issn, 2023).

Características físicas y químicas de la cuyaza.

El estiércol de cuyes presenta características que lo hacen valioso como fertilizante y material orgánico:

Composición equilibrada de nutrientes: contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en proporciones útiles para plantas, aunque variará según dieta y manejo de los animales. En estudios, se reportan contenidos de N ~2.8 %, P_2O_5 ~1.0 % y K_2O ~2.5 %, con un pH cercano a neutro y alto contenido de materia orgánica (Hidalgo, 2012).

7.5 Descomposición

Uno de los procesos más importantes en los ecosistemas es la descomposición, proceso en el cual la materia orgánica es transformada a sus compuestos elementales. Está constituida por las siguientes etapas: trituración, lixiviación, catabolismo y humificación, las cuales son reguladas por factores climáticos, las propiedades físicas del suelo, las características químicas del recurso y la actividad de la biota del suelo. La evapotranspiración actual, el contenido de lignina y, en menos casos, la concentración de C y N se han utilizado para describir y predecir los patrones

temporales de descomposición. En México se han realizado estudios de descomposición en varios tipos de ecosistemas, desde pastizales y matorrales hasta selvas bajas y tropicales húmedas, reportando la mayoría de los trabajos resultados de experimentos con hojas; solo en dos casos se han estudiado la fracción leñosa y la composición de algunos grupos de la fauna desintegradora. Finalmente, se plantea la necesidad de profundizar en el conocimiento de la diversidad de la biota desintegradora, las cadenas tróficas en que se estructura y la influencia de la descomposición en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y en el balance de carbono a nivel ecosistémico (ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, 2001).

7.5.1 Descomposición de materia orgánica.

La descomposición es un proceso químico y biológico que implica la degradación física y la transformación bioquímica de materia orgánica cruda, desde materia muerta hasta moléculas orgánicas e inorgánicas simples, convirtiéndose en compost. La actividad biológica ha propiciado la descomposición y estabilización de la materia orgánica en la naturaleza desde que surgió la vida en nuestro planeta. Recientemente, se ha intentado regular y aprovechar directamente este proceso para el reciclaje y la recuperación de residuos agrícolas. Materiales orgánicos como la materia vegetal, el estiércol animal y otros desechos orgánicos pueden transformarse mediante este método, pasando de ser materiales desechados a una forma más duradera para su uso como abono. Este método se denomina compostaje y generalmente utiliza dos procesos para la descomposición de la materia orgánica: la descomposición y estabilización aeróbica con oxígeno y la descomposición anaeróbica sin oxígeno (Srinivasan, 2020).

7.5.2 Fases del compostaje.

El compostaje es un proceso biológico aeróbico en el que diversos grupos de microorganismos degradan la materia orgánica bajo condiciones controladas de temperatura, humedad, oxígeno y pH. Durante este proceso se distinguen cuatro fases principales, definidas principalmente por la evolución de la temperatura y por los cambios en la actividad microbiana: fase mesófila, fase termófila, fase de enfriamiento y fase de maduración. Cada una de estas etapas cumple una función específica en la transformación de los residuos orgánicos hasta obtener un compost estable y apto para su aplicación agrícola (Fernández, 2022).

Fase mesófila

La fase mesófila es la fase que sigue inmediatamente después de la formación de la pila de compost. En ella se desarrolla una población de bacterias y hongos mesófilos que actúan sobre sustratos fácilmente asimilables como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos. La temperatura va aumentando lentamente desde el ambiente hasta llegar a los 40-45 °C. La degradación microbiana también produce ácidos orgánicos que provocan una baja del pH (acidosis) que, aunque temporal, puede durar entre 2 y 8 días dependiendo de las características del material y del medio en el que se encuentra.

Fase termófila

Cuando la temperatura supera los 45 °C, inicia la fase termófila, considerada la etapa de mayor actividad biológica del proceso. En esta fase los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias y actinomicetos termófilos, capaces de degradar compuestos más complejos como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, las altas temperaturas favorecen la eliminación de microorganismos patógenos, semillas de malezas y otros organismos indeseables, razón por la cual también se conoce como fase de higienización. La duración puede variar desde algunos días hasta varias semanas, dependiendo del tipo de residuo y del manejo del compost (Caiza & Cóndor, 2016).

Fase de enfriamiento

La fase de enfriamiento comienza cuando disminuye la disponibilidad de los compuestos orgánicos fácilmente degradables. En consecuencia, la actividad microbiana se reduce y la temperatura desciende gradualmente hasta valores cercanos a 40 °C y posteriormente a la temperatura ambiente. Durante esta etapa reaparecen microorganismos mesófilos, hongos y actinomicetos que continúan degradando materiales más resistentes, especialmente la celulosa remanente. Esta fase contribuye a estabilizar el material antes de su maduración final.

Fase de maduración

La fase de maduración corresponde a la etapa final del compostaje. En ella disminuye considerablemente la actividad metabólica de los microorganismos y predominan procesos de humificación, condensación y polimerización de los compuestos orgánicos, dando origen a sustancias húmicas estables, como los ácidos húmicos y fúlvicos. El compost adquiere estabilidad biológica y química, reduce su fitotoxicidad y desarrolla las características

necesarias para ser utilizado como enmienda orgánica en los sistemas agrícolas. La duración de esta etapa puede extenderse desde varias semanas hasta algunos meses, dependiendo del manejo del proceso y del material utilizado (Agraria, Alimentarias, Daria, & Samames, 2025).

7.6 Factores de la Descomposición

Los factores que influyen en el contenido de materia orgánica del suelo son los siguientes:

7.6.1 El clima

En las regiones frías y lluviosas la descomposición de la materia orgánica es lenta, por cuyo motivo esa materia orgánica se acumula en el suelo, alcanzando a veces niveles del 5 por 100 y mayores aún. Por otra parte, en los climas lluviosos existe más vegetación, lo que incrementa la cantidad de residuos. En cambio, en climas cálidos o templados con una pluviometría moderada, el contenido de materia orgánica suele ser bastante menor (del 1 al 2 por 100 o menor) (Sánchez, 2020).

7.6.2 La vegetación

El nitrógeno constituye un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, ya que interviene en la formación de su biomasa. En consecuencia, los residuos vegetales con mayor contenido de este nutriente, como los provenientes de leguminosas, presentan una descomposición más rápida en comparación con aquellos que poseen menores concentraciones de nitrógeno. Por esta razón, los abonos verdes elaborados con leguminosas experimentan una degradación más acelerada que los residuos de cultivos de cereales, los cuales permanecen durante un mayor tiempo en el suelo antes de ser transformados. Asimismo, la distribución de la materia orgánica varía según el tipo de vegetación; en los cultivos anuales, como los cereales, los residuos se incorporan tanto en la superficie como en la zona explorada por las raíces, mientras que en los ecosistemas forestales la mayor acumulación se concentra en la capa superficial debido a la caída constante de hojas y otros restos vegetales. De igual manera, los tejidos leñosos presentan una velocidad de descomposición inferior a la de las especies herbáceas, favoreciendo una permanencia más prolongada de la materia orgánica en el suelo (Sánchez, 2020).

7.6.3 Constitución del suelo

La presencia de oxígeno en el suelo es un factor esencial para el desarrollo de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. En consecuencia, los suelos con mejor aireación, como los arenosos, favorecen una descomposición más rápida, mientras que los suelos arcillosos, debido a su menor porosidad y circulación de aire, ralentizan este proceso. Asimismo, un contenido excesivo de arcilla puede limitar el crecimiento de la vegetación, reduciendo el aporte de residuos vegetales y, por ende, la acumulación de materia orgánica. Por otra parte, el calcio influye en la dinámica de la materia orgánica al acelerar su descomposición; por esta razón, los suelos con altas concentraciones de este elemento suelen presentar menores niveles de materia orgánica en comparación con aquellos que contienen una menor cantidad de calcio (Kome, Enang, Tabi, & Yerima, 2019).

7.6.4 Influencia de la topografía del terreno

La pendiente del terreno constituye un factor determinante en la distribución de la materia orgánica del suelo. En áreas con inclinación, la escorrentía generada por las precipitaciones transporta los residuos orgánicos desde las zonas más elevadas hacia los sectores de menor altitud, favoreciendo su acumulación en estos últimos. Como consecuencia, los suelos ubicados en las laderas suelen presentar una menor concentración de materia orgánica y una coloración más clara, mientras que las zonas bajas o vaguadas tienden a acumular mayores cantidades de estos materiales debido al arrastre ocasionado por el agua de lluvia (Li et al., 2019).

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

Ha: El uso de microorganismos eficientes acelerará el proceso de descomposición de las materias orgánicas.

Ho: El uso de microorganismos eficientes no acelerará el proceso de descomposición de las materias orgánicas.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1. Metodología.

9.1.1. Área de investigación y duración del proyecto.

La presente investigación se desarrolló en la terraza experimental de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Campus Salache, ubicada en la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Las actividades relacionadas con la propagación, activación y aplicación de los microorganismos eficientes se realizaron en las instalaciones de la universidad, aprovechando las condiciones ambientales y de infraestructura adecuadas para el desarrollo del estudio. El experimento se llevó a cabo durante un período de 28 días, tiempo durante el cual se efectuó el seguimiento y evaluación de las variables establecidas en la investigación.

9.1.1.1. Ubicación del área de estudio.

La terraza experimental de la Universidad Técnica de Cotopaxi se encuentra ubicada en el Campus Salache, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, lugar donde se desarrolló el proyecto de investigación. Asimismo, la captura de los microorganismos de montaña se realizó en una zona boscosa y cultivos de pastos cercanos al Campus Salache, caracterizada por su abundante cobertura vegetal y alta actividad biológica, condiciones favorables para la obtención de microorganismos autóctonos con potencial para su propagación y aplicación en el estudio.

Figura 1: *Ubicación del proyecto*



Fuente. (Google Earth, 2026).

Latitud: 0 ° 59´S
Longitud: 78° 37´O
Altitud: 2783.3 msnm
Temperatura: 15 ºC

Recolección de microorganismos de montaña.
Se procedió a la recolección de microorganismo de montaña, en diferentes puntos de las zonas del campus Salache. La selección de los sitios de muestreo se realizará considerando criterios como la altitud, condiciones ambientales y representatividad del ecosistema, con el fin de asegurar la diversidad microbiana (Oriental, 2021).

Procedimiento de la elaboración de trampas de arroz posterior a su implementación en campo.
La captura de microorganismos es una técnica para identificar microorganismos benéficos, los cuales pueden ayudar a mejorar las características del suelo agrícola. Existen diversas formas de capturar microorganismos, sin embargo, la más empleada es la técnica de las trampas de arroz, de las cuales se pueden aislar levaduras, bacterias y hongos benéficos (Ramos & Maria de los Angeles, 2017).

- Cocinar el arroz durante un periodo aproximado de 10 a 15 minutos, procurando que quede semicocido y dejar enfriar.
- Colocar 50 gr de arroz dentro de los vasos plásticos.
- Tapar los vasos con la media Nylon y amarrar con la liga.
- Llevar los vasos a un jardín o terreno cultivado.
- Realizar 3 orificios de 20 cm de profundidad en el suelo y en diferentes lugares y cercanos a la planta, utilizando una pala.
- Enterrar los vasos.
- Esperar dos semanas y retirar los vasos.

Materiales

- Arroz blanco.
- Agua potable.
- Olla y fuente de calor.
- Vasos plásticos.

- Media de nylon.
- Ligas elásticas.
- Pala o herramienta para realizar orificios.
- Jardín o terreno cultivado con cobertura vegetal.
- Guantes

En la **Figura 2** se observan las trampas elaboradas con vasos plásticos que contenían arroz semicocido, cubiertos con tela de nylon y asegurados mediante ligas elásticas.

Figura 2. *Trampas de arroz para captura de microorganismos.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Las trampas fueron colocadas en diferentes puntos de cultivos de Salache, a una profundidad aproximada de 20 cm, con el propósito de favorecer la colonización microbiana como de identifica en la **Figura 3.**

Figura 3. *Trampas de arroz enterradas en área de cultivos y zona boscosa Salache.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

La **Figura 4** presenta el proceso de recuperación de las trampas y el aislamiento de los microorganismos de montaña obtenidos durante la captura. Después de dos semanas se procedió a retirar las trampas de los puntos colocados estratégicamente, las muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio para proceder a aislar los microorganismos de montaña e identificar que bacteria o hongo benéfico.

Figura 4. *Microorganismos de montaña aislados.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

9.2 Metodología de laboratorio.

Aislamiento y cultivo de microorganismos capturados.

Una vez recuperadas las trampas de arroz del campo, las muestras colonizadas por microorganismos fueron trasladadas al laboratorio para su procesamiento. Se observa en la **Figura 5**, se seleccionaron las porciones de arroz que presentaban crecimiento microbiano visible y se procedió al aislamiento mediante la siembra en cajas Petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA), previamente esterilizado.

Las cajas fueron incubadas bajo condiciones controladas de temperatura, favoreciendo el crecimiento de hongos y bacterias presentes en las muestras. Posteriormente, se realizaron observaciones cada 5 días para identificar las diferentes colonias desarrolladas según sus características morfológicas, tales como color, textura, forma y velocidad de crecimiento.

