

UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y Del Ambiente.

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Tema:

EFECTO DE DOS INÓCULOS MICROBIANOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de agroindustria.

Autores:

Monserrate Vecilla Diego Alejandro

Villegas Benalcázar José Fernando

Tutor:

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

Guaranda – Ecuador

2026

EFECTO DE DOS INÓCULOS MICROBIANOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

REVISADO Y APROBADO POR:

Ing. Juan Alberto Gaibor Chavez PhD.
TUTOR

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.
PAR LECTOR

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.
PAR LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Yo, Diego Alejandro Monserrate Vecilla, con CI 1206950139 y José Fernando Villegas Benalcázar, con CI 1726051186, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Diego Alejandro Monserrate Vecilla
CI: 1206950139
AUTOR

José Fernando Villegas Benalcázar
CI: 1726051186
AUTOR

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.
CI: 0201051687
TUTOR

Notaria Tercera del Cantón Guaranda
Msc.Ab. Henry Rojas Narvaez
Notario

....rio
N° ESCRITURA: 20260201003P03451
DECLARACION JURAMENTADA
OTORGADA POR: VILLEGAS BENALCAZAR JOSE FERNANDO y MONSERRATE VECILLA DIEGO ALEJANDRO
CUANTIA: INDETERMINADA
DI: 2 COPIAS
J.G.
Factura: 001-003-000001344

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy dieciséis de octubre del dos mil veintiséis, **ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda**, comparecen: **VILLEGAS BENALCAZAR JOSE FERNANDO,** soltero, celular 0987324550, domiciliado en el cantón Guaranda y, **MONSERRATE VECILLA DIEGO ALEJANDRO,** soltero, celular 0979887043, domiciliado en este Cantón Guaranda, por sus propios y personales derechos, obligarse a quienes de conocerles doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana; Los compareciente autorizan el tratamiento de sus datos personales en este instrumento público, bien instruidos por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertidos de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declaran lo siguientes el presente trabajo de investigación titulado: **"EFECTO DE DOS INÓCULOS MICROBIANOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE"**. Es de nuestra exclusiva responsabilidad en calidad de autores, previo a la obtención de título de Ingenieros Agroindustriales en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, en la Universidad Estatal de Bolívar. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hacemos para los fines legales pertinentes. **HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA.** La misma que elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que les fue a los comparecientes por mí el Notario en unidad de acto, queda incomparada al protocolo de esta notaria aquellos se ratifican y firman conmigo de todo lo cual doy Fe.

VILLEGAS BENALCAZAR JOSE FERNANDO
C.C. 1726051186

MONSERRATE VECILLA DIEGO ALEJANDRO
C.C. 1206950139

AB. HENRY ROJAS NARVAEZ
NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA

Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR (UEB)

tesis_monserratte_villegas_8_octubre (1)
ID : 2a9cba417f82b7d3a8685cd23cd2a219bf0f01ec

6%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : tesis_monserratte_villegas_8_octubre (1).docx
Tamaño del archivo original : 1 byte
Número de palabras : 25.631

Depositante : JUAN ALBERTO GAIBOR CHAVEZ
Fecha de depósito : 13 de octubre de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 13 de octubre de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

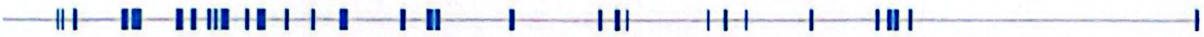
Similitudes **4%**

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA **11%**

Textos con formulaciones estilísticamente similares a las de un texto generado por IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos **3%**

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas **<1%**

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.



Ing. Juan Alberto Gaibor Chavez PhD.
TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su esfuerzo incansable, trabajo constante y amor sin límites me enseñaron que la educación es la mayor herencia y el camino hacia la superación. A ustedes, que postergaron metas propias para ver cumplir las mías, que celebraron cada pequeño logro y me sostuvieron en los momentos de incertidumbre. Este título no lleva solo mi nombre, sino también cada una de sus oraciones, sacrificios y esperanzas.

A mis hermanas y seres queridos, que con sus palabras de aliento, silencios respetuosos y presencia incondicional transformaron los días difíciles en momentos de fortaleza. Gracias por ser el refugio al que siempre pude volver durante este largo recorrido académico.

Diego Monserrate Vecilla

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el cimiento de cada uno de mis logros. Su sacrificio, amor y fe en mí convirtieron esta meta en una realidad.

A ustedes, por enseñarme el valor del esfuerzo, la responsabilidad, el compromiso y la integridad. Gracias por su fe inquebrantable y su amor incondicional, los cuales fortalecieron la confianza en mis capacidades para culminar con éxito este trayecto académico. Este título es la cosecha de lo que con tanto amor sembraron; un logro tan suyo como mío.

A mis hermanos y seres queridos, por recordarme siempre de lo que soy capaz y por brindarme su respaldo incondicional en cada paso del camino.

José Fernando Villegas Benalcázar

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi infinita gratitud a Dios, por ser mi luz, mi refugio y mi fortaleza en todo momento. Gracias por haberme concedido la salud, la sabiduría y la templanza necesarias para superar cada reto, por guiar mis pasos cuando la distancia pesaba y por permitirme culminar con éxito este importante ciclo de mi vida.

A mi madre, Reina Vecilla, por su amor incondicional, su ternura y sus oraciones constantes. Dejar mi hogar a los 18 años para perseguir este sueño no fue una decisión fácil, pero tu apoyo moral, tus palabras de aliento a la distancia y tu cuidado permanente fueron el abrazo que me sostuvo en los días más complejos. Gracias por ser el pilar sentimental de mi vida y por enseñarme a no rendirme jamás.

A mi padre, Cirilo Monserrate, mi mayor ejemplo de trabajo, rectitud y esfuerzo incansable. Este logro es el fruto de cada uno de tus sacrificios cotidianos y de tu dedicación abnegada durante estos 4 años de carrera universitaria. Gracias por enseñarme el valor de la perseverancia, por creer en mis capacidades y por trabajar sin descanso para darme la oportunidad de formarme como un profesional. Este título universitario es tan tuyo como mío.

A mi tutor de tesis, Juan Gaibor, por su valiosa guía, su rigor académico y su paciencia a lo largo del desarrollo de esta investigación. Su orientación profesional, sus oportunas observaciones y su disposición para compartir su conocimiento fueron fundamentales para estructurar y culminar exitosamente este trabajo de titulación.

Finalmente, a la Universidad Estatal de Bolívar y, de manera muy especial, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haberme abierto sus puertas y permitirme formar en sus aulas. A sus docentes y personal, por transmitirme los conocimientos.

Diego Monserrate Vecilla

AGRADECIMIENTO

A Dios, por otorgarme la fortaleza, la salud y la guía necesarias para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mi madre, Silvana Benalcázar, por ser mi fuente de fortaleza, amor y refugio. Gracias por tu entrega desmedida, por ser mi mayor ejemplo de sacrificio y resiliencia ante la adversidad, por tu paciencia infinita y por ser el pilar fundamental para alcanzar esta meta tan anhelada.

A mi padre, Leonardo Villegas, por su paciencia, su respaldo constante y sus sabios consejos en los momentos de incertidumbre, los cuales me guiaron para construir mi propio camino a lo largo de toda mi formación académica.

A mis hermanos, Matías y Juan Andrés Villegas, por ser mis compañeros incondicionales de vida, por las risas compartidas y la complicidad en los días de mayor dificultad, así como por su apoyo moral y su fe constante en mis capacidades.

A mi enamorada, Nataly Guerrero, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, por ser mi refugio y mi fuerza, gracias por acompañarme con tolerancia y paciencia en los momentos más duros que me tocó enfrentar en este trayecto.

A mis abuelos maternos, Fernando Benalcázar y Alicia Aguirre, por sus consejos llenos de sabiduría inculcándome el valor de la humildad, el trabajo digno y la perseverancia, así como por su presencia y amor constante a lo largo de este camino.

A mi tía Lorena Benalcázar y a mi prima María Paula Chacón, por cada gesto de cariño y guía constante, por celebrar cada uno de mis logros y aportar con sus valiosos consejos a mi futuro profesional.

A mi abuelo paterno, José Villegas, que, aunque ya no esté físicamente presente, sus valores, su calidez y sus historias llenas de sabiduría me impulsaron a alcanzar esta meta.

A mi tutor, Ing. Juan Gaibor, por su respaldo técnico, su constante apoyo y la guía metodológica que hizo posible la culminación de este trabajo. Gracias por su orientación docente a lo largo de mi trayectoria universitaria, la cual hizo que, con el paso del tiempo, lo llegue a considerar un gran amigo.

De igual manera, extiendo mi gratitud a la Universidad Estatal de Bolívar, por acogerme durante estos años de estudio, verme crecer hasta convertirme en un profesional y enriquecer mi formación académica.

José Fernando Villegas Benalcázar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1
1.1 Introducción 1
1.2 Planteamiento del problema 3
1.3 Objetivos 4
1.3.1 Objetivo general 4
1.3.2 Objetivo específico 4
1.4 Hipótesis 5
1.4.1 Hipótesis nula (H0) 5
1.4.2 Hipótesis alterna (Ha) 5
CAPÍTULO II 6
MARCO TEÓRICO 6
2.1 Antecedentes teóricos 6
2.2 El compost 7
2.3 Proceso de compostaje 9
2.4 Fases del compostaje 12
2.5 Sustratos y tipos de sustratos 14
2.6 Residuos sólidos vegetales 16
2.7 Microorganismos en el proceso de compostaje 18
2.8 *Saccharomyces cerevisiae* en compostaje 20
2.9 Bacterias ácido-lácticas (BAL) en compostaje 22
2.10 Calidad fisicoquímica del compost 25
CAPÍTULO III 28
MARCO METODOLÓGICO 28
3.1 Ubicación de la investigación 28
3.2 Material en estudio 28
3.3 Factores en estudio 29
3.4 Descripción técnica del ensayo 30

3.5 Tipo de diseño experimental o estadístico 33
3.6 Tipos de análisis 34
3.7 Descripción de las etapas del proceso 34
3.8 Metodología de la investigación 36
3.9 Manejo de la investigación 37
RESULTADOS 40
4.1 Análisis e interpretación de los resultados fisicoquímicos de las materias primas para la elaboración de compost 40
4.2 Análisis elemental de las materias primas para la elaboración de compost 44
1. Conductividad eléctrica (CE) 46
2. Temperatura 48
3. pH 50
4. Humedad 51
5. Recuento de microorganismos (M/os) 53
6. Ceniza 55
7. Materia volátil 57
8. Carbono fijo 59
9. Carbono total 61
Síntesis del mejor tratamiento 63
Interpretación de la evolución de la temperatura (°C) durante el proceso de compostaje (semanas 0 a 12) 64
Análisis de beneficio/costo del mejor tratamiento (T1), ... 77
Alcance del análisis 77
Selección del mejor tratamiento 77
Conclusiones 82
Recomendaciones 84
Bibliografía 85
ANEXOS 98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación de la investigación 28
Tabla 2 Factores considerados para acelerar el proceso de fermentación 29
Tabla 3 Combinación de niveles y códigos (tratamientos) 30
Tabla 4 Criterios de la experimentación 30
Tabla 5 Aspectos generales del territorio 31
Tabla 6 Equipos e instrumentos 32
Tabla 7 Modelo ANOVA para el diseño factorial de dos factores 33
Tabla 8 Parámetros de medición 36
Tabla 9 Normas de referencia 37
Tabla 10 Resultados físicos químicos de las materias primas 40
Tabla 11 Análisis elemental materias primas 44
Tabla 12 ANOVA variable respuesta conductividad eléctrica — Semana 0 46
Tabla 13 ANOVA variable respuesta conductividad eléctrica — Semana 6 47
Tabla 14 ANOVA variable respuesta conductividad eléctrica — Semana 12 47
Tabla 15 ANOVA variable respuesta temperatura — semana 0 48
Tabla 16 ANOVA variable respuesta temperatura — semana 6 49
Tabla 17 ANOVA variable respuesta temperatura — semana 12 49
Tabla 18 ANOVA variable respuesta pH — semana 0 50
Tabla 19 ANOVA variable respuesta pH — semana 6 50
Tabla 20 ANOVA variable respuesta pH — semana 12 51
Tabla 21 ANOVA variable respuesta humedad — semana 0 52
Tabla 22 ANOVA variable respuesta humedad — semana 6 52
Tabla 23 ANOVA variable respuesta humedad — semana 12 53
Tabla 24 ANOVA variable respuesta recuento de microorganismos — semana 0 54
Tabla 25 ANOVA variable respuesta recuento de microorganismo — semana 6 54
Tabla 26 ANOVA variable respuesta recuento de microorganismo — semana 12 55

Tabla 27 ANOVA variable respuesta % ceniza— Semana 0 56
Tabla 28 ANOVA variable respuesta % ceniza — Semana 6 56
Tabla 29 ANOVA variable respuesta % ceniza — Semana 12 57
Tabla 30 ANOVA variable respuesta material volátil — semana 0 58
Tabla 31 ANOVA variable respuesta material volátil — Semana 6 58
Tabla 32 ANOVA variable respuesta material volátil — Semana 12 59
Tabla 33 ANOVA variable respuesta carbono fijo — semana 0 60
Tabla 34 ANOVA variable respuesta carbono fijo — semana 6 60
Tabla 35 ANOVA variable respuesta carbono fijo — semana 12 61
Tabla 36 ANOVA variable respuesta carbono total — semana 0 62
Tabla 37 ANOVA variable respuesta carbono total — semana 6 62
Tabla 38 ANOVA variable respuesta carbono total — semana 12 63
Tabla 39 Evolución de la temperatura (°C) por tratamiento (semanas 0–12) 65
Tabla 40 Evolución del pH por tratamiento (semanas 0–12) 68
Tabla 41 Evolución de la relación C/N por tratamiento (semanas 0–12) 71
Tabla 42 Evolución de la humedad (%) por tratamiento (semanas 0–12) 73
Tabla 43 Parámetros generales del estudio 77
Tabla 44 Rubros asignados al proyecto 78
Tabla 45 Indicadores de beneficio 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso de compostaje 35
Figura 2 Evolución temperatura por semana 65
Figura 3 Evolución del pH por semana 69
Figura 4 Evolución de la relación C/N por semana 72
Figura 5 Evolución de la humedad por semana 75
Figura 6 Mapa de la investigación 99

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Mapa de la investigación

Anexo 2 Cronograma de actividades

Anexo 3 Presupuesto

Anexo 4 Evidencia fotográfica de la fase de campo

Anexo 5 Análisis elementales de materias primas

Anexo 6 Glosario de términos técnicos

RESUMEN

El documento presenta un proyecto de investigación que evalúa el efecto de dos inóculos microbianos (*Saccharomyces cerevisiae* y bacterias ácido-lácticas) aplicados a diferentes sustratos orgánicos (estiércol de cerdo y estiércol de cuy) durante el proceso de compostaje. El objetivo principal del estudio es determinar cómo la interacción de estos factores influye en el tiempo de maduración y en la calidad fisicoquímica del abono resultante. Mediante un diseño experimental y un monitoreo de 12 semanas, los investigadores analizaron parámetros críticos como la temperatura, el pH, la humedad y la relación Carbono/Nitrógeno (C/N). Los resultados determinaron que el sustrato es el factor principal que define la velocidad de descomposición, mientras que los inóculos modulan la actividad biológica. El tratamiento T1 (estiércol de cuy combinado con bacterias ácido-lácticas) destacó como el más eficiente. Este fue el único tratamiento que logró superar el umbral térmico de higienización de 55 °C y alcanzó la estabilización funcional (relación C/N menor a 20:1) en apenas 49 días, logrando una reducción de tiempo muy significativa frente al compostaje convencional.

Palabras claves: Compostaje, inóculos microbianos, estiércol de cuy, estiércol de cerdo.