Figura 5. *Aislamiento de microorganismos de montaña ubicación Salache.*

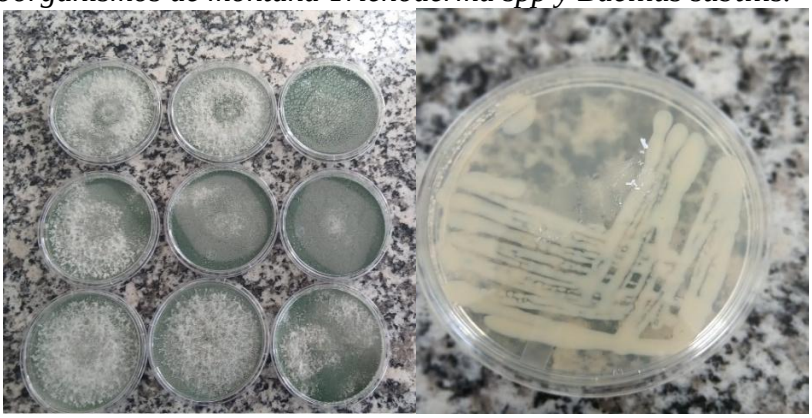


Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Purificación e Identificación de microorganismos.

En la **Figura 6** muestra las colonias obtenidas donde fueron sometidas a tres resiembras sucesivas en nuevas placas con medio PDA para el aislamiento de *Trichoderma* spp. y en agar selectivo para la purificación de *Bacillus subtilis*, con el objetivo de obtener cultivos puros. Se consideró que un cultivo era puro cuando presentó colonias con morfología uniforme y sin evidencia de crecimiento de microorganismos contaminantes. Por cada microorganismo se utilizaron 40 cajas Petri.

Figura *6.* *Microorganismos de montaña Trichoderma spp y Bacillus subtilis.*



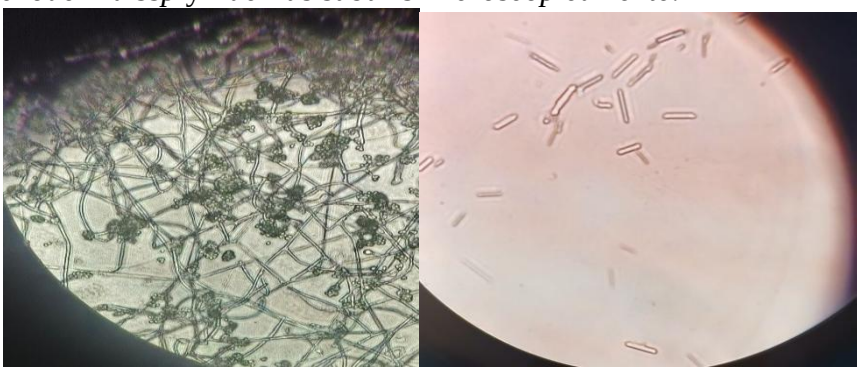
Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Identificación microscópica de los microorganismos

En la **Figura 7** de aprecia el proceso de purificación se realizaron observaciones microscópicas de los cultivos obtenidos con el fin de identificar los microorganismos aislados. Para ello, se tomaron pequeñas muestras de las colonias desarrolladas y se prepararon montajes en portaobjetos para su observación bajo microscopio óptico. En el caso de *Bacillus subtilis*, la identificación se complementó mediante la tinción de Gram, utilizando cristal violeta, Lugol, alcohol acetona y safranina, lo que permitió observar bacilos Gram positivos con morfología uniforme. Para *Trichoderma* spp. se consideraron las características microscópicas de las hifas

y la producción de conidios. La identificación microscópica permitió corroborar la pureza de los cultivos y confirmar la presencia de los microorganismos de interés antes de proceder con la preparación de las suspensiones y la determinación de la concentración microbiana.

Figura 7. *Trichoderma ssp* y *Bacillus subtilis microscopicamente*.

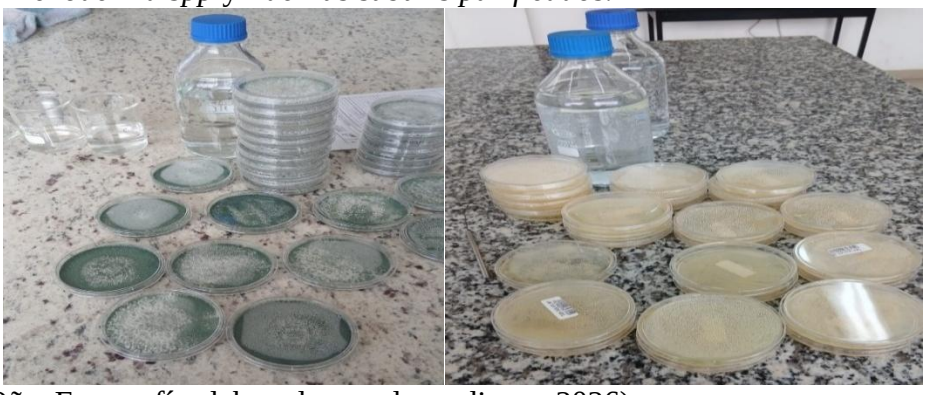


Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Preparación de las suspensiones microbianas.

Una vez obtenidos los cultivos puros, se procedió a la recuperación del material microbiano. Para ello, se adicionó agua destilada estéril sobre la superficie de las colonias desarrolladas en las cajas Petri y, con ayuda de un asa de inoculación o una espátula estéril, se desprendieron cuidadosamente las esporas de *Trichoderma spp*. y las células de *Bacillus subtilis*. Posteriormente, el material microbiano se homogenizó mediante agitación suave hasta obtener una suspensión uniforme. Las suspensiones obtenidas fueron transferidas a recipientes estériles y aforadas hasta un volumen de 1 litro utilizando una probeta graduada como se observa en la **Figura 8**.

Figura 8. *Trichoderma spp* y *Bacillus subtilis purificados.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Conteo y determinación de la concentración microbiana

Trichoderma spp.

La concentración de *Trichoderma* spp. se determinó mediante conteo directo de esporas en cámara de Neubauer. Se contabilizaron las esporas presentes en los cuadros seleccionados y el resultado se expresó en esporas/mL. Este procedimiento permite estimar la concentración total de esporas, pero no determina su viabilidad, debido a que no diferencia entre esporas viables y no viables.

Tabla 2. *Concentración microbiana Trichoderma spp.*

FÓRMULA DE LA CAMARA DE NEUBAUER	
No. Cuadros	**No. Conidios**
1	20
2	18
3	33
4	31
SUMA	102
TOTAL	25,5

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Siguiendo el procedimiento propuesto por Bastidas, (2012), se utilizó la fórmula de concentración celular para estimar el número de células presentes en la suspensión. El cálculo se realizó a partir del promedio de células contadas en la cámara de Neubauer, considerando el factor de conversión y la dilución efectuada previamente.

ECUACIÓN 1:

$$\textbf{Concentración celular} = \frac{TOTAL\ CELULAS\ CONTADAS}{NÚMERO\ DE\ CUADROS}\ \textbf{X 10.000}$$

La concentración celular se calculó mediante la ecuación:

Concentración (esporas/mL) = Promedio de esporas contadas × 10.000 × Factor de dilución.

Sustituyendo los valores obtenidos:

Concentración = 25 × 10.000 × 1000

Concentración = 250.000.000 esporas/mL

Por lo tanto, la suspensión presentó una concentración de $2{,}5\times10^{8}$ esporas/mL de *Trichoderma spp.*

Bacillus subtilis.

En la **Tabla 3** se muestra la concentración de *Bacillus subtilis* se estimó mediante conteo directo en una cámara de Neubauer Improved. Para el recuento se seleccionaron cinco cuadros medianos del cuadrado central, en los cuales se contabilizaron 426 células, obteniéndose un promedio de 85,2 células por cuadro.

La concentración celular se calculó mediante la siguiente ecuación:

Tabla 3. *Concentración microbiana Bacillus subtilis.*

FÓRMULA DE LA CAMARA DE NEUBAUER	
No. Cuadros	**No. Bacilos**
1	73
2	82
3	91
4	88
5	92
SUMA	426
TOTAL	85,2

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

ECUACIÓN 2:

$$\textbf{Concentración celular} = \frac{TOTAL\ CELULAS\ CONTADAS}{NÚMERO\ DE\ CUADROS}\ \textbf{X 250.000}$$

La concentración celular se calculó mediante la siguiente ecuación:

Concentración (Células /mL) = Promedio de células contadas × 250.000 × Factor de dilución

Sustituyendo los valores obtenidos:

Concentración = 85 × 250.000 × 1000

Concentración = 21.250.000 000 Células /mL

Por lo tanto, la suspensión de *Bacillus subtilis* presentó una concentración estimada de $2{,}1\times10^{10}$ Células /mL.

Figura 9. *Solución de Trichoderma spp y Bacillus subtilis.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

9.3 Metodología de campo.

Activación de microorganismos eficientes comercial.

Los microorganismos eficientes comerciales, compuestos por las especies *Saccharomyces cerevisiae* $2.4x10^5$ UFC/ ml y *Lactobacillus casei* $1,3x10^7$ UFC/ml, serán reactivados previo a su aplicación con el propósito de incrementar su población microbiana y potenciar su actividad biológica durante el proceso de compostaje.

Los Microorganismos Eficientes EM-1® constituyen un inoculante microbiano de origen natural compuesto por una mezcla de microorganismos benéficos. Esta tecnología fue desarrollada por el Dr. Teruo Higa, investigador de la Universidad de Ryukyus, en Okinawa, Japón, con el propósito de favorecer el mejoramiento de la calidad del suelo, acelerar la transformación de la materia orgánica, optimizar la calidad del agua y contribuir al desarrollo de diversas aplicaciones en los ámbitos agrícola y ambiental.

Activación del microorganismo eficiente comercial según las recomendaciones de la ficha técnica del producto.

Con 4 litros de EM·1 + 4 Litros de melaza + 72 litros de agua, se obtiene aproximadamente 80 litros de EM·1 Activado, listo para aplicación. La mezcla se colocó en un tanque plástico hermético y se mantuvo en condiciones de sombra a temperatura ambiente 25–30 °C durante un período de 5 a 7 días. Durante este tiempo se realizó una inspección diaria para verificar la producción de gases, la disminución del pH y presencia de olor dulce-ácido característico de la fermentación láctica.(Pp, Borracha, & Pvc, 2012).

Activación de microorganismos eficientes comerciales para la obtención de 20 L de solución activada.

En la **Figura 10** se observa la activación de los microorganismos eficientes comerciales se realizó mezclando 1 Litro del inoculante comercial, 1 Litro de melaza y 18 litros de agua libre de cloro para obtener 20 litros de solución activada. La mezcla se colocó en un tanque plástico hermético y se mantuvo en condiciones de sombra a temperatura ambiente (25–30 °C) durante un período de 5 a 7 días. Durante este tiempo se realizará una inspección diaria para verificar la producción de gases, la disminución del pH y presencia de olor dulce-ácido característico de la fermentación láctica.

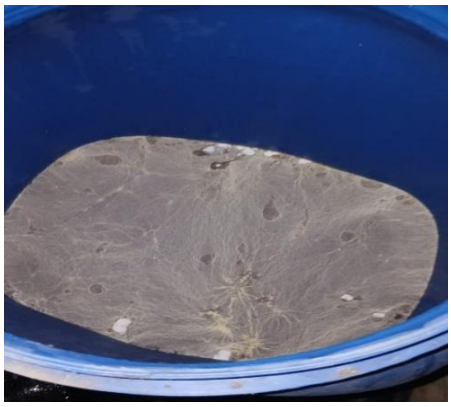
Figura 10. *Microorganismos eficientes comerciales.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

La **Figura 11** muestra la solución de microorganismos eficientes activados tras cinco días de fermentación anaerobia. Se observa la formación de una biopelícula blanquecina y homogénea en la superficie, característica del crecimiento y multiplicación de los microorganismos durante el proceso de activación. La presencia de esta capa microbiana indica una adecuada actividad biológica y un desarrollo favorable de la población microbiana, evidenciando que la solución alcanzó las condiciones necesarias para su aplicación en campo. Una vez completado el período de activación, el preparado fue utilizado como inoculante biológico en los tratamientos experimentales de compostaje para favorecer la descomposición de la materia orgánica y mejorar la actividad microbiológica del sustrato.

Figura 11. *Eficientes Comercial activados.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Activación de microorganismos eficientes de montaña

Los microorganismos de montaña aislados, purificados y propagados en el Laboratorio de Microbiología del Campus Salache, correspondientes a *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*, fueron reactivados antes de su aplicación en las unidades experimentales.

Según Castro-barquero, (2021).La reactivación se realiza mediante la preparación de una solución compuesta por 18 litros de agua, 1 litro de melaza y 1 litro de suspensión microbiana obtenida de los cultivos previamente propagados. La mezcla se mantendrá en recipientes plásticos cubiertos, protegidos de la radiación solar directa, durante 5 días a una temperatura aproximada de 25–30 °C.