ABSTRACT

This document presents a research project that evaluates the effect of two microbial inoculants (*Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria) applied to different organic substrates (pig manure and guinea pig manure) during the composting process. The primary objective of the study is to determine how the interaction between these factors influences the maturation time and the physicochemical quality of the resulting compost. Through an experimental design and a 12-week monitoring period, the researchers analyzed critical parameters such as temperature, pH, moisture content, and the carbon-to-nitrogen (C/N) ratio. The results indicate that the substrate is the primary factor determining the rate of decomposition, while the inoculants modulate biological activity. Treatment T1 (guinea pig manure combined with lactic acid bacteria) proved to be the most efficient. It was the only treatment that surpassed the 55 °C thermal threshold required for sanitization and reached functional stabilization (a C/N ratio of less than 20:1) in just 49 days—a highly significant reduction in time compared to conventional composting.

Keywords: Composting, microbial inoculants, lactic acid bacteria, *Saccharomyces cerevisiae*, guinea pig manure, pig manure, carbon-to-nitrogen ratio, physicochemical quality, maturation time.

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

El crecimiento económico global y el aumento sostenido de la población han generado un incremento notable en la producción de residuos sólidos. Este aumento ha despertado un creciente interés científico y político por su gestión sostenible. De acuerdo al Banco Central del Ecuador (2022), entre 2011 y 2020 la agricultura y la ganadería constituyeron aproximadamente el 8,1% del PIB anual de Ecuador. En 2024, la extensión de tierra dedicada a la agricultura fue de 4,8 millones de hectáreas; el 46,3% de esta superficie se usó para sembrar pastos. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2025), esta distribución evidencia la orientación ganadera, donde la producción animal es esencial para la economía rural. Sin embargo, también genera altos volúmenes de desechos orgánicos, principalmente estiércol. El manejo inadecuado de estos residuos agropecuarios conlleva riesgos ambientales como la contaminación de suelos y fuentes hídricas. Además, genera emisión de gases de efecto invernadero que afectan el ecosistema. En las zonas rurales, administrar los desechos agropecuarios es más complicado.

"La gestión eficiente de los desechos se complica en las áreas rurales, donde las prácticas productivas continúan siendo tradicionales y escasamente tecnificadas." (Blackmore, Iannotti, Rivera, & Waters, 2021, p. 10), se hace imprescindible impulsar alternativas sostenibles que permitan transformar estos residuos en recursos útiles. Así mismo, promover prácticas de economía circular y mitigando los impactos ambientales. En el ámbito agropecuario, la gestión de residuos agrícolas y pecuarios es frecuentemente inadecuada.

Los residuos de la actividad agrícola, tales como hojas, ramas, raíces, tallos y productos que no cumplen con los estándares de calidad, tienden a ser quemados o almacenados en terrenos vacíos. Esto produce contaminación del aire por la emisión de gases de efecto invernadero. La contaminación del agua y del suelo es favorecida en especial por el estiércol de animales de granja y especies menores que se arrojan a menudo sin ningún tratamiento. Esta problemática demuestra la falta de sistemas

integrados para manejar residuos agropecuarios y muestra que es necesario implementar opciones sustentables. El compostaje ayudado por microorganismos beneficiosos, posibilitan convertir estos desechos en biofertilizantes con un alto valor agronómico (Gavilanes, Jara, Idrovo, & Moral, 2021, p. 127).

Es imprescindible que se desarrollen opciones biotecnológicas que optimicen el manejo de los desechos pecuarios producidos en el país. El compostaje que es asistido por microorganismos beneficiosos aparece como una estrategia para disminuir el periodo de maduración. Se puede optimizar la calidad fisicoquímica del abono que se obtiene como los excrementos de cerdos y de especies menores como el cuy. Como mencionan Safwat & Minerva (2021), los microorganismos beneficiosos (MB) están ganando más usos y aplicaciones en la actualidad.

La investigación actual se enfoca específicamente en analizar el efecto de dos inóculos microbianos en diferentes tipos de sustratos durante el proceso de compostaje. El objetivo es proporcionar evidencia científica que posibilite mejorar la utilización de los residuos agropecuarios e impulsar prácticas sustentables en la producción rural de Ecuador.

1.2 Planteamiento del Problema

El aumento de la producción ganadera ha generado más estiércol y desechos orgánicos en las áreas rurales, lo cual es una de las causas principales de la polución del agua y el suelo. En Ecuador, el estiércol de cerdos y de especies menores (cuyes) constituye una cantidad significativa de residuos orgánicos que, en la mayoría de las ocasiones, no son tratados apropiadamente antes de ser eliminados. (Valverde, Gavilanes, & Idrovo, 2022). La crianza conjunta de cerdos con animales menores como cuyes y conejos es una actividad económica esencial en las zonas de producción agropecuaria de la sierra ecuatoriana, especialmente en provincias como Bolívar. No obstante, esta actividad genera un problema importante: la gestión poco eficiente del estiércol mixto, lo cual restringe el progreso sostenible de estas unidades productivas. El compostaje convencional de esta mezcla de estiércol es un método lento, con periodos de maduración que exceden los cuatro a seis meses, lo que provoca que no se sincronicen con las temporadas agrícolas y desaliente su utilización por parte de los campesinos. Surge debido a las propiedades inherentes del sustrato: una relación entre carbono y nitrógeno (C/N) desequilibrada, una humedad alta y una concentración excesiva de nitrógeno amoniacal. No solo demoran la descomposición estas condiciones, sino que además generan efectos adversos directos, tales como la liberación de gases de efecto invernadero y la pérdida de hasta el 50% del nitrógeno debido a volatilización de amoníaco (que causa olores desagradables).

En relación con lo anterior se formula la siguiente pregunta de investigación. ¿De qué manera los inóculos microbianos *Saccharomyces cerevisiae y bacterias ácido-lácticas* influyen en la calidad fisicoquímica y en el tiempo de maduración del compost elaborado a partir de estiércol porcino y de especies menores (cuy) en condiciones controladas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de dos inóculos microbianos en diferentes tipos de sustratos durante el proceso de compostaje.

1.3.2 Objetivo Específico

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas iniciales de los sustratos a utilizar como materia prima.
    - Determinar el efecto de los inóculos microbianos (*Saccharomyces cerevisiae)* y bacterias ácido-lácticas en el proceso de compostaje.
    - Estipular el tiempo total requerido para alcanzar la madurez y estabilidad del producto final en cada tratamiento (inoculado y control)
    - Analizar costo / beneficio del mejor tratamiento.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis Nula (H_0)

La aplicación de inóculos microbianos (*Saccharomyces cerevisiae),* bacterias ácido-lácticas y diferentes tipos de sustrato no producen diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de maduración ni en la calidad fisicoquímica del compost elaborado a partir de estiércol porcino y de especies menores (cuy).

1.4.2 Hipótesis Alterna (Ha)

La aplicación de inóculos microbianos *(Saccharomyces cerevisiae)*, bacterias ácido-lácticas y diferentes tipos de sustrato producen diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de maduración y/o en la calidad fisicoquímica del compost elaborado a partir de estiércol porcino y de especies menores(cuy).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos

Los antecedentes del problema son una asimilación de las investigaciones o trabajos realizados previamente sobre el problema planteado (Vanessa, 2020). Se refieren a todos los proyectos de investigación realizados anteriormente, es decir, los trabajos en los que se han procesado o propuesto las mismas variables para objetivos similares; También sirven como una guía para los investigadores que permite comparar y tener la idea de resolver problemas en el momento.

Según Andrade (2016), en su investigación que analizó el uso de bacterias lácticas en el proceso de compostaje. El uso de estos inoculantes acortó el tiempo total del proceso al compararlo con el tratamiento de control. Los tratamientos infectados llegaron a tener una relación C/N similar a 14,8, que es propia del compost maduro. Asimismo, se notó una proporción más alta de materiales orgánicos estabilizados. La dinámica térmica fue más eficiente. La fase termófila fue más estable. Estos descubrimientos indican que la actividad de los microorganismos ha aumentado. El análisis termina indicando que las bacterias del ácido láctico hacen más rápido el proceso de compostaje y lo mejoran en términos de calidad.

En una investigación llevada a cabo por Noboa (2021), se investigó el empleo de especies de *Lactobacillus y Saccharomyces* en desechos de plantas de cacao. Las diferencias entre los tratamientos fueron significativas, según los datos. Los tratamientos con *Lactobacillus spp.* generaron una proporción de C/N cercana a 12. Este número indica un nivel más alto de descomposición. Los tratamientos aplicados con *Saccharomyces spp*. mostraron un control de la humedad más eficaz. Su actividad microbiana inicial fue también superior. La parte orgánica, que se degrada con facilidad, se descompuso más pronto como resultado. La investigación revela que la naturaleza del inoculante y el sustrato empleado tienen un efecto sobre la calidad del producto final y sobre el proceso de compostaje.

2.2 El Compost

El compost maduro es aquel que ha pasado por todas las fases del proceso de compostaje mesófila, termófila y de maduración, llegando a una condición estable en la cual la materia orgánica se ha convertido en humus y los parámetros fisicoquímicos, como el pH o la relación C/N, están equilibrados. Por el contrario, un compost semimaduro es aquel que no ha terminado la fase termófila, de modo que mantiene parte de la materia orgánica sin descomponer y puede contener compuestos fitotóxicos o inestables para las plantas (Román. Et. al. 2020). De acuerdo a la ONU (2021), el compostaje correcto de los residuos orgánicos que producimos en nuestro día a día tiene la capacidad de disminuir el uso de fertilizantes químicos, colaborar con el restablecimiento de la fertilidad del suelo y optimizar la captación de agua y nutrientes por las plantas. A nivel más general, el compostaje ayuda a disminuir las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero y que afectan al cambio climático al reducir la cantidad de desperdicios.

El compost se define como el producto estable y rico en humus que resulta de la transformación aeróbica de la materia orgánica mediante la actividad de microorganismos descomponedores. Manea et al. (2024) describen este proceso como una secuencia que incluye la recolección y clasificación de los residuos, el ajuste de la mezcla para alcanzar una relación carbono-nitrógeno cercana al rango óptimo de 25 a 35, el compostaje activo en fase termófila entre 45 y 55 grados centígrados, y una etapa final de maduración en la que el material se estabiliza. El producto resultante conserva parte del carbono orgánico original en forma de compuestos húmicos y concentra nutrientes minerales que estaban dispersos en los residuos de partida, lo que explica su uso extendido como enmienda orgánica en sistemas agrícolas de distinta escala.

Desde el punto de vista nutricional, el compost aporta cantidades apreciables de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, aunque en concentraciones generalmente inferiores a las de un fertilizante mineral formulado. Hidalgo et al. (2025) reportan que los fertilizantes derivados de residuos orgánicos, entre ellos el compost, contienen entre 2 y 7 por ciento de nitrógeno, entre 1 y 3 por ciento de pentóxido de fósforo y entre 2 y 7 por ciento de óxido de potasio en base seca, y que liberan alrededor

del 19 por ciento del nitrógeno disponible durante el primer año posterior a su aplicación, un ritmo mucho más lento que el de un fertilizante sintético soluble. Ese comportamiento de liberación gradual reduce el riesgo de pérdidas por lixiviación y sostiene el aporte de nutrientes durante periodos más prolongados, lo cual resulta particularmente útil en suelos agrícolas con baja capacidad de retención.

El compost también cumple una función estructural sobre el suelo que trasciende el aporte estrictamente nutricional. Goldan et al. (2023) señalan que el compost elaborado a partir de estiércol contiene entre 90 y 95 por ciento de materia orgánica y mejora la aireación, la densidad aparente, la porosidad, el pH y la capacidad de retención de agua del suelo donde se incorpora. Los mismos autores documentan una reducción de aproximadamente 30 por ciento en el volumen de los residuos originales gracias a la mineralización bioquímica que ocurre durante el proceso, y advierten que su aplicación excesiva o mal calculada puede favorecer la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nitratos y fosfatos. Esa doble condición, beneficiosa cuando se dosifica correctamente y potencialmente contaminante cuando se sobre aplica, refuerza la importancia de caracterizar con precisión la calidad fisicoquímica del producto antes de su uso agronómico.

El compostaje ocupa un lugar central dentro de las estrategias de economía circular orientadas a la gestión de residuos sólidos. Manea et al. (2024) estiman que la fracción orgánica representa entre 40 y 70 por ciento de los residuos sólidos municipales generados en países en desarrollo, y calculan que el compostaje puede reducir hasta en 47 por ciento las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con la disposición tradicional en vertederos. Aborisade et al. (2026) amplían esta perspectiva al mostrar que los fertilizantes biobasados, dentro de los cuales se incluye el compost, alcanzan eficiencias de recuperación de nutrientes de entre 60 y 95 por ciento según el tipo de residuo procesado, incrementan en 19 por ciento el carbono orgánico del suelo y reducen entre 15 y 45 por ciento los impactos ambientales asociados a la fertilización, en comparación con productos sintéticos equivalentes.

El interés económico y político por estas tecnologías ha crecido de forma paralela a la evidencia científica sobre sus beneficios agronómicos y ambientales. Aborisade et al. (2026) proyectan que el mercado de fertilizantes biobasados pasará de 2 530 millones de dólares en 2024 a 6 300 millones de dólares en 2032, impulsado por políticas públicas de economía circular. Hidalgo et al. (2025) vinculan directamente esta tendencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la seguridad alimentaria, el acceso a agua limpia, la producción y el consumo responsables, y la acción climática. En ese contexto, el compostaje de estiércol de especies menores y de cerdo, como el que aborda la presente investigación, responde tanto a una necesidad ambiental inmediata en el sector agropecuario como a una tendencia global de revalorización de residuos orgánicos mediante procesos biotecnológicos controlados.

La evidencia revisada en este apartado permite entender el compost como un producto multifuncional, valioso tanto por su aporte nutricional como por su contribución a la estructura del suelo y a la reducción de residuos orgánicos generados por la actividad agropecuaria. Esa multifuncionalidad depende, sin embargo, de que el proceso de transformación biológica se desarrolle bajo condiciones operativas adecuadas de aireación, humedad y relación carbono-nitrógeno, condiciones cuyo efecto conjunto sobre la velocidad y la calidad del compostaje se examina de manera específica en el apartado siguiente.

2.3 Proceso de Compostaje

La calidad del compost está influenciada por variados factores, entre los que se encuentran el procedimiento de compostaje. Como afirman Román y Martínez (2020), para lograr un producto de alta calidad, el proceso de compostaje tiene que realizarse correctamente. Si el material no ha completado todos sus procesos, puede generar problemas de fitotoxicidad debido a la presencia de ácidos orgánicos inestables y amonio; bloqueo biológico del nitrógeno por un balance inadecuado entre carbono y nitrógeno que consume el nitrógeno del suelo; reducción del oxígeno radicular porque sigue la descomposición en el terreno; y contaminación ambiental a causa de la

desaparición de amonio y una excesiva concentración de nitratos en las plantas, lo cual tiene un impacto negativo tanto en la calidad de las cosechas como en la salud.

El proceso de compostaje es un fenómeno biológico controlado en el que la velocidad y la calidad de la descomposición dependen de un conjunto reducido de variables operativas que interactúan entre sí. Li et al. (2022), evaluaron experimentalmente tres relaciones carbono-nitrógeno y distintas tasas de aireación durante el compostaje de estiércol ovino, y encontraron que las emisiones totales de gases de efecto invernadero disminuyeron de forma consistente al aumentar tanto la relación C/N como la tasa de aireación. La combinación que ofreció el mejor equilibrio entre calidad del compost e impacto ambiental fue una relación C/N de 26 junto con una tasa de aireación de 0,36 litros por kilogramo de materia seca por minuto, condición que produjo el índice de calidad más alto del ensayo y la menor emisión de gases equivalentes de dióxido de carbono por tonelada de materia seca procesada.