La **Figura 12** muestra la multiplicación de *Trichoderma* spp. se realizó en un recipiente individual y separado de *Bacillus subtilis* con el propósito de garantizar el desarrollo adecuado de cada microorganismo y evitar posibles interacciones que puedan afectar su crecimiento. La activación por separado permitió mantener condiciones óptimas para la proliferación del hongo, ya que la activación de *Trichoderma spp* es de 5 días y la activación de *Bacillus subtilis* es de 48 horas.

Figura 12. *Microorganismos de Montaña solución líquida Trichoderma spp.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Se observa en la **Figura 13** la multiplicación de *Bacillus subtilis* en medio líquido suplementado con melaza se realizó en un recipiente individual con el fin de proporcionar las condiciones adecuadas para su crecimiento y evitar posibles contaminaciones o interacciones con otros microorganismos. La incubación se mantuvo durante un período de 24 a 48 horas, tiempo en el cual la bacteria alcanza rápidamente altas concentraciones celulares debido a la disponibilidad de nutrientes y a su elevada capacidad de reproducción. Este procedimiento permitió obtener un inoculante con una adecuada viabilidad y actividad microbiológica para su posterior aplicación en el proceso de compostaje.

Figura 13. *Microorganismos de montaña solución líquida Bacillus subtilis.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Recolección de la materia orgánica: gallinaza, bovinaza y cuyaza.

En la **Figura 14** se identifica la recolección de la materia orgánica utilizada para la elaboración de las pilas de compostaje se realizó en el Barrio Salache. Las gallinazas, bovinazas y cuyazas, que se utilizaron como sustrato para el compostaje, se recolectaron de las pequeñas unidades productivas del área de producción. La recolección se hizo con base en la disponibilidad, estado de frescura y libertad de contaminantes externos para mantener la calidad de los sustratos. Luego de su recolección, los materiales fueron transportados al área de experimentación, donde se apilaron de forma temporal y se acondicionaron para formar las pilas de compostaje conforme a los tratamientos establecidos en la investigación.

Figura 14. *Materia orgánica: gallinaza, bovinaza, cuyaza.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Pesaje de las unidades experimentales.

La **Figura 15** muestra, el pesaje de las unidades experimentales utilizando una balanza calibrada, con el fin de garantizar la cantidad exacta de materia orgánica establecida para cada tratamiento. Este procedimiento permitió mantener la uniformidad en la composición de las pilas de compostaje y asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos durante la investigación. El registro de los pesos se efectuó antes del montaje de las unidades experimentales, considerando por separado la gallinaza, bovinaza y cuyaza de acuerdo con las proporciones definidas en el diseño experimental.

Figura 15. *Pesaje por cada unidad experimental mediante una balanza.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Llenado de las macetas con los sustratos correspondientes.

En la **Figura 16** se observa el llenado de las macetas Air-Pot se implementó colocando en cada unidad experimental los sustratos correspondientes según los tratamientos establecidos en el diseño de la investigación. Los materiales orgánicos utilizados estuvieron constituidos por gallinaza, bovinaza y cuyaza, los cuales fueron previamente pesados y mezclados para su incorporación uniforme en cada maceta. Cada unidad experimental se conformó con un total de 11 kg de sustrato**,** procurando una adecuada distribución del material para favorecer el proceso de compostaje.

Figura 16. *Distribución de materias orgánicas en la unidad experimental.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Implementación del experimento en macetas Air-Pot

La experimentación se realizó en unidades experimentales o macetas de tipo Air-Pot, que fueron los recipientes que se utilizaron para llevar a cabo el proceso de compostaje de los distintos tratamientos. En estos recipientes se procedió a la colocación y distribución de los residuos orgánicos pesados según el porcentaje que establecía el diseño experimental y se trató de que la mezcla fuese lo más homogénea posible. Las macetas Air-Pot permitieron una adecuada aireación del material en compostaje, favoreciendo la actividad microbiana y el desarrollo del proceso de descomposición. Una vez conformadas las unidades experimentales, estas fueron identificadas y ubicadas en el área de estudio para su posterior monitoreo y manejo durante el período experimental como se observa en la **Figura 17.**

Figura 17. *Distribución de las unidades experimentales.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Distribución de los tratamientos experimentales.

La **Figura 18** se observa la distribución de los tratamientos experimentales que se efectuó de acuerdo con el diseño experimental establecido para la investigación, asignando cada

tratamiento a las unidades experimentales de manera aleatoria con el fin de minimizar posibles efectos de factores externos sobre los resultados. Cada tratamiento fue identificado mediante una codificación específica y distribuido en las macetas Air-Pot correspondientes, garantizando la uniformidad de las condiciones de evaluación. Esta disposición permitió comparar de forma objetiva el efecto de los diferentes microorganismos aplicados sobre el proceso de compostaje y las características finales del abono obtenido.

Figura 18. *Área experimental con las unidades experimentales etiquetadas.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

El uso de macetas tipo Air-Pot en procesos de descomposición de materia orgánica como gallinaza, bovinaza y cuyaza según Largo, (2020). Una de las características más importantes de estos sustratos es su aireación. En un medio más aireado, la actividad microbiana se da en condiciones más aeróbicas, lo que favorece la descomposición más rápida de la materia orgánica, ya que se favorece la actividad de los microorganismos descomponedores y se evita la formación de condiciones anaeróbicas que puedan dar lugar a la producción de olores desagradables y fermentaciones indeseadas.

Aplicación de los microorganismos eficientes según el tratamiento.

En la **Figura 19** se observa la aplicación de los microorganismos eficientes se realizó de acuerdo con los tratamientos establecidos en el diseño experimental; se realizó 1 aplicación al inicio del experimento. Para los tratamientos con microorganismos eficientes de montaña, se utilizaron las soluciones activadas de *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*, mientras que para los tratamientos con microorganismos eficientes comerciales se empleó la solución activada que contenía principalmente *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus casei*. Los microorganismos eficientes fueron aplicados una sola vez al inicio del proceso de compostaje, utilizando una dosis de 1,5 litros de solución activada por unidad experimental. Esta aplicación se consideró suficiente para inocular los 11 kg de sustrato contenidos en cada maceta Air-Pot,

permitiendo la actividad y proliferación de los microorganismos durante los 28 días de evaluación, bajo condiciones adecuadas de humedad y aireación.

Figura 19. Aplicación de Microorganismos Eficientes mediante aspersión.



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

Monitoreo semanal por 28 días.

Se efectuó las mediciones cada 7 dias durante para evaluar cómo iba cambiando la descomposición de la materia orgánica en cada tratamiento. Las mediciones se tomaron en los días 0, 7, 14, 21 y 28**.** Para esto se utilizó un medidor digital 3 en 1**,** un instrumento que permite medir de forma rápida y directa tres variables importantes en el mismo punto de la muestra: pH, temperatura y humedad**.** El equipo se introdujo en el sustrato de cada unidad experimental (maceta) y se registraron los valores sin necesidad de extraer la muestra, lo que permitió obtener datos más prácticos y representativos de las condiciones reales del proceso como se observa en la **Figura 20**.

Figura 20. *Monitoreo de los factores en estudio: humedad, temperatura, pH.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

La **Figura 21** se observa el pesaje inicial de cada unidad experimental utilizando una balanza mecánica, registrando el peso correspondiente desde el día 0 del experimento. Cada tratamiento

fue identificado con un código para facilitar el seguimiento de los cambios de peso durante el proceso de compostaje y evaluar la descomposición de la materia orgánica.

Figura 21. *Proceso de pesaje de unidades experimentales.*



Fuente: (Oña, Fotografía elaborada por el estudiante, 2026).

9.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación se desarrolló mediante un enfoque experimental en condiciones de campo, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA)**,** debido a que las unidades experimentales presentaron condiciones homogéneas de manejo, cantidad de materia orgánica, tipo de recipiente y ambiente de descomposición, por lo que no fue necesario establecer bloques. Se evaluaron tres tipos de microorganismos: microorganismo comercial, microorganismo de montaña y un testigo sin aplicación de microorganismos; además, se emplearon tres tipos de sustratos orgánicos: gallinaza, cuyaza y bovinaza. La combinación de ambos factores originó nueve tratamientos, cada uno con tres repeticiones, obteniéndose un total de 27 unidades experimentales.

Variable independiente

Tipo de microorganismo eficiente

- C1: Microorganismo comercial
- C2: Microorganismo de montaña
- C3: Testigo (sin aplicación de ME)

Tipo de sustrato orgánico

- A1: Sustrato Gallinaza
- A2: Sustrato Cuyaza
- A3: Sustrato Bovinaza

Variable dependiente.

Tiempo de descomposición de la materia orgánica

Se medirá el número de días requeridos para que la materia orgánica alcance un estado avanzado de descomposición, determinado mediante cambios físicos observables como color oscuro, textura homogénea y ausencia de olor desagradable (Pedraza Pachón & Hernández Sanabria, 2019).

Temperatura del sustrato (°C)

Se registrará la temperatura interna de cada unidad experimental utilizando un termómetro de compostaje, con el fin de evaluar la actividad microbiológica durante el proceso de descomposición (Lennard, 2024).

Humedad del sustrato (%)

Se controlará y registrará el contenido de humedad de cada unidad experimental, ya que este factor influye directamente en la actividad de los microorganismos y en la velocidad del proceso de degradación (Lennard, 2024).

Reducción del peso de la materia orgánica

Se medirá la disminución del volumen o peso inicial del sustrato como indicador del grado de descomposición alcanzado (Franklin Javier Sango Viracocha, 2020).

pH (Potencial Hidrogeno)

El pH del sustrato se medirá con el propósito de evaluar los cambios químicos asociados a la actividad de los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica. La medición se realizará cada siete días utilizando un pH metro digital o tiras indicadoras, tomando una muestra representativa del sustrato previamente homogenizada con agua destilada (Franklin Javier Sango Viracocha, 2020).

Tabla 4.*Tratamientos del experimento.*

Tratamiento	Código	Tipo de Microorganismo Eficiente	Tipo de sustrato
T1	C1A1	ME Comercial	Gallinaza
T2	C1A2	ME Comercial	Cuyaza
T3	C1A3	ME Comercial	Bobinaza
T4	C2A1	ME de Montaña	Gallinaza
T5	C2A2	ME de Montaña	Cuyaza
T6	C2A3	ME de Montaña	Bobinaza
T7	C3A1	Testigo (sin ME)	Gallinaza
T8	C3A2	Testigo (sin ME)	Cuyaza
T9	C3A3	Testigo (sin ME)	Bobinaza

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Tabla 5. *Frecuencia de medición.*

Variable	Frecuencia	Unidad
Temperatura	Cada 7 días	°C
Reducción de peso	Cada 7 días	gr
Ph	Cada 7 días	pH
Humedad	Cada 7 días	%
Tiempo de descomposición	Al final del proceso	28 Días

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Las variables temperatura, pH y reducción de peso fueron evaluadas cada siete días, ya que este intervalo permite observar de manera adecuada los cambios que ocurren durante el proceso de compostaje. El seguimiento semanal facilita la identificación de las diferentes etapas de descomposición de la materia orgánica y el comportamiento de la actividad microbiana, sin generar una cantidad excesiva de información. Según Manga et al. (2023), las evaluaciones realizadas con una frecuencia semanal son suficientes para registrar las variaciones fisicoquímicas más importantes que se producen durante la degradación de los residuos orgánicos y la maduración del compost, por lo que este periodo de medición resulta apropiado para el desarrollo de la investigación (Manga, Muoghalu, Camargo-Valero, & Evans, 2023)

La tesis titulada *"Diferentes protocolos de obtención y activación de microorganismos eficientes de montaña sobre las características fisicoquímicas de abonos orgánicos"* desarrolló el proceso de compostaje durante 28 días, evaluando variables como temperatura, humedad, materia orgánica, minerales y pH. Los resultados demostraron que este período fue suficiente para determinar las características físicas, químicas y productivas del abono obtenido (Huaraca, 2020).

En la Universidad Técnica de Cotopaxi se evaluó el efecto de microorganismos eficientes autóctonos en la producción de compost, evidenciando que la aplicación de estos microorganismos acelera la descomposición de residuos orgánicos y permite obtener información confiable sobre el comportamiento del proceso en periodos cortos de evaluación Gabriel González, (2021). Sin embargo, el tiempo de 28 días utilizado en el presente trabajo, se considera técnicamente apropiado para observar el efecto de la acción de los

microorganismos sobre los sustratos orgánicos en estudio, la dinámica microbiana del medio y el logro de los objetivos planteados.

orgánicas utilizadas en esta investigación, y dar seguimiento a la dinámica microbiana, en busca de alcanzar los objetivos planteados.