La jerarquía de importancia entre estos factores no siempre es la misma cuando se analizan distintas variables de respuesta. Tang et al. (2023) diseñaron un experimento ortogonal con tres niveles de humedad, tres tasas de aireación y tres relaciones C/N durante el compostaje rápido de residuos de cocina, y determinaron que el orden de influencia sobre la madurez del compost fue la relación C/N en primer lugar, seguida de la tasa de aireación y, en tercer lugar, la humedad. Las condiciones óptimas identificadas para la madurez fueron una relación C/N de 24, una aireación de 0,3 litros por kilogramo de materia seca por minuto y una humedad de 65 por ciento, aunque los mismos autores observaron que, al analizar las emisiones de amoníaco, la humedad pasaba a ocupar un lugar más relevante que la aireación, lo que evidencia que no existe una única combinación óptima válida para todos los objetivos del proceso.

La relación carbono-nitrógeno convencional, pese a ser el parámetro más citado en la literatura técnica, no captura por completo la disponibilidad real de esos elementos para los microorganismos. Shen et al. (2026) cuestionan que el rango tradicionalmente recomendado de 25 a 1 hasta 30 a 1 sea suficiente para predecir el desempeño del compostaje, porque refleja proporciones elementales totales sin considerar la biodisponibilidad microbiana del carbono. En su estudio, los sustratos con mayor

contenido de carbono lábil sostuvieron la fase termófila por encima de 50 grados centígrados durante más de diez días, con picos cercanos a 70 grados, mientras que los residuos más recalcitrantes no lograron mantener temperaturas elevadas de forma sostenida, lo que llevó a los autores a proponer el concepto de relación C/N bioquímica como complemento del indicador elemental clásico.

Las decisiones operativas sobre humedad, aireación y tamaño de partícula tienen efectos medibles sobre la duración total del proceso. Md Huzir et al. (2026) sintetizan evidencia según la cual la humedad óptima para el compostaje aeróbico se ubica entre 55 y 60 por ciento, y reportan que un contenido de 60 por ciento permitió completar el proceso en apenas 12 días bajo condiciones controladas. Los mismos autores documentan que las condiciones termófilas entre 45 y 65 grados centígrados resultan esenciales tanto para acelerar la descomposición como para reducir la carga de patógenos, y que el pretratamiento físico del material mediante molienda redujo el tiempo necesario para alcanzar la madurez de 60 a 49 días en un caso y a solo 30 días en otro, con un índice de germinación final de 81,7 por ciento.

En conjunto, esta evidencia respalda la decisión metodológica de fijar una relación C/N inicial cercana a 25-30 a 1 y un contenido de humedad entre 50 y 60 por ciento en el diseño experimental del presente estudio, ya que ambos valores se ubican dentro de los rangos que la literatura reciente asocia con un proceso eficiente y con productos de buena calidad. El control operativo de estas variables no sustituye, sin embargo, el papel de los microorganismos responsables de la descomposición, cuya actividad determina en última instancia la velocidad de mineralización y la sucesión de fases térmicas que se describen en el siguiente apartado.

El conjunto de factores descritos, relación C/N, humedad, aireación y tamaño de partícula, no actúa de manera aislada, sino que conforma un sistema interdependiente donde el ajuste de una variable modifica el margen operativo de las demás. Esa interdependencia explica por qué el diseño experimental de la presente investigación fija de forma simultánea el rango de C/N inicial y el nivel de humedad del sustrato, en lugar de tratarlos como parámetros independientes, y por qué el seguimiento continuo de la temperatura, descrito en el apartado siguiente, constituye la

variable más directa para verificar si esas condiciones iniciales se tradujeron en un proceso biológicamente activo.

2.4 Fases del Compostaje

El compostaje aeróbico se desarrolla mediante una sucesión ordenada de fases térmicas y microbiológicas que se distinguen entre sí por la temperatura dominante y por los grupos de microorganismos que prevalecen en cada una. Finore et al. (2023) describen una fase mesófila inicial que ocurre entre 10 y 42 grados centígrados y dura entre 24 y 72 horas, seguida de una fase termófila que se extiende entre 45 y 70 grados centígrados, con un óptimo microbiano situado entre 55 y 60 grados y un pH que oscila entre 5,0 y 8,0 durante ese periodo. Los mismos autores identifican después una segunda etapa mesófila en la que la temperatura desciende progresivamente de 65 a 50 grados a lo largo de uno a dos meses, y finalmente una fase de curado o maduración que puede durar entre uno y cuatro meses, durante la cual la temperatura baja hasta acercarse a la ambiental y la materia orgánica alcanza su estabilidad definitiva.

La transición entre la fase mesófila y la fase termófila coincide con un cambio marcado en la composición de la comunidad bacteriana presente en la pila. Chopkova et al. (2023) documentan, mediante secuenciación de nueva generación, que la fase mesófila conserva una mayor riqueza y diversidad de especies bacterianas que la fase termófila, en la que las altas temperaturas actúan como un filtro selectivo que reduce la diversidad microbiana total. En dos sitios experimentales, los autores registraron temperaturas superiores a 55 grados centígrados durante 40 y 27 días respectivamente, con picos de 67 y 75 grados, duraciones que resultaron compatibles con la normativa de reducción de patógenos vigente en su país de estudio. Los valores de pH y de conductividad eléctrica fueron sistemáticamente más altos durante la fase mesófila que durante la fase termófila, un patrón que refleja la dinámica de acidificación y posterior neutralización propia del proceso.

La función higienizante de la fase termófila constituye uno de sus aportes más relevantes para la seguridad del producto final. Rizwan et al. (2024) monitorearon el compostaje de lodos de matadero durante 60 días y observaron que la mayor

eliminación de patógenos ocurrió entre los días 5 y 25, periodo que coincidió con la fase termófila sostenida entre 15 y 20 días, mientras que después del día 30 no se registraron reducciones adicionales significativas. Los coliformes fecales se redujeron de 2,6 a 1,3 unidades logarítmicas en la unidad experimental más eficiente, y el pH evolucionó desde un incremento inicial hacia valores cercanos a la neutralidad, entre 6,0 y 8,0, hacia el final del proceso. Estos resultados confirman que la intensidad y la duración de la fase termófila son determinantes directos de la inocuidad sanitaria del compost.

Conviene señalar, sin embargo, que la fase termófila no garantiza por sí sola la eliminación completa de todo riesgo microbiológico. Peng et al. (2024) analizaron dieciséis pilas de compostaje de distintos estiércoles e identificaron ciento treinta y cuatro patógenos, de los cuales diez mostraron mayor abundancia y actividad específicamente durante la fase de curado, después de haber atravesado la fase termófila completa. Estos organismos toleran las temperaturas elevadas gracias a un mayor número de proteínas de choque térmico y pueden reactivarse cuando el material se enfría, lo que llevó a los autores a construir un catálogo de riesgo ambiental con más de mil factores de virulencia asociados. Este hallazgo matiza la idea difundida de que la fase termófila elimina de manera absoluta patógenos como Salmonella o Escherichia, y respalda la recomendación de complementar el seguimiento térmico con análisis microbiológicos directos sobre el producto terminado.

La secuencia completa de fases descrita en esta sección proporciona el marco temporal contra el cual deben interpretarse las curvas de temperatura y pH registradas durante el ensayo experimental. Un perfil térmico que alcance y sostenga el rango termófilo, seguido de un descenso ordenado hacia la fase de enfriamiento y maduración, constituye evidencia indirecta de que el proceso avanza conforme a lo esperado; por el contrario, un perfil térmico plano o irregular sugiere limitaciones en alguno de los factores operativos descritos en el apartado anterior, como la aireación, la humedad o la relación carbono-nitrógeno del sustrato.

El catálogo construido por Peng et al. (2024) documenta hasta cuarenta y dos factores de virulencia distintos expresados por los patógenos que sobreviven en la fase

de curado, un nivel de detalle que ilustra la complejidad microbiológica que puede persistir incluso después de una fase termófila aparentemente exitosa. Este hallazgo no invalida el valor higienizante de la fase termófila descrito por Rizwan et al. (2024) y por Chopkova et al. (2023), pero sí matiza su alcance y refuerza la conveniencia de tratar la temperatura como un indicador necesario, aunque no siempre suficiente, de la inocuidad final del compost.