Tabla 6. *Sustratos y dosis por cada unidad experimental.*

Tratamiento	Microorganismo eficiente	Tipo de sustrato	Peso del sustrato por UE (kg)	ME aplicado por UE (litro)
T1	ME comercial	Gallinaza	11 kg	1,5
T2	ME comercial	Cuyaza	11 kg	1,5
T3	ME comercial	Bobinaza	11 kg	1,5
T4	ME de montaña	Gallinaza	11 kg	1,5
T5	ME de montaña	Cuyaza	11 kg	1,5
T6	ME de montaña	Bobinaza	11 kg	1,5
T7	Testigo (sin ME)	Gallinaza	11kg	
T8	Testigo (sin ME)	Cuyaza	11kg	
T9	Testigo (sin ME)	Bobinaza	11kg	

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

En la **Tabla 6** presenta la distribución de los 11 kg de materia orgánica por unidad experimental, debido a que esta cantidad permite mantener condiciones homogéneas entre tratamientos y un volumen adecuado para el seguimiento de las variables fisicoquímicas durante el proceso de descomposición. El peso inicial correspondió a 11 kg de materia orgánica en base húmeda, excluyendo el peso de la maceta Air Pot, y fue registrado antes de la aplicación de los 1,5 L de la solución inoculante en los tratamientos correspondientes. El uso de pequeñas unidades experimentales permitió controlar las variables de temperatura, pH, humedad y pérdida de peso, así como un manejo apropiado durante los volteos y muestreos semanales, lo que contribuyó a la obtención de resultados confiables y repetibles. Este tipo de metodología es consistente con investigaciones recientes que desarrollan procesos de compostaje en unidades de control que manejan cantidades similares de residuos orgánicos. Sin embargo, este dato se debe a que los tratamientos testigo no recibieron la solución inoculante, lo cual constituye una

limitación del método que debe considerarse al analizar la reducción de peso (Chimbo Cabascango, 2023).

La dosis de 1,5 L por unidad experimental se determinó en base a otros estudios de compostaje utilizando microorganismos eficientes. Esta dosis se aplica únicamente a los tratamientos inoculados. Los testigos no recibieron la solución inoculante. Por lo tanto, los resultados deben ser considerados teniendo en cuenta esta condición como una limitación metodológica del estudio (Espinoza, 2023).

Factores en Estudio

C: Microorganismos Eficientes (Comercial y Montaña)

A: Materias orgánicas.

Tabla 7. *Interacciones de Tratamientos.*

INTERACCIONES	
CODIFICACION	**DESCRIPCION**
C1A1	ME. COMERCIAL + GALLINAZA
C1A2	ME. COMERCIAL + CUYAZA
C1A3	ME. COMERCIAL + BOBINAZA
C2A1	ME. MONTAÑA + GALLINAZA
C2A2	ME. MONTAÑA + CUYAZA
C2A3	ME. MONTAÑA + BOBINAZA
C3A1	TESTIGO + GALLINAZA
C3A2	TESTIGO + CUYAZA
C3A3	TESTIGO + BOBINAZA

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

DISEÑO DE CAMPO

Distribución de los tratamientos en el diseño experimental.

Tabla 8. *Esquema de Implementación en Campo*

R1	**R2**	**R3**
C3A2	C2A2	C3A1
C3A1	C1A1	C3A2

C1A1	C2A3	C2A2
C1A3	C3A3	C2A1
C3A3	C2A1	C2A3
C2A1	C3A2	C3A3
C2A2	C1A3	C1A2
C1A2	C3A1	C1A1
C2A3	C1A2	C1A3

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Se realizará un total de 9 tratamientos tomando en cuenta las 3 repeticiones y se obtendrá un total de 27 unidades experimentales.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos para dar cumplimiento al segundo objetivo específico de la investigación, el cual consistió en evaluar el efecto de los microorganismos eficientes sobre la descomposición de diferentes materias orgánicas. Para ello, se evaluó el comportamiento de las variables temperatura, pH, humedad y peso durante el proceso de compostaje, con el propósito de conocer la respuesta de los tratamientos y determinar la influencia de los microorganismos eficientes en la dinámica de descomposición.

Primero se presentan los estadísticos descriptivos que ayudan a tener claridad sobre el comportamiento de las variables analizadas. Luego se presentan los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas, de la prueba de comparación de medias de Tukey y del análisis de correlación de Pearson, que permiten conocer las diferencias entre los tratamientos y la relación entre las variables en estudio. Por último, se discuten los resultados y se comparan con otros trabajos para explicar el efecto de los microorganismos eficientes en la descomposición de la materia orgánica.

Estadísticas descriptivas

Tabla 9. *Resultados de la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) por tratamiento.*

Variable	C1B	C1C	C1G	C2B	C2C	C2G	C3B	C3C	C3G
Humedad	0,415	0,217	0,080	0,448	0,109	**0,000**	0,186	**0,000**	**0,001**
Peso	0,062	**0,009**	0,274	0,080	0,379	**0,003**	**0,008**	0,223	**0,013**
Temperatura	**0,001**	**0,010**	**0,001**	**0,002**	**0,031**	**0,000**	**0,000**	**0,008**	**0,000**
pH	0,524	0,133	0,538	0,423	0,595	0,265	0,089	**0,032**	**0,001**

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los valores en negrita corresponden a $p \leq 0,05$, indicando que no se cumple el supuesto de normalidad. Los valores de $p > 0,05$ indican que los datos presentan una distribución compatible con la normalidad.

Tabla 10. *Medias y desviaciones por día.*

Día	Humedad_mean	Humedad_std	Peso_mean	Peso_std	pH_mean	pH_std	Temperatura_mean	Temperatura_std
0	63.67	12.78	11.00	0.00	8.09	0.71	15.00	1.00
7	60.44	20.17	9.26	1.02	7.99	0.61	13.56	0.75
14	75.00	11.03	9.39	0.84	7.82	0.89	20.04	8.72
21	73.93	9.36	8.96	0.87	7.85	0.93	14.07	1.44
28	73.93	9.42	8.50	0.84	7.86	1.00	13.89	1.25

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Tabla 11. *Medias por tratamiento.*

Tratamiento	Humedad (%)	Peso (kg)	pH	Temperatura (°C)
C1B	67,27 ± 2,71	9,40 ± 0,97	8,18 ± 0,43	14,33 ± 1,63
C1C	71,00 ± 3,32	9,80 ± 0,80	8,43 ± 0,38	13,20 ± 0,77
C1G	75,93 ± 9,89	9,77 ± 0,92	7,23 ± 0,78	16,00 ± 2,39
C2B	66,07 ± 5,06	8,87 ± 1,32	8,36 ± 0,32	14,53 ± 1,51
C2C	72,67 ± 2,55	9,43 ± 1,12	8,19 ± 0,33	13,07 ± 0,88
C2G	81,47 ± 11,15	10,20 ± 0,98	6,83 ± 0,75	17,33 ± 6,15
C3B	61,53 ± 4,96	8,53 ± 1,41	8,63 ± 0,40	16,27 ± 4,28
C3C	67,27 ± 10,48	9,67 ± 0,99	8,43 ± 0,33	13,80 ± 1,37
C3G	61,33 ± 34,49	9,13 ± 1,13	7,01 ± 0,78	19,27 ± 9,99

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Tabla 12. *Matriz de correlación de Pearson.*

	Humedad	**Peso**	**pH**	**Temperatura**
Humedad	1.00	0.05	-0.39	0.29
Peso	0.05	1.00	-0.09	0.04
pH	-0.39	-0.09	1.00	-0.36
Temperatura	0.29	0.04	-0.36	1.00

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

La matriz de correlación de Pearson evidenció una correlación negativa moderada entre la humedad y el pH (r = -0,39), indicando que, a medida que aumentó la humedad, el pH tendió a disminuir. El pH y la temperatura mostraron una correlación negativa de r = -0,36, lo que indica que a medida que se incrementaba la temperatura había una ligera reducción de pH. La humedad y la temperatura mostraron una correlación positiva muy baja de r = 0,29, que muestra que a medida que la humedad aumentaba la temperatura también se incrementaba. Por otro lado, en el caso del peso, las correlaciones fueron muy bajas con el resto de las variables (r = 0,05; -0,09 y 0,04), lo que indica que no hubo una correlación lineal en el período de estudio.

10.1. Análisis de las variables de respuesta

Temperatura.

La temperatura constituye uno de los parámetros más importantes para evaluar la actividad microbiana durante el proceso de compostaje, debido a que evidencia la intensidad con la que los microorganismos descomponen la materia orgánica. El seguimiento de esta variable permitió analizar la evolución del comportamiento térmico de los diferentes tratamientos a lo largo del período experimental.

Tabla 13. *Análisis de varianza de medidas repetidas para la temperatura.*

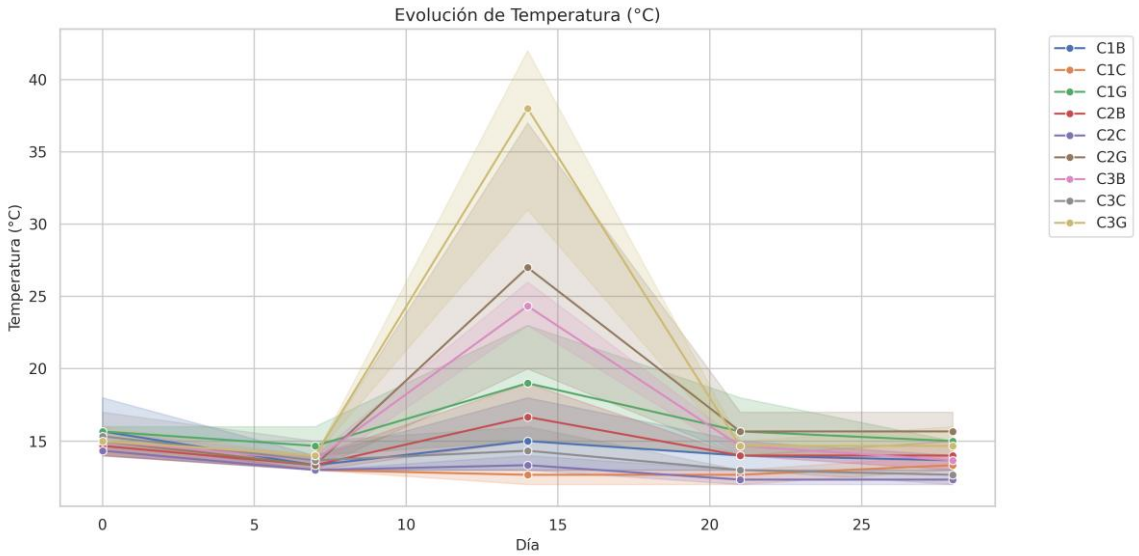
Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Tratamiento	8	18	12,923	< 0,001*****
Día	4	72	53,106	< 0,001*****
Tratamiento × Día	32	72	10,465	< 0,001*****

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. gl: grados de libertad; F: estadístico de Fisher; ns: no significativo (p > 0,05); * significativo (p < 0,05); ** muy significativo (p < 0,01); *** altamente significativo (p < 0,001).

El análisis de varianza de medidas repetidas evidenció un efecto altamente significativo del tratamiento (F = 12,923; p < 0,001*), del día de evaluación (F = 53,106; p < 0,001*) y de la interacción tratamiento × día (F = 10,465; p < 0,001*) sobre la temperatura de la materia orgánica en proceso de descomposición. Estos resultados son indicativos de que la temperatura fue afectada por el microorganismo eficiente aplicado y el tiempo de ensayo, y de que hubo una interacción entre tratamiento × día, lo que indica que la respuesta térmica de los tratamientos no fue constante en el tiempo y que cada tratamiento tuvo su propio comportamiento a lo largo del proceso de compostaje, lo que sugiere que la actividad microbiana fue diferente y, por tanto, la tasa de descomposición del material orgánico y el calor generado en el proceso de compostaje fueron diferentes.

Figura 22: *Evolución de Temperatura*



Fuente: Elaboración propia mediante Python (2026).

Discusión

La **Figura 22** muestra la evolución de la temperatura durante los 28 días de evaluación, observándose que la mayoría de los tratamientos mantuvieron temperaturas cercanas a la ambiental durante los primeros siete días. Posteriormente, alrededor del día 14 se produjo un incremento considerable de la temperatura, siendo más evidente en algunos tratamientos, mientras que hacia los días 21 y 28 la temperatura disminuyó progresivamente hasta aproximarse nuevamente a los valores iniciales. Este comportamiento corresponde al patrón característico del proceso de compostaje, en el cual la actividad microbiana aumenta durante la fase activa de descomposición y posteriormente disminuye conforme se reduce la disponibilidad de compuestos orgánicos fácilmente biodegradables.

El aumento de la temperatura registrado durante el día 14 indica que en ese periodo ocurrió la mayor actividad metabólica de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. Durante esta etapa, bacterias y hongos utilizan como fuente de energía los compuestos orgánicos más simples, liberando calor como producto de la respiración microbiana. Posteriormente, la disminución de la temperatura observada al final del ensayo evidencia una reducción gradual de la actividad biológica, asociada al agotamiento del sustrato fácilmente degradable y al inicio de la estabilización del compost.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Nemet, Perić, & Lončarić, (2021) **,**quienes señalaron que el incremento de la temperatura durante la fase termófila del compostaje está directamente relacionado con la intensa actividad de las comunidades microbianas, las cuales aceleran la degradación de la materia orgánica mediante procesos metabólicos que liberan energía en forma de calor. Asimismo, los autores indican que, una vez consumidos los compuestos orgánicos de rápida degradación, la actividad microbiana disminuye progresivamente, ocasionando el descenso de la temperatura hasta alcanzar condiciones cercanas a la temperatura ambiental.