La secuencia de fases descrita permite anticipar que cualquier desviación relevante en la duración o en la intensidad de la fase termófila debe interpretarse con cautela, dado que de ella dependen tanto la velocidad de degradación de la materia orgánica como el grado de higienización alcanzado por el producto final. Ese criterio resulta especialmente pertinente para sustratos de origen animal como el estiércol porcino y el de especies menores, cuya composición y cuyo material estructurante se abordan con mayor detalle en el apartado siguiente.

2.5 Sustratos y Tipos de Sustratos

El sustrato constituye la base material sobre la que actúan los microorganismos descomponedores, y su composición física y química condiciona de manera directa la velocidad y la calidad del compostaje. Matiz-Villamil et al. (2023) realizaron una revisión sistemática centrada en el manejo de residuos de granjas porcinas mediante compostaje, y encontraron que el estiércol de cerdo se combina habitualmente con residuos vegetales y viruta o astillas de madera como material estructurante, debido a que su textura compacta y su elevado contenido de humedad dificultan la aireación cuando se compostea de forma pura. Los mismos autores advierten que el estiércol porcino puede constituir una fuente de riesgo por la presencia de patógenos, metales pesados, residuos de antibióticos e hidrocarburos aromáticos policíclicos si no se gestiona junto con sustratos y condiciones que favorezcan una descomposición completa.

La elección del material estructurante no se limita a su tipo, sino que incluye decisiones sobre su tamaño de partícula, con efectos medibles sobre la humificación del compost. Jiao et al. (2023) compostearon estiércol porcino con dos materiales

estructurantes distintos, ramas y paja, y determinaron que tamaños de partícula de dos centímetros para las ramas y de cinco centímetros para la paja promovieron la mayor degradación de carbono orgánico disuelto, con valores de 41,49 y 58,42 por ciento respectivamente. Ese mismo ajuste de tamaño incrementó de forma marcada la abundancia relativa de hongos formadores de humus, lo que confirma que la granulometría del estructurante, y no solamente su naturaleza química, es un parámetro crítico de diseño que afecta la porosidad, la difusión de oxígeno y la cinética de formación de compuestos húmicos.

Distintos materiales estructurantes ofrecen ventajas específicas cuando se comparan bajo condiciones experimentales equivalentes. Lalthlansanga et al. (2023) evaluaron varios agentes de volumen para el compostaje de estiércol porcino en un sistema de tambor rotatorio y encontraron que el tratamiento enmendado con aserrín superó a los demás materiales ensayados, alcanzando en el compost final valores de 1,54 por ciento de nitrógeno, 7,68 gramos por kilogramo de fósforo y 23,45 gramos por kilogramo de potasio, con una madurez completa lograda en aproximadamente 20 días. Este resultado respalda el uso de aserrín, tamo de arroz o paja como estructurantes de referencia en el compostaje de estiércoles de textura compacta, entre los que se incluyen tanto el estiércol porcino como el de especies menores empleadas en la presente investigación.

Más allá del tipo de material, la clasificación de los sustratos según su origen orgánico o inorgánico y según sus propiedades químicas determina su comportamiento durante el proceso. Shen et al. (2026) comparan ocho sustratos vegetales ajustados a una relación C/N inicial uniforme de 25 a 1 y muestran que aquellos con mayor contenido de carbono lábil, como la paja de trigo, alcanzan mejor termogénesis, mayor humificación y mejores índices de germinación que los sustratos dominados por carbono recalcitrante, como la yuca sin tratar. El contenido de carbono disponible varió entre 27,2 y 45,0 por ciento entre los sustratos evaluados, y todos los tratamientos terminaron con una relación C/N final inferior a 20, lo que confirma que dos sustratos con la misma relación C/N inicial pueden comportarse de manera muy distinta durante el compostaje según la biodisponibilidad real de su carbono.

Los hallazgos reunidos en este apartado justifican la selección de estiércol de cuy y de estiércol de cerdo como sustratos principales del presente estudio, ambos de textura compacta y con necesidad de un material estructurante adecuado que corrija su humedad y favorezca la aireación. Aunque la búsqueda bibliográfica específica sobre compostaje de estiércol de cuy en revistas de alto impacto resultó limitada, la evidencia disponible sobre estiércol porcino y sobre bulking agents ofrece un marco transferible para interpretar el comportamiento de ambos sustratos bajo el diseño factorial empleado en la investigación, en el que el tipo de sustrato constituye uno de los dos factores experimentales evaluados.

La revisión de distintos sustratos y materiales estructurantes confirma que la calidad del compost final depende tanto del tipo de estiércol empleado como de la naturaleza y el tamaño del material que se le añade para corregir su humedad y su compactación. Este principio sustenta la decisión metodológica de incorporar residuos vegetales de mercado como estructurante complementario al estiércol de cuy y de cerdo en el presente estudio, alternativa que se examina con mayor profundidad en el apartado siguiente.

2.6 Residuos Sólidos Vegetales

Los residuos sólidos vegetales, entendidos como los remanentes de frutas, verduras y otros productos agrícolas que se generan en mercados y centros de abasto, constituyen una fuente habitual de material estructurante y de carbono fácilmente disponible para el compostaje. Cai et al. (2024) evaluaron la paja de trigo, un residuo de cosecha, como alternativa a la viruta de madera en el compostaje de estiércol de pollo, y encontraron que su incorporación elevó la temperatura del proceso, prolongó la fase termófila hasta cerca de 30 días y aceleró la degradación de lignocelulosa, con valores de entre 22,71 y 24,03 por ciento frente a 19,69 por ciento en el tratamiento control. El contenido final de materia orgánica también aumentó de forma considerable con la paja de trigo, superando en todos los casos los estándares nacionales de calidad de compost considerados en el estudio.

Los residuos de frutas presentan características distintas a las de los residuos fibrosos de cosecha, principalmente por su alta humedad y su rápida biodegradabilidad. Nurin et al. (2024) evaluaron el residuo de sandía, un subproducto habitual de mercados, como agente estructurante en el co-compostaje de estiércol de caballo y de pollo, y reportaron que este material presentó una humedad de 97,09 por ciento y un contenido de materia orgánica de 62,12 por ciento. Bajo la combinación óptima determinada mediante metodología de superficie de respuesta, que incluyó una proporción de 75 a 25 entre estiércol de caballo y de pollo, un tamaño de partícula de 0,5 centímetros y 10 por ciento de residuo de sandía, el compost final alcanzó 61 por ciento de materia orgánica, 2,5 por ciento de nitrógeno y 2,5 por ciento de potasio en 40 días de proceso.

El tamo o cascarilla de arroz, uno de los residuos agrícolas lignocelulósicos más abundantes del planeta, también ha sido evaluado como sustrato vegetal en combinación con estiércol animal. Zhang et al. (2025) compostearon cascarilla de arroz sola y en mezcla con estiércol vacuno durante 40 días, y encontraron que la adición de estiércol elevó la temperatura promedio de la fase termófila de 52,8 a 60,1 grados centígrados y mantuvo el pH estable alrededor de 7,4, en contraste con una caída hasta 5,6 cuando se usó cascarilla de arroz sin estiércol. La mezcla con estiércol también redujo la pérdida de nitrógeno mineral durante el proceso, y ambos tratamientos alcanzaron índices de germinación superiores al 93 por ciento, valores más altos que los obtenidos con un sustrato comercial de turba usado como referencia.

La combinación de residuos vegetales con distintos tipos de estiércol animal permite ajustar simultáneamente la relación carbono-nitrógeno y la estructura física de la pila de compostaje. Devi et al. (2025) evaluaron la mezcla de suelo de jardín, residuos vegetales y tres tipos de estiércol, avícola, porcino y bovino, bajo tres técnicas distintas de compostaje, y encontraron que todas las combinaciones alcanzaron temperaturas termófilas iguales o superiores a 55 grados centígrados, suficientes para garantizar la eliminación de patógenos. La proporción de suelo, residuo vegetal y estiércol avícola en relación 1 a 3 a 1,5 produjo la mayor tasa de germinación, con 88,67 por ciento, seguida por la combinación con estiércol bovino, con 73,33 por

ciento, resultados que confirman el valor agronómico de incorporar residuos vegetales de mercado como componente estructurante y como fuente adicional de carbono en el compostaje de estiércoles.