Tabla 14. *Comparaciones de tratamientos con diferencias significativas según la prueba de Tukey (α = 0,05).*

Comparación de tratamientos	Diferencia de medias (°C)	Valor p
C1C – C3G	6,07	0,0062 ****
C2C – C3G	6,20	0,0046 ****
C3C – C3G	5,47	0,0213 *

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. * Significativo **(**p < 0,05**); ** ** Muy significativo **(**p < 0,01**); *** ** Altamente significativo **(**p < 0,001**).**

Nota. Se presentan únicamente las comparaciones que mostraron diferencias significativas (p < 0,05). Las demás comparaciones entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas.

La prueba de Tukey indicó que, considerando el efecto principal del tratamiento, únicamente tres pares de tratamientos presentaron diferencias significativas (p < 0,05). Las comparaciones completas pueden consultarse en el **Anexo 7.**

Discusión.

Así, al compararlos, los tratamientos C1C, C2C y C3C, que presentan temperaturas más altas que el C3G, están favorecidos por una mayor actividad microbiana en el proceso de composteo, posiblemente debido a que se favoreció la actividad de microorganismos con una alta eficiencia en el aprovechamiento de sustratos orgánicos fácilmente biodegradables, lo que incrementa la respiración y, por lo tanto, la temperatura.

La elevación de la temperatura constituye un indicador de una fase termófila más activa, condición que acelera la descomposición de la materia orgánica. Este comportamiento

concuerda con Braga et al.,(2021) ,quienes señalaron que durante la fase termófila existe una elevada actividad de bacterias degradadoras responsables de la generación de calor y de la rápida transformación de la materia orgánica.

pH.

El pH es una variable que permite evaluar los cambios químicos que ocurren durante la descomposición de la materia orgánica. Su monitoreo permitió identificar la evolución de las condiciones del medio y su influencia en la actividad de los microorganismos.

Tabla 15. *Análisis de varianza de medidas repetidas para el pH.*

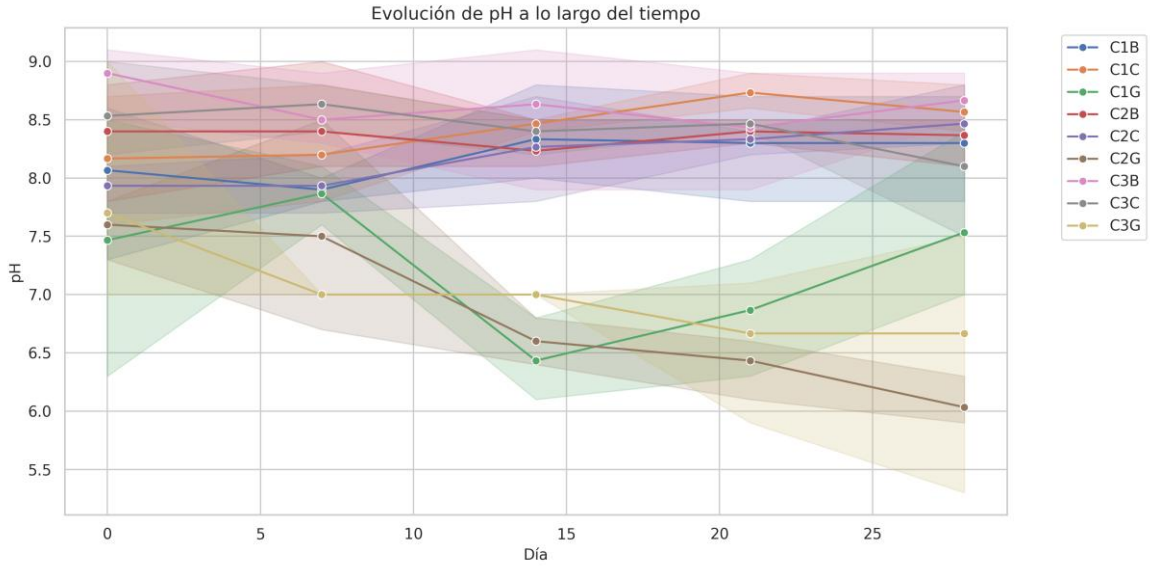
Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Tratamiento	8	18	23,854	< 0,001*****
Día	4	72	1,578	0,189 ns
Tratamiento × Día	32	72	1,838	0,017 *****

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. gl: grados de libertad; F: estadístico de Fisher; ns: no significativo (p > 0,05); * significativo (p < 0,05); ** muy significativo (p < 0,01); *** altamente significativo (p < 0,001).

El análisis de varianza de medidas repetidas mostró que el tratamiento tuvo un efecto altamente significativo sobre el pH (F = 23.854; p < 0.001). En contraste, el día de evaluación no presentó un efecto significativo (F = 1.578; p = 0.189). Sin embargo, la interacción tratamiento × día fue significativa (F = 1.838; p = 0.017), indicando que la respuesta del pH a lo largo del tiempo dependió del tratamiento aplicado.

Figura 23: *Evolución del Ph*



Fuente: Elaboración propia mediante Python (2026).

Discusión

La **Figura 23** muestra que el pH presentó variaciones durante los 28 días de evaluación, observándose que algunos tratamientos disminuyeron su pH alrededor del día 14 y posteriormente tendieron a estabilizarse al finalizar el experimento. Estas variaciones indican que durante el proceso de compostaje ocurrieron cambios en la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica.

La disminución del pH en algunos tratamientos puede deberse a la formación de ácidos orgánicos durante las primeras etapas de descomposición. Conforme avanzó el compostaje, estos compuestos fueron degradados por los microorganismos, permitiendo que el pH se estabilizara. Este comportamiento es normal durante el proceso de compostaje y refleja la transformación progresiva de la materia orgánica.

Estos resultados coinciden con Vásquez Castro & Millones Chanamé,(n.d.) , quienes indican que las variaciones del pH durante el compostaje están relacionadas con la actividad de los microorganismos y con las transformaciones químicas que ocurren durante la degradación de la materia orgánica. Asimismo, Sánchez Tigrero, Ramírez-Vargas, & García Cruzatty,(2026) señalan que un pH cercano a la neutralidad o ligeramente alcalino favorece la actividad microbiana y contribuye a la obtención de un compost de mejor calidad.

En general, los resultados obtenidos muestran que los tratamientos evaluados permitieron mantener condiciones de pH adecuadas para el desarrollo de los microorganismos, favoreciendo el proceso de descomposición y la estabilización de la materia orgánica.

Tabla 16. *Comparación de medias del pH entre tratamientos mediante la prueba de Tukey (α = 0,05).*

Comparación de tratamientos	Diferencia de medias (pH)	Valor p
C1B – C1G	0,95	0,0001*
C1B – C2G	1,35	< 0,0001*
C1B – C3G	1,17	< 0,0001*
C1C – C1G	1,19	< 0,0001*
C1C – C2G	1,59	< 0,0001*
C1C – C3G	1,42	< 0,0001*
C1G – C2B	1,13	< 0,0001*
C1G – C2C	0,95	0,0001*
C1G – C3B	1,39	< 0,0001*
C1G – C3C	1,19	< 0,0001*
C2B – C2G	1,53	< 0,0001*
C2B – C3G	1,35	< 0,0001*
C2C – C2G	1,35	< 0,0001*
C2C – C3G	1,18	< 0,0001*
C2G – C3B	1,79	< 0,0001*
C2G – C3C	1,59	< 0,0001*
C3B – C3G	1,62	< 0,0001*
C3C – C3G	1,42	< 0,0001*

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. Se presentan únicamente las comparaciones que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Las demás comparaciones entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas.

Interpretación

La prueba de Tukey indicó que, considerando el efecto principal del tratamiento, se identificaron 18 pares de tratamientos con diferencias significativas ($p < 0,05$). Las comparaciones completas pueden consultarse en el **Anexo 8**.

Discusión

La prueba de Tukey mostró 18 comparaciones con diferencias significativas ($p < 0,05$), lo que demuestra que el tipo de microorganismo y la materia orgánica utilizada influyeron de manera diferente sobre el comportamiento del pH durante el proceso de compostaje. Las mayores diferencias se registraron entre los tratamientos C2G–C3B **y** C3B–C3G**,** indicando que la respuesta del pH dependió de las características de cada tratamiento.

Las variaciones observadas en el pH pueden explicarse por la actividad de los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica. Durante las primeras etapas del compostaje se producen compuestos orgánicos que modifican el pH y, conforme avanza el proceso, estos son transformados mediante la actividad microbiana, favoreciendo la estabilización del material orgánico. Por ello, es normal que existan diferencias entre tratamientos cuando se utilizan diferentes sustratos y distintos inoculantes.

La incorporación de microorganismos eficientes permitió obtener un compost estabilizado con un pH promedio de 8,24, concluyendo que la actividad de estos microorganismos favorece las transformaciones fisicoquímicas del material orgánico y mejora la calidad del producto final (Magíster, Química, Achupallas, & Alexandra, 2019).

En conclusión, los resultados observados en esta investigación, indican que la aplicación de microorganismos eficientes y el tipo de materia orgánica, ayudaron a que el pH presentara un comportamiento durante el proceso de compostaje que favoreció la descomposición y estabilización de la materia orgánica del residuo.

Humedad.

La humedad es uno de los factores más importantes que incide en el proceso de descomposición durante el composteo, ya que está íntimamente relacionada con el desarrollo y la actividad de

los microorganismos que degradan la materia orgánica, por esta razón, la variable se consideró durante la evaluación del comportamiento de los tratamientos en el periodo experimental.

Tabla 17. *Análisis de varianza de medidas repetidas para la variable Humedad.*

Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Tratamiento	8	18	8,783	0,0001***
Día	4	72	28,725	0,0031**
Tratamiento × Día	32	72	9,233	< 0,0001***

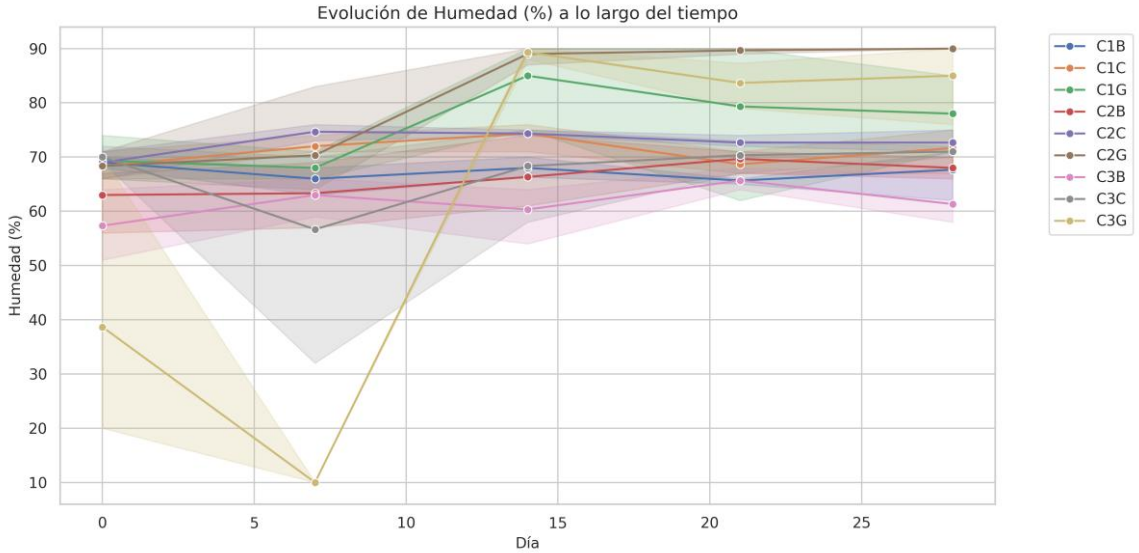
Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. gl: grados de libertad; F: estadístico de Fisher; ns: no significativo (p > 0,05); * significativo (p < 0,05); ** muy significativo (p < 0,01); *** altamente significativo (p < 0,001).

Dado que el supuesto de esfericidad no se cumplía, para comprobar que se daba esta propiedad, se aplicó la prueba de Mauchly (p < 0,05) y se aplicó el ajuste de Greenhouse, Geisser a los grados de libertad del ANOVA de medidas repetidas, para obtener unos resultados más precisos.

Los análisis de ANOVA de medidas repetidas en el tiempo mostraron un efecto significativo del tratamiento (F = 8,783; p = 0,0001) y del día de medición en el resultado (F = 28,725; p = 0,0031), luego de aplicar la corrección de Greenhouse, Geisser por la falta de esfericidad. Además se encontró un efecto significativo del tratamiento × día (F = 9,233; p = 0,0001), lo que implica que la respuesta de la humedad depende del tratamiento y del día de medición.

Figura 24: *Evolución de humedad*



Fuente: Elaboración propia mediante Python (2026).

Discusión

La **Figura 24** muestra que la humedad varió durante los 28 días de evaluación, aunque la mayoría de los tratamientos mantuvieron valores adecuados para el proceso de compostaje. Estas variaciones se deben a la actividad de los microorganismos, que utilizan el agua para degradar la materia orgánica y transformar los residuos en un compost más estable.
Los resultados coinciden con Jes et al., (2015), quienes determinaron que la humedad es uno de los factores ambientales con mayor influencia sobre la madurez del compost, debido a que regula la actividad de los microorganismos durante la degradación de la materia orgánica.

De igual manera, Liang et al. (2003) reportaron que mantener la humedad entre 50 y 70 % favorece la respiración microbiana y acelera el proceso de compostaje, mientras que contenidos de humedad muy bajos o excesivos reducen la eficiencia del proceso al limitar el crecimiento microbiano o disminuir la disponibilidad de oxígeno.

Tabla 18. *Comparación de medias de la humedad entre tratamientos mediante la prueba de Tukey (α = 0,05).*

Comparación de tratamientos	Diferencia de medias (%)	Valor p
C2B – C2G	15,40	0,0486*****
C2G – C3B	19,93	0,0023******
C2G – C3G	20,13	0,0020******

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. Se presentan únicamente las comparaciones que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Las demás comparaciones entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas. La prueba de Tukey indicó que, considerando el efecto principal del tratamiento, únicamente tres pares de tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$): C2B–C2G, C2G–C3B y C2G–C3G. Las comparaciones completas pueden consultarse en el **Anexo 9.**

Discusión

La prueba de Tukey mostró diferencias significativas únicamente entre los tratamientos C2B–C2G, C2G–C3B y C2G–C3G ($p < 0,05$), indicando que la humedad no fue igual en todos los tratamientos durante el proceso de compostaje. La mayor diferencia se registró entre C2G **y**

C3G (20,13 %), lo que evidencia que la combinación del tipo de materia orgánica y el microorganismo aplicado influyó en la retención de humedad del material.

La humedad es un factor fundamental para el compostaje, ya que permite el desarrollo de los microorganismos responsables de degradar la materia orgánica. Cuando el contenido de humedad es adecuado, se favorece la actividad microbiana y la transformación de los residuos; por el contrario, valores muy bajos limitan la actividad biológica y valores excesivos reducen la aireación del material.

Reducción de peso.

La evaluación del peso permitió determinar el grado de descomposición de la materia orgánica a lo largo del experimento. La reducción progresiva del peso constituye un indicador de la transformación del material y de la eficiencia del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos.

Tabla 19. *Análisis de varianza de medidas repetidas para la variable Peso.*

Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Tratamiento	8	18	5,084	0,0020**
Día	4	72	87,687	<0,001***
Tratamiento × Día	32	72	2,025	0,0069**

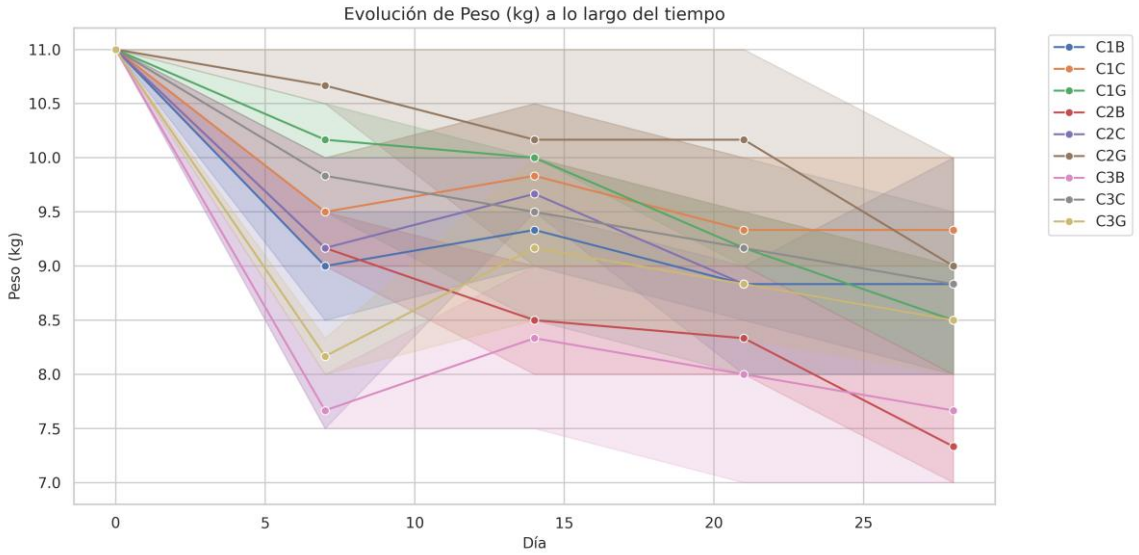
Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. ns: p > 0,05; ***** p < 0,05; ****** p < 0,01; ******* p < 0,001
gl = grados de libertad; F = estadístico F; p = nivel de significancia.

Interpretación

Los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas indicaron que el tratamiento tuvo un efecto significativo sobre la reducción de peso (F = 5,084; p = 0,0020). Asimismo, el día de evaluación presentó un efecto altamente significativo (F = 87,687; p < 0,001), indicando que la reducción de peso cambió significativamente a lo largo del tiempo. Además, la interacción tratamiento × día fue significativa (F = 2,025; p = 0,0069), lo que evidencia que la respuesta de la reducción de peso dependió tanto del tratamiento aplicado como del tiempo de evaluación.

Figura 25: *Evolución de peso durante el proceso de descomposición.*



Fuente: Elaboración propia mediante Python (2026).

Discusión

En la **Figura 25** se puede observar que todos los tratamientos presentan una tendencia a la baja en el peso a los 28 días de evaluación, esto indica que la materia orgánica se encontraba en estado de descomposición a lo largo del proceso de compostaje, sin embargo esta disminución en el peso no fue uniforme ya que depende del microorganismo y sustrato utilizados.

La pérdida de peso observada puede explicarse por la actividad de los microorganismos, los cuales degradan los compuestos orgánicos y transforman parte del carbono en dióxido de carbono (CO_2) y agua, reduciendo progresivamente la masa del material. Por ello, una mayor disminución del peso es un indicador de una degradación más eficiente de la materia orgánica.

Estos resultados concuerdan con Velasquez Huacho (2024), quien reportó que la aplicación de microorganismos benéficos en estiércol de gallina favoreció la degradación de la materia orgánica y aceleró el proceso de compostaje, obteniendo un compost de mejor calidad.

De manera similar, Alvarez-Vera, Largo, Iglesias-Abad, & Castillo, (2019), señalaron que la aplicación de microorganismos eficientes autóctonos favoreció la biodegradación de residuos agropecuarios, acelerando la transformación de la materia orgánica y mejorando las características del compost obtenido. Estos resultados respaldan lo observado en la presente

investigación, donde la disminución del peso refleja el avance del proceso de descomposición y la acción de los microorganismos sobre los diferentes sustratos.

Tabla 20. *Comparaciones de tratamientos con diferencias significativas para el peso mediante la prueba de Tukey (α = 0,05).*

Comparación de tratamientos	Diferencia de medias (kg)	Valor p
C1C – C3B	1,27	0,0445*****
C2B – C2G	1,33	0,0272*****
C2G – C3B	1,67	0,0016******

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota. * Significativo ($p < 0,05$); ****** Muy significativo ($p < 0,01$); ******* Altamente significativo ($p < 0,001$).

Se presentan únicamente las comparaciones entre tratamientos que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Las demás comparaciones no presentaron diferencias estadísticas según la prueba de Tukey.

Interpretación

La prueba de Tukey mostró que, considerando el efecto principal del tratamiento, solo tres pares de tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). La mayor diferencia de medias se registró entre los tratamientos C2G y C3B (1,67 kg; $p = 0,0016$), seguida por C2B y C2G (1,33 kg; $p = 0,0272$) y C1C y C3B (1,27 kg; $p = 0,0445$). Las demás comparaciones no evidenciaron diferencias estadísticas significativas. Las comparaciones completas pueden consultarse en el **Anexo 10.**

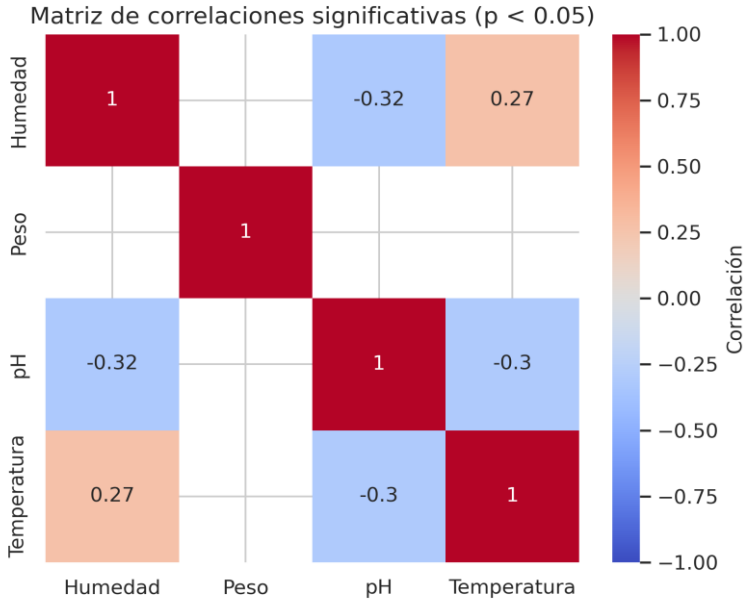
Discusión

De los tres grupos de tratamiento que mostraron diferencias significativas en la pérdida de peso mediante el análisis de Tukey se deduce que algunas combinaciones de microorganismos y materia orgánica favorecían una descomposición más profunda de la materia orgánica. La mayor diferencia significativa se observó entre los tratamientos C2G y C3B, lo que indica una variabilidad en la tasa de degradación de la materia orgánica.

La disminución del peso es un indicador del avance del proceso de compostaje, ya que refleja la transformación de la materia orgánica por acción de los microorganismos. Durante este proceso se libera dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y otros compuestos producto de la respiración microbiana, ocasionando una reducción progresiva de la masa del material. Según la Rodriguez, (2013), la pérdida de peso durante el compostaje es consecuencia de la mineralización de la materia orgánica y constituye un indicador del grado de descomposición y madurez del compost.

Matriz de correlación

Figura 26: *Matriz de correlación Significativas*.



Fuente: Elaboración propia mediante Python (2026).

Interpretación

- Humedad y temperatura tienen una correlación positiva significativa (r=0.27, p=0.0016).
- pH y Temperatura tienen una correlación negativa significativa (r=-0.30, p=0.0004).
- Humedad y pH tienen una correlación negativa significativa (r=-0.32, p=0.0002).

Discusión

La correlación negativa observada entre la humedad y el pH (r = -0,32) indica que un incremento en el contenido de humedad favoreció una ligera disminución del pH. Este comportamiento coincide con lo reportado por Lalremruati & Devi, (2021), quienes señalan

que durante la degradación de la materia orgánica la actividad microbiana promueve la formación de ácidos orgánicos, ocasionando reducciones temporales del pH.

La correlación positiva entre humedad y temperatura (r = 0,27) sugiere que una mayor disponibilidad de agua favoreció la actividad de los microorganismos responsables de la degradación de los residuos orgánicos. Noor et al., (2024), indican que el mantenimiento de una humedad adecuada incrementa la actividad microbiana y favorece la generación de calor durante el compostaje.

El pH y la temperatura presentaron una correlación negativa significativa (r = -0,30; p = 0,0004), lo que indica que, conforme aumentó la temperatura, el pH tendió a disminuir ligeramente. Aunque la intensidad de la correlación fue débil, el resultado sugiere una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Este comportamiento puede atribuirse a la actividad metabólica de los microorganismos, que modifica las condiciones fisicoquímicas del sustrato a medida que avanza el compostaje.

Discusión de resultados en general.

El análisis conjunto de las variables temperatura, pH, humedad y reducción de peso permitió evidenciar que los tratamientos evaluados presentaron un comportamiento diferente durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Con el tratamiento C2G (microorganismos de montaña en gallinaza) que presentó un mejor desempeño en cuanto a las variables de humedad promedio (81,47 %), temperatura (17,33 °C), pH (6,83) y reducción de peso, se concluyó que este presenta una mayor actividad microbiológica y una mejor descomposición del material orgánico. En relación con la prueba estadística ANOVA de medidas repetidas, los resultados muestran que el tratamiento y la interacción tratamiento por tiempo de evaluación son significativos en las variables. Esto indica que la respuesta de la materia orgánica depende del microorganismo que se aplica, del tipo de sustrato y del tiempo de evolución del proceso de compostaje a lo largo de los 28 días de evaluación. A la luz de estos resultados, la combinación de estos factores parece haber determinado el patrón de descomposición de cada uno de los tratamientos.

Sin embargo, la matriz de correlación mostró que las variables estudiadas estaban correlacionadas entre sí durante el proceso de compostaje. Por ejemplo, la humedad estuvo correlacionada con la temperatura en forma positiva, lo que indica que la humedad juega un

papel importante en el crecimiento microbiano y la producción de calor. La correlación negativa del pH con la humedad y la temperatura demuestra que los cambios bioquímicos ocurridos en la descomposición de la materia orgánica fueron cambiando las condiciones del medio poco a poco hasta llegar a las condiciones estables del compost.