Estos antecedentes respaldan directamente la decisión metodológica del presente estudio de emplear residuos vegetales de mercado, recolectados en la ciudad de Guaranda, como material estructurante complementario al estiércol de cuy y de cerdo. La evidencia revisada indica que este tipo de residuo, pese a su origen heterogéneo, aporta carbono orgánico de rápida degradación y contribuye a corregir el exceso de humedad y compactación característico de los estiércoles empleados como sustrato principal, favoreciendo así una fase termófila más intensa y una maduración más homogénea del compost final.

Los antecedentes reunidos sobre residuos sólidos vegetales muestran que su incorporación al compostaje de estiércoles no solo corrige limitaciones físicas del sustrato principal, sino que también puede mejorar parámetros químicos como el contenido de materia orgánica, nitrógeno y potasio del producto final. Ese doble beneficio, estructural y nutricional, refuerza la pertinencia de emplear residuos vegetales de mercado como componente estructurante en el diseño experimental de la presente investigación.

2.7 Microorganismos en el Proceso de Compostaje

La descomposición de la materia orgánica durante el compostaje depende de una sucesión ordenada de comunidades microbianas que se reemplazan entre sí conforme cambian la temperatura y la disponibilidad de nutrientes en la pila. Aguilar-Paredes et al. (2023) describen que, durante la fase mesófila inicial, predominan filos como *Firmicutes, Proteobacteria* y *Actinobacteria*, encargados de degradar azúcares y aminoácidos simples, mientras que en la fase termófila, entre 50 y 65 grados centígrados, dominan especies termotolerantes de los géneros *Bacillus y Geobacillus* capaces de degradar celulosa, hemicelulosa y lignina. Los mismos autores señalan que, durante el enfriamiento, aumenta la presencia de *Bacteroidetes,* que aprovecha celulosa y xilano residuales, y que en la fase de maduración final *Chloroflexi* se convierte en el

grupo dominante, con un papel relevante en la degradación enzimática de hemicelulosa remanente.

La inoculación deliberada de microorganismos seleccionados puede modificar de forma medible esta sucesión natural y acelerar distintas etapas del proceso. Li et al. (2024) aplicaron un inoculante compuesto por *Bacillus, Enterobacter* y *Trichoderma* sobre una mezcla de sustrato agotado de hongos y gallinaza, y observaron que la temperatura de la fase activa de descomposición se elevó entre 3 y 7 grados centígrados respecto al tratamiento control, con una degradación de celulosa de 52,87 %. El índice de germinación del compost inoculado aumentó más de 25 % en comparación con el testigo, y las plántulas cultivadas en ese compost mostraron mayor biomasa y desarrollo radicular, lo que evidencia que el efecto de un inoculante microbiano puede trasladarse hasta el desempeño agronómico final del producto.

El seguimiento detallado de la sucesión microbiana mediante secuenciación de alto rendimiento permite identificar los géneros responsables de cada etapa del proceso. Liu et al. (2024) analizaron el compostaje de estiércol vacuno con paja de tabaco a lo largo de 26 días y encontraron que Proteobacteria fue el filo bacteriano más abundante durante todo el proceso, mientras que géneros como *Sphaerobacter, Actinomadura, Thermomonospora* y *Bacillus* dominaron específicamente las etapas de alta temperatura. Los autores registraron una disminución de especies potencialmente patógenas del género *Rhodococcus* conforme avanzaba la fase termófila, lo que confirma el efecto higienizante del calor generado por la propia actividad microbiana, y documentaron una elevada capacidad funcional para la degradación de carbohidratos y el metabolismo de aminoácidos mediante análisis metagenómico.

La comparación directa entre distintos inoculantes exógenos permite valorar su efecto relativo sobre la velocidad de maduración del compost. Hu et al. (2026), compararon un consorcio degradador de material lignocelulósico frente a un inoculante comercial con *Bacillus subtilis* y levadura, ambos aplicados sobre estiércol de vacuno, y encontraron que el primero enriqueció de forma notable el filo fúngico *Ascomycota,* aportó enzimas ligninolíticas como la lactasa y el manganeso peroxidasa, y acortó el tiempo de maduración del compost en ocho días respecto al inoculante comercial. La

tasa de degradación de material lignocelulósico alcanzó 46,25 por ciento con el primer consorcio frente a 37,5 por ciento con el segundo y apenas 29,8 por ciento en el tratamiento sin inocular, lo que ilustra de forma directa el margen de mejora que ofrece la selección adecuada de un inóculo microbiano.

El conjunto de evidencia reunida en este apartado confirma que la composición microbiana de la pila de compostaje no es estática, sino que responde tanto a las condiciones ambientales internas del proceso como a la introducción deliberada de microorganismos externos. Ese principio general sostiene la hipótesis central de la presente investigación, según la cual la aplicación de dos inóculos microbianos distintos, *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias ácido-lácticas, puede modificar de forma diferenciada la velocidad de maduración y la calidad fisicoquímica del compost obtenido a partir de estiércol porcino y de especies menores, tal como se detalla en los dos apartados siguientes.

La revisión de la sucesión microbiana natural y de los efectos documentados de distintos inoculantes exógenos constituye el fundamento inmediato para justificar la selección de los dos microorganismos evaluados en el diseño experimental de este estudio. Los apartados siguientes profundizan de manera específica en *Saccharomyces cerevisiae* y en las bacterias ácido-lácticas, los dos inóculos cuyo efecto comparado sobre el compostaje de estiércol porcino y de cuy constituye el eje central de la investigación.

2.8 *Saccharomyces Cerevisiae* en Compostaje

Saccharomyces cerevisiae es una levadura heterótrofa de amplio uso industrial cuya capacidad fermentativa la convierte en un inóculo de interés para acelerar las primeras etapas del compostaje, particularmente cuando el sustrato de partida presenta acidez elevada. Yi et al. (2024) inocularon esta levadura sobre residuos de comida acidificados, con un pH inicial de 4,5, y observaron que provocó un incremento rápido del pH hasta 6,0, revirtiendo la condición ácida que normalmente inhibe el arranque del proceso de compostaje. En pilas experimentales de dos kilogramos, la inoculación elevó la temperatura entre 4 y 14 grados centígrados respecto al tratamiento control, y

en pilas de mayor escala, de quince kilogramos, prolongó la duración de la fase termófila superior a 50 grados centígrados en tres días adicionales.

El mecanismo propuesto para explicar este efecto se relaciona con la capacidad de la levadura para metabolizar rápidamente los ácidos orgánicos acumulados durante el arranque del proceso. Yi et al. (2024) documentan que, tras la inoculación, el contenido total de ácidos orgánicos disminuyó con mayor rapidez que en los tratamientos control, mientras que las emisiones de amoníaco se redujeron durante la fase termófila y el consumo de oxígeno residual aumentó, un indicador de mayor actividad microbiana global. La comunidad bacteriana del compost inoculado se enriqueció en géneros termófilos como *Bacillus, Thermobacillus* y *Thermobifida*, lo que sugiere que la levadura no actúa de manera aislada, sino que facilita las condiciones de pH y temperatura necesarias para que las poblaciones bacterianas termófilas se establezcan con mayor rapidez.

La presencia de levaduras durante el compostaje no se limita a la inoculación deliberada, sino que forma parte de la sucesión ecológica natural del proceso, un antecedente relevante para interpretar el comportamiento de cepas exógenas introducidas de forma intencional. Glushakova y Kachalkin (2023) identificaron diecinueve especies de levaduras distribuidas en cinco subfilos fúngicos a lo largo del compostaje de estiércol vacuno, con un conteo máximo de 1,38 por 10 elevado a 4 unidades formadoras de colonias por gramo durante el calentamiento moderado, entre 20 y 40 grados centígrados, que descendió a 1,68 por 10 elevado a 3 unidades formadoras de colonias por gramo en el pico de la fase termófila. Este patrón confirma que las poblaciones de levaduras son sensibles a las temperaturas elevadas, lo que ayuda a explicar por qué su efecto sobre el compostaje se concentra principalmente en las fases iniciales del proceso, antes de que la temperatura alcance su máximo.