En términos generales, los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de microorganismos eficientes contribuyó a acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica. En particular, el tratamiento **C2G** destacó entre los tratamientos evaluados porque mantuvo un contenido de humedad que favoreció el desarrollo de los microorganismos, una temperatura asociada con una mayor actividad biológica y un pH dentro de un rango adecuado para las transformaciones fisicoquímicas del material. Estas condiciones, junto con la mayor reducción de peso registrada, evidencian una descomposición más eficiente de la materia orgánica, por lo que este tratamiento presentó el mejor desempeño durante el proceso de compostaje.

Materiales e insumos.

Tabla 21. *Costos de materiales e insumos.*

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Microorganismos eficientes comercial	1	Galon	$30	$30
Melaza	1 caneca	Unidad	$10	$10
Agar PDA	1	Frasco	$85	$85
Cajas Petri	2	Paquete	$5	$10
Guantes	1	Caja	$2	$2
Mascarillas	1	Caja	$2	$2
Alcohol 96 %	1	Litro	$1	$1
Vasos plásticos	6	Unidad	$0,35	$2,10
Ligas	1	Paquete	$0,85	$0,85
Tela nylon	1	Metro	$0,45	$0,45

Botellas plásticas	2	Unidad	$1	$2
Transporte	5	Viajes	$3	$15
Mano de obra	2	Jornales	$15	$30
TOTAL				**$190**

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Interpretación.

En la **Tabla 21** se presenta el costo de los insumos durante la etapa de investigación para determinar el efecto de los microorganismos eficientes en la descomposición de la materia orgánica. La investigación tuvo un costo total de $190.00, en la que se incluyó la compra de materiales de laboratorio, insumos de campo, microorganismos eficientes, melaza, transporte y mano de obra.

Por su parte, los costos más elevados fueron el medio de cultivo agar PDA, con $85.00, 44.5 % del costo total, por el uso de este medio de cultivo en los análisis microbiológicos durante la investigación. En costos de $30.00 y 15.7 % del total se colocan la compra de microorganismos eficientes comerciales y el costo de la mano de obra, respectivamente. El costo del transporte fue de $15.00 7.9 % y el de la melaza para activar los microorganismos fue de $10.00 5.2 %.

El resto de los insumos, como las cajas Petri, los guantes, las mascarillas, el alcohol, los vasos plásticos, las ligas, la tela nylon y las botellas plásticas, aunque representaron un porcentaje menor del presupuesto, eran igualmente necesarios para la realización del experimento y los análisis de laboratorio y de campo.

Desde el punto de vista económico, la mayor parte de la inversión se destina a los reactivos de laboratorio y a la compra de cultivos de microorganismos apropiados, que permiten asegurar la calidad de los resultados y el control del proceso de descomposición de las materias orgánicas.

INSUMOS Y MATERIALES

Tabla 22. *Costos por tratamiento.*

TRATAMIENTO	ME COMERCIAL	MELAZA	Agra PDA	CAJA PETRI	GUANTES	MASCARILLA	VASOS PLASTICOS	ALCOHOL 96 %	TELA NAYLON	LIGAS ELEASTICAS	BOTELLAS PLASTICAS	TRANSPORTE	MANO DE OBRA	COSTO POR TRATAMIENTO
T1 C1A1	$10	$1	0	0	$0,66	$0,66	0	0	0	0	0	$1,66	$3	$16,98
T2 C1A2	$10	$1	0	0	$0,66	$0,66	0	0	0	0	0	$1,66	$3	$16,98
T3 C1A3	$10	$1	0	0	$0,66	$0,66	0	0	0	0	0	$1,66	$3	$16,98
T4 C2A1	0	$1	$28	$1,66	$0,66	$0,66	$0,35	$1	$0,45	$0,85	$1	$1,66	$3	$40,29
T5 C2A2	0	$1	$28	$1,66	$0,66	$0,66	$0,35	$1	$0,45	$0,85	$1	$1,66	$3	$40,29
T6 C2A3	0	$1	$28	$1,66	$0,66	$0,66	$0,35	$1	$0,45	$0,85	$1	$1,66	$3	$40,29
T7 C3A1	0	0	0	0	$0,66	$0,66	0	0	0	0	0	$1,66	$3	$5,98
T8 C3A2	0	0	0	0	$0,66	$0,66	0	0	0	0	0	$1,66	$3	$5,98
T9 C3A3	0	0	0	0	$0,66	$0,66	0	0	0	0	0	$1,66	$3	$5,98
TOTAL														**$189,75**

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Interpretación.

En la **Tabla 22** se observa que los tratamientos con microorganismos de montaña (C2) fueron los de mayor costo por tratamiento ($40,29), debido a la compra de materiales para el aislamiento, purificación y multiplicación de microorganismos, como son: agar PDA, cajas Petri, alcohol al 96%, vasos plásticos, tela de nylon, ligas elásticas y botellas plásticas. Para los tratamientos con microorganismos comerciales (C1) el costo fue de $16,98 por tratamiento, debido a la compra del inoculante comercial y de melaza para su activación. El tratamiento testigo (C3) fue el más barato, ya que no había inoculación de microorganismos ni se necesitaban otros insumos de laboratorio, y tenía un costo de $5,98. En total, el costo de la implementación de los nueve tratamientos experimentales fue de $189,75. Sin embargo, estos resultados reflejan únicamente el costo de implementar el experimento, y no deben interpretarse como un análisis de costo-efectividad o viabilidad económica de los tratamientos.

Tabla 23. *Relación beneficio/costo estimada de los tratamientos.*

Tratamiento	Peso final promedio (kg)	Precio referencial ($/kg)	Ingreso estimado ($)	Costo del tratamiento ($)	Beneficio neto ($)	Relación B/C
T1 C1A1	9,40	0,80	7,52	16,98	-9,46	0,44
T2 C1A2	9,80	0,80	7,84	16,98	-9,14	0,46
T3 C1A3	9,77	0,80	7,82	16,98	-9,16	0,46
T4 C2A1	8,87	0,80	7,10	40,29	-33,19	0,18
T5 C2A2	9,43	0,80	7,54	40,29	-32,75	0,19
T6 C2A3	10,20	0,80	8,16	40,29	-32,13	0,20
T7 C3A1	8,53	0,80	6,82	5,98	0,84	1,14
T8 C3A2	9,67	0,80	7,74	5,98	1,76	1,29
T9 C3A3	9,13	0,80	7,30	5,98	1,32	1,22
Total	**84,80**		**67,84**	**189,75**	**-121,91**	**0,36**

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

Nota: Se adoptó un precio referencial de venta de $0,80/kg**,** valor que se encuentra dentro del rango reportado para la comercialización de compost en Ecuador (USD 0,13–0,95/kg) (Coello-Choez,et al.2026).

Análisis de la relación beneficio/costo.

La relación beneficio/costo se estimó considerando el peso final promedio obtenido en cada tratamiento, un precio referencial de venta del compost de $0,80 por kilogramo y los costos de implementación registrados durante el desarrollo del experimento. El ingreso potencial de cada tratamiento se estimó multiplicando el peso final por el precio de referencia, y la relación beneficio/costo se calculó como el cociente entre ingreso y costo de producción.

Los tratamientos testigo T7, T8 y T9 fueron los que mostraron mejor relación beneficio/costo (1,14; 1,29 y 1,22, respectivamente). El tratamiento T8 fue el que mostró mejor relación beneficio/costo económica, con un ingreso de $7,74, un costo de $5,98 y una utilidad de $1,76. En este sentido, los tratamientos con microorganismos comercializados (T1, T2 y T3) tuvieron igual relación beneficio/costo, entre 0,44 y 0,46, y aquellos con microorganismos de montaña (T4, T5 y T6) tuvieron la menor relación, entre 0,18 y 0,20, debido a que es costoso el aislamiento, purificación y multiplicación de microorganismos de montaña.

A pesar de que se encontraron menores relaciones costo/beneficio en los tratamientos con los microorganismos de montaña, no se encontró disminución en la eficiencia técnica de descomposición. El tratamiento C2A3, que en el experimento mostró mejor desempeño en la descomposición, tuvo un costo de producción más alto debido a la inversión en la elaboración del inoculante. Sin embargo, Zhang et al. (2021) afirman que, aunque los microbianos inoculantes pueden mejorar la eficiencia del compostaje, no siempre resultan económicamente rentables dada su producción y aplicación a gran escala.

El costo de los nueve tratamientos fue de 189,75 $, con una posible recaudación de 67,84 $, lo que implica una relación costo/beneficio de 0,36. Bajo las condiciones experimentales y el precio de referencia, el costo no se recupera. Sin embargo, esta no es una evaluación económica a escala de campo, ya que la mayor parte de los costos provienen de insumos de laboratorio reutilizables. A este respecto, Santiago et al., (2025) informan que la producción de microorganismos autóctonos requiere una mayor inversión inicial, que se amortiza cuando el inoculante se produce de forma continua.

11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).

Técnicos.

La investigación generó información técnica sobre la eficiencia de los microorganismos eficientes (ME) comerciales y de montaña en la aceleración del proceso de descomposición de diferentes materias orgánicas: gallinaza, bovinaza y cuyaza. Los resultados obtenidos permiten disponer de una alternativa técnica para optimizar el proceso de compostaje, reducir el tiempo de obtención de abonos orgánicos y mejorar las prácticas de manejo de residuos agropecuarios. Además, la metodología desarrollada puede ser utilizada como referencia para futuras investigaciones relacionadas con el uso de microorganismos benéficos en sistemas agrícolas.

Sociales.

Los beneficiarios son los agricultores, productores y estudiantes que podrán conocer el uso adecuado de los microorganismos eficientes en el manejo de los residuos orgánicos. Se espera que con el uso de estas tecnologías se logre capacitar mejor en el uso de buenas prácticas, tener una agricultura más limpia y responsable, y se logre transferir mejor el conocimiento de la universidad al sector productivo.

Ambientales.

Los microorganismos eficientes hacen un uso de los residuos orgánicos que de otro modo se convertirían en contaminantes en caso de no gestionarse. Su uso acelera el proceso de descomposición de los residuos, lo que impide que se acumulen, que se generen olores desagradables o que aumente la proliferación de microorganismos patógenos y plagas. La producción de compost estabilizado permite el reciclado de nutrientes, mejora la calidad de los suelos y reduce la necesidad de aportes de fertilizantes sintéticos, contribuyendo a la agricultura sostenible.

Económico.

Los microorganismos eficientes reducen el tiempo necesario para que el compost esté listo, y el tiempo, el espacio y la mano de obra necesarios para realizar el compostaje. Se aprovecha lo que produce la misma unidad agropecuaria, y se reducen los gastos en la compra de fertilizantes en el mercado. Todo esto convierte a los microorganismos eficientes en una alternativa muy rentable para el productor. La evaluación de costos que se realizó en este caso de estudio se

puede adaptar para evaluar la rentabilidad de utilizar microorganismos eficientes en la producción de abonos orgánicos.

12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

Tabla 24. *Tabla redactada de los costos y presupuesto del proyecto.*

Item	Cantidad	Unidad	C.Unitario $	Total $
Servicios				
Análisis microbiologico	12	Análisis	12	$144
Sub total				**$144**
Material de Campo				
Vasos plasticos	6	unidades	0,85	$5
Ligas elásticas	6	unidades	0,30	$2,00
Tela Nylon	6	unidades	0,45	$2,7
Sustrato (Arroz)	3	Libras	0,85	$2,55
Macetas Air pot	27	unidades	1,85	$48
Estacas	4	unidades	1	$4
Instrumento soil tester	1	unidades	50	$50
Balanza	1	unidades	20	$20
Valdes plasticos	3	unidades	1,5	$4,5
Microorganismos comercial Dr. Higa's Original	1	Galon	30	$30
Fumigadora Manual	1	unidades	6	$6
Melaza	10	Litros	8	$8
Sub Total				**$182,75**
Material de laboratorio				
Cajas petry plasticas	4	paquete	5	$20
Agar Selectivo	1	gramos	35	$35
Agar PDA	1	gramos	35	$35
Papel aluminio	1	rollo	3	$3
Papel parafilm	1	rollo	3	$3
Papel absorvente	1	rollo	1,5	$1,5
Alcohol 96 %	1	litro	1,5	$1,5

Fundas siplock	20	paquete	0,20	**$**4
Marcador	1	unidades	1	**$**1
Libreta	1	unidades	1	**$**1
Sub Total				**$105**
TOTAL				**$431,75**

Fuente: (Oña, Tabla elaborada por el estudiante, 2026).

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se obtuvo cultivos puros de *Trichoderma spp* $2{,}5\times10^{8}$ esporas/mL y *Bacillus subtilis 2*,1×10^{10} celulas/mL, cuya concentración y pureza permitieron utilizarlos como inoculantes durante la fase experimental. Esto demuestra que los microorganismos nativos representan una alternativa viable para procesos de descomposición de materia orgánica.

- La aplicación de microorganismos eficientes influyó en el proceso de descomposición de la materia orgánica, evidenciándose diferencias significativas entre tratamientos para las variables temperatura, pH, humedad y peso. Los análisis de ANOVA mostraron que el efecto del tratamiento fue altamente significativo ($p < 0{,}001$) para la temperatura ($F = 12{,}923$), el pH ($F = 23{,}854$), la humedad ($F = 8{,}783$) y la pérdida de peso, y significativo para el resto de las variables; la prueba de Tukey corroboró que hay diferencias significativas entre tratamientos, siendo mayores estas diferencias en el C2G y en el C3B, lo que significa que el microorganismo y la materia orgánica influyen en la velocidad de descomposición y en el comportamiento de las variables.
- El tratamiento C2G (microorganismos de montaña + gallinaza) presentó el mejor comportamiento durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Este tratamiento registró la mayor humedad promedio (81,47 %), una temperatura promedio de 17,33 °C, un pH de 6,83 y evidenció una mayor reducción de peso en comparación con otros tratamientos, lo que indica una mayor actividad microbiana y una descomposición más eficiente de la materia orgánica.

- Los tratamientos con microorganismos de montaña presentaron el mayor costo de implementación $40,29 por tratamiento, mientras que los tratamientos con microorganismos comerciales registraron un costo de $16,98 por tratamiento. Estos resultados corresponden únicamente a los costos de implementación de los tratamientos experimentales.

Recomendaciones

- Continuar investigando el uso de microorganismos nativos obtenidos en el Campus Salache, incorporando otras especies benéficas y evaluando su comportamiento en diferentes condiciones ambientales y tipos de residuos orgánicos, con el fin de ampliar las alternativas biológicas disponibles para el compostaje.

- Desarrollar nuevas investigaciones utilizando diferentes dosis de microorganismos eficientes y tiempos de evaluación superiores a 28 días, incluyendo análisis físicos, químicos y microbiológicos del compost maduro, para determinar con mayor precisión la calidad del producto final y su respuesta en condiciones de campo.

14. BIBLIOGRAFÍA

Agraria, F. D. I., Alimentarias, I., Daria, Y., & Samames, R. (2025). *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*.

Agustina, N. laras. (2019). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores, 1–9.

ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J. (2001). Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 11–27. https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401843

Alvarez-Vera, M., Largo, A., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2019). Quality of compost obtained from hen manure, with application of beneficial microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, *10*(3), 353–361. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05

Arias, A. (2010). Microorganismos Eficientes Y Su Beneficio Para La Agricultura Y El Medio Ambiente. *Journal De Ciencia E Ingeniería*, *02*(02), 42-45pp. Retrieved from http://jci.uniautonoma.edu.co/2010/2010-7.pdf

Bastidas, O. (2012). Fórmula de la cámara de Neubauer, 4–5. Retrieved from http://www.celeromics.com/es/resources/docs/Articles/Formula-Camara-Neubauer-Concentracion.pdf

Braga, L. P. P., Pereira, R. V., Martins, L. F., Moura, L. M. S., Sanchez, F. B., Patané, J. S. L., … Setubal, J. C. (2021). Genome-resolved metagenome and metatranscriptome analyses of thermophilic composting reveal key bacterial players and their metabolic interactions. *BMC Genomics*, *22*(1), 1–19. https://doi.org/10.1186/s12864-021-07957-9

Buri, S., & Salazar, K. (2021). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Certificación :, 212.

Caiza, G., & Cóndor, M. (2016). Repositorio Digital: Diseño y desarrollo de un calentador de agua mediante el uso de energía calorífica generado por una compostera para áreas rurales., 1–165. Retrieved from http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6898

Castro-barquero, L. (2021). FACTORES RELACIONADOS CON LA ACTIVACIÓN LÍQUIDA DE, *45*(1), 81–92.

Chigue, A. J., & Saracay, K. V. (2021). Universidad técnica de cotopaxi. *Universidad Técnica de Cotopaxi*, *1*, 101. Retrieved from http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf

Chimbo Cabascango, D. E. (2023). Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la granja experimental ECAA. Retrieved from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ec6d19be-02f2-42d2-9d89-fd44757edcd9/content

Coello-Choez, B., Bravo-Montero, Lady, & Herrera-Franco, G. (2026). Solid Waste Management in a Context of Sustainability in the Sahuangal Community, Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, *18*(6), 1–27. https://doi.org/10.3390/su18062811

Cruz-Cárdenas, C., Zelaya, L., Sandoval, G., de los Santos, S., Rojas, E., Chávez, I., & Ruíz, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(5), 899–913.

El Sitio Avícola. (2016). Manejo de la Gallinaza. Retrieved from http://www.elsitioavicola.com/articles/2913/manejo-de-la-gallinaza-compostar-para-lograr-una-granja-libre-de-malos-olores-y-moscas/

Espinosa-barrera, L., Y, H. S., & Centeno-leija, S. (2021). Streptomyces : “ L a vieja confiable,” *44*, 36–44.

Espinoza, E. N. F. (2023). Universidad nacional de ucayali. *Unu*, 1–103. Retrieved from

https://drive.google.com/file/d/1oB4TDXbGRILAtydeLowHK0um4vYNCQE-/view

Fernández, M. (2022). Obtención de fertilizantes líquidos a partir de material bioestabilizado. *UVa*, 1–267. Retrieved from https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/55127/Tesis2047-220915.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Franklin Javier Sango Viracocha. (2020). Evaluación de un inoculante microbiano en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de una granja porcina, Latacunga, Ecuador, *21*(1), 1–9.

Gabriel González, R. E. (2021). *Universidad técnica de cotopaxi*. *Universidad técnica de cotopaxi* (Vol. 1). Retrieved from http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf

García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Ct*, *3*, 173–186.

Gladys Koralia Mullo Ochoa. (2021). Universidad Técnica De Babahoyo Universidad Técnica De Babahoyo Universidad Técnica De Babahoyo, 58. Retrieved from https://dspace.utb.edu.ec/bitstreams/402e15f9-a124-4399-b62f-140ef6f7f860/download

Gonzalez, M., Ruscitti, M., Arango, C., & Pastorino, G. (2018). Definiciones de las meiosis. *Libros de Cátedra*, *2*(3), 1–135.

Hidalgo, P. (2012). Utilizacion de abonos organicos en el cultivo de tomate riñón(Licopersicum sculentum L.), 65. Retrieved from http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2291

Huaraca, K. (2020). Diferentes protocolos de optención y activación de microorganismos eficientes de montaña sobre las características fisioquímicas de abonos orgánicos. *Universidad Nacional Agraria de La Selva*, 71. Retrieved from http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/141

INTAGRI. (2021). La Gallinaza Como Fertilizante.

Issn, A. A. (2023). Composición química del excremento entero, composta y lixiviado de la cama de Cuyes. *Abanico Agroforestal*, *5*, 1–7. https://doi.org/10.37114/abaagrof/2023.1

Jes, M., Directores, J., Garc, C., Programa, H., Interuniversitario, P., Qu, P. D., & Rivera, A. (2015). *Aprovechamiento Integral De Variedades De Leucaena Para La Obtención De Productos De Alto Valor Añadido Y Compost Autora*.

Kome, G. K., Enang, R. K., Tabi, F. O., & Yerima, B. P. K. (2019). Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review. *Open Journal of Soil Science*, *09*(09), 155–188. https://doi.org/10.4236/ojss.2019.99010

L. Rodriguez. (2020). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible

Materia orgánica y actividad biológica. Qué es y qué hace. *Qué Es y Qué Hace.*, *1*, 1–28. Retrieved from https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/1. Materia orgánica y actividad biológica.pdf

Lalremruati, M., & Devi, A. S. (2021). Duration of Composting and Changes in Temperature, pH and C/N Ratio during Composting: A Review. *Agricultural Reviews*, *44*(Of), 350–356. https://doi.org/10.18805/ag.r-2197

Largo, A. (2020). Estudio de compost a partir de excretas de aves, con aplicación de microorganismos benéficos en la ciudad de Cuenca, 1–84. Retrieved from https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954

Lennard, B. V. T. L. J. (2024). "Aplicación de microorganismos eficientes para mejorar la descomposición de residuos sólidos orgánicos en el centro compostero de Granja Porcón - Cajamarca," *2*, 306–312.

Li, T., Zhang, H., Wang, X., Cheng, S., Fang, H., Liu, G., & Yuan, W. (2019). Soil erosion affects variations of soil organic carbon and soil respiration along a slope in Northeast China. *Ecological Processes*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s13717-019-0184-6

Madrid, L. Y. (2023). Universidad Estatal del Sur de Manabí. *Repositorio Unesum*, (261), 76. Retrieved from http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3211/1/BRUNO ASTUDILLO-TESIS- Revisión Dra. Moran.pdf

Magíster, T. D. E., Química, E. N., Achupallas, D. V., & Alexandra, M. (2019). L a Universidad Católica de Loja.

Manga, M., Muoghalu, C., Camargo-Valero, M. A., & Evans, B. E. (2023). Effect of Turning Frequency on the Survival of Fecal Indicator Microorganisms during Aerobic Composting of Fecal Sludge with Sawdust. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3). https://doi.org/10.3390/ijerph20032668

Martínez, A., & Ronaldo, M. (2021). Escuela Agrícola Panamericana , Zamorano Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria Ingeniería Agronómica Efecto del estiércol bovino en diferentes etapas de descomposición en el desarrollo de la lombriz roja californiana (Eisenia fetida).

Mero, L. (2021). Efecto de Azotobacter en la producción de maní (Arachis hypogaea) cantón Milagro, parroquia Mariscal Sucre, 1–71. Retrieved from https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MERO DAVID LADY JOHANNA.pdf

Montero, S. (2019). Eficacia de los microorganismos eficientes en la elaboración de compost con materia orgánica generados en los mercadillos de Cayhuayna, distrito de Pillco Marca,

departamento de Huánuco Noviembre-2018-Enero-2019, 166.

Nemet, F., Perić, K., & Lončarić, Z. (2021). Microbiological activities in the composting process : A review. *Columella : Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *8*(2), 41–53. https://doi.org/10.18380/szie.colum.2021.8.2.41

Noboa, B. (2021). Uso de microorganismos eficientes para acelerar la descomposición de residuos vegetales de cacao (Theobroma cacao L), Echeandía-Bolivar, 1–82.

Noor, R. S., Shah, A. N., Tahir, M. B., Umair, M., Nawaz, M., Ali, A., … Assiri, M. A. (2024). Recent Trends and Advances in Additive-Mediated Composting Technology for Agricultural Waste Resources: A Comprehensive Review. *ACS Omega*, *9*(8), 8632–8653. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06516

Pedraza Pachón, S. A., & Hernández Sanabria, L. A. (2019). Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje. *Avances Investigación En Ingeniería*, *16*(2 (Julio-Diciembre)), 52–63. https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5439

Pp, A. B. S., Borracha, A. B. S., & Pvc, B. B. (2012). F icha Técnica F icha Técnica, 29–31.

Rittenhouse, T. (2020). Hoja de Datos: Estiércol en Sistemas de Producción Orgánica. *Ncat*, 1–4.

Rodriguez, Y. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Retrieved from http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf

Rongcai, R. E. N., Guoxiong, W. U., & Ming, C. A. I. (2020). *MANEJO TECNICO DE CUYES*. Retrieved from https://humana-ecuador.org

Sanchez, S. (2020). Factores Que Influyen En La Descomposición De La Materia Orgánica. *Fao.Org*. Retrieved from https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf.

Sánchez Tigrero, S., Ramírez-Vargas, D., & García Cruzatty, L. (2026). Composting in agroecology: Effects on soil structure, nutrient availability and beneficial microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, *17*(1), 211–225. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.015

Santiago, L., Fernández, Q., Jacqueline, M., Lozano, M. De, Alberto, A., Rivadeneira, D., … Díaz, R. (2025). Autoridades Equipo editorial.

Silva, M. J., Zainol, I., Tanoeiro, J. R., Sitowski, A., Major, I., Murphy, E. J., & Fehrenbach, G. W. (2025). Livestock Slurry and Sustainable Pasture Management: Microbial Roles, Environmental Impacts, and Regulatory Perspectives in Ireland and Europe. *Microorganisms*, *13*(4), 1–29. https://doi.org/10.3390/microorganisms13040788

Tade, G., Huánuco, S. A. C. E. N., Roberto, C., & Paredes, R. (2022). " IMPORTANCIA DE

LA GALLINAZA COMO FERTILIZANTE ORGÁNICO PARA MEJORAR EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE PAPA DEL Licenciada en Administración y Negocios Internacionales Asesor :

Trejo-escareño, H. I., Salazar-sosa, E., Dimas, J., & Cirilo, L. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz * Impact of cow manure in soil and corn forage production Resumen Introducción, *4*, 727–738.

Vásquez Castro, E. R., & Millones Chanamé, C. E. (n.d.). Una revisión sobre la diversidad microbiana y su rol en el compostaje aerobio. *Aporte Santiaguino*, *14*(2 SE-Artículos de Revisión), pág. 253-275. https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n2.822

Vinicio, A., Peralta, P., & Ambiental, I. (2024). Revisión bibliográfica del efecto de la adición de estiércol bovino en la producción agrícola, *7*(4), 87–102.