La inoculación con microorganismos fúngicos distintos de *Saccharomyces cerevisiae* ofrece evidencia complementaria sobre los mecanismos mediante los cuales estos organismos pueden acelerar el compostaje. Mironov et al. (2024) evaluaron formulaciones bacterianas y fúngicas, estas últimas basadas en especies de *Penicillium*, sobre residuos de comida, y encontraron que la formulación fúngica elevó la

temperatura 5,6 grados centígrados por encima del control durante la fase de reinicio del proceso, mientras que una de las formulaciones bacterianas incrementó casi tres veces la producción de dióxido de carbono y logró una pérdida de materia orgánica de 38 por ciento en 28 días, frente a 28 por ciento en el tratamiento sin inocular. Los mismos autores registraron una caída transitoria del pH hasta valores de 4,7 a 5,3 durante los primeros días del proceso, tanto en los tratamientos inoculados como en el control, lo que confirma que la fase ácida inicial es una característica común del compostaje de residuos de alta humedad, independiente de la inoculación aplicada.

La evidencia reunida en este apartado sustenta la selección de *Saccharomyces cerevisiae* como uno de los dos inóculos microbianos evaluados en la presente investigación, dado su efecto documentado sobre la recuperación temprana del pH y sobre la intensidad de la fase termófila, dos variables que se monitorean de forma directa en el diseño experimental del estudio. La comparación de su desempeño frente al de las bacterias ácido-lácticas, descritas en el siguiente apartado, permite valorar si ambos inóculos actúan mediante mecanismos convergentes o complementarios sobre la calidad final del compost obtenido a partir de estiércol porcino y de cuy.

El conjunto de evidencia revisado sobre *Saccharomyces cerevisiae* respalda la expectativa de que su inoculación acelere la recuperación del pH y favorezca una fase termófila más intensa durante las primeras semanas del compostaje. Según la bibliografía consultada, ese efecto se concentra principalmente en las etapas iniciales del proceso y tiende a atenuarse conforme la temperatura de la pila se aproxima a sus valores máximos, un patrón que conviene contrastar de manera directa con el mecanismo de acción de las bacterias ácido-lácticas descrito en el apartado siguiente.

2.9 Bacterias Ácido-Lácticas (BAL) en Compostaje

Las bacterias ácido-lácticas conforman un grupo de microorganismos fermentadores capaces de transformar carbohidratos solubles en ácido láctico y otros ácidos orgánicos de bajo peso molecular, un mecanismo que las convierte en candidatas frecuentes como inoculantes en procesos de compostaje. Gaspar et al. (2022) emplearon un inoculante comercial compuesto por bacterias ácido-lácticas para

acelerar el compostaje de residuos de comida, y registraron un pH inicial ácido de entre 5,6 y 6,3 que evolucionó hacia valores neutros a débilmente alcalinos, entre 8,0 y 8,1, en la madurez del compost. El tratamiento inoculado con bacterias ácido-lácticas alcanzó el mayor contenido final de fósforo disponible entre los tratamientos evaluados, con 577,4 miligramos por decímetro cúbico frente a 423,3 en el control, junto con incrementos en manganeso y zinc.

La proporción y composición de la formulación microbiana empleada modifica de forma directa la estructura de la comunidad bacteriana resultante y, con ella, el desempeño ambiental del proceso. Jiang et al. (2023) probaron distintas proporciones de formulaciones microbianas durante el compostaje de residuos de cocina y encontraron que el género Weissella, perteneciente al grupo de las bacterias ácido-lácticas, se convirtió en el taxón dominante en uno de los tratamientos, con 55 por ciento de abundancia relativa, favoreciendo el ciclo del nitrógeno y la humificación del material. Ese mismo tratamiento redujo las emisiones de amoníaco en 94 por ciento y las de ácido sulfhídrico en 78 por ciento respecto al control, y alcanzó una eliminación de carbono orgánico total de 65 por ciento, frente a valores muy inferiores en los demás tratamientos evaluados.

Las condiciones de temperatura bajo las cuales operan las bacterias ácido-lácticas influyen de manera directa en su capacidad de generar ácido láctico durante la fermentación de residuos orgánicos. Song et al. (2024) compararon la fermentación de residuos domésticos de comida por bacterias ácido-lácticas en condiciones mesófilas, termófilas e hipertermófilas, y determinaron que la combinación de temperatura hipertermófila, cercana a 70 grados centígrados, con un pH neutro produjo la mayor concentración de ácido láctico registrada en el estudio, de 17,75 gramos por litro. Este hallazgo sugiere que el rango térmico en el que se incorpora el inóculo puede modular de forma significativa su rendimiento metabólico, un aspecto relevante para el diseño de estrategias de inoculación en distintas etapas del compostaje.

La inoculación con bacterias ácido-lácticas también deja una huella medible sobre la dinámica de nutrientes y sobre la estructura funcional de la comunidad microbiana a lo largo del tiempo. Lee et al. (2025) monitorearon el compostaje de

estiércol vacuno inoculado con *Lactobacillus acidophilus* entre el día 15 y el día 60 del proceso, y registraron un incremento significativo del nitrógeno amoniacal, de 813,01 a 1714,24 miligramos por kilogramo, junto con aumentos en potasio, fósforo, calcio, magnesio y nitrógeno total. La comunidad bacteriana se desplazó hacia una mayor abundancia de *Firmicutes* y una menor presencia de Bacteroidetes y Proteobacteria conforme el compost maduraba, y el análisis funcional predictivo mostró una mayor representación de rutas metabólicas relacionadas con el nitrógeno y con la generación de energía en el producto final.

El análisis metagenómico aporta una vía complementaria para caracterizar la actividad microbiana más allá de la simple identificación taxonómica de los grupos presentes en cada fase. Liu et al. (2024) reportan que, del total de genes metabólicos identificados en el compostaje de estiércol vacuno con paja de tabaco, 14,49 por ciento correspondió a rutas de degradación de carbohidratos y 11,60 por ciento a metabolismo de aminoácidos, con una presencia notable de bacterias ligninolíticas en las fases más avanzadas del proceso. Esa capacidad funcional, más que la sola presencia de un género bacteriano determinado explica por qué la inoculación de microorganismos específicos puede acelerar la degradación de compuestos estructurales complejos como la celulosa y la lignina.

La evidencia expuesta en este apartado respalda la inclusión de las bacterias ácido-lácticas como segundo inóculo microbiano evaluado en la presente investigación, dado su efecto documentado sobre la regulación del pH, la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes, y la reducción de emisiones nocivas durante el compostaje. La comparación sistemática de su desempeño frente al de *Saccharomyces cerevisiae,* bajo un mismo diseño experimental y sobre los mismos sustratos de estiércol porcino y de cuy, constituye el eje central del componente experimental de este estudio y permite valorar cuál de los dos inóculos, o si su combinación, ofrece mejores resultados en términos de tiempo de maduración y calidad fisicoquímica del compost.

La evidencia revisada sobre las bacterias ácido-lácticas confirma que su efecto sobre el compostaje no se limita a la acidificación transitoria del sustrato, sino que se

extiende a la disponibilidad de nutrientes, a la reducción de emisiones nocivas y a la reestructuración de la comunidad microbiana a lo largo de todo el proceso. Esos mecanismos, distintos de los descritos para *Saccharomyces cerevisiae* en el apartado anterior, sostienen el interés de comparar ambos inóculos bajo un mismo diseño experimental antes de evaluar los criterios de calidad fisicoquímica que determinan la madurez final del compost.

2.10 Calidad fisicoquímica del compost

La calidad fisicoquímica del compost se evalúo mediante un conjunto de indicadores que, en conjunto, permiten determinar si el material ha alcanzado un grado de estabilidad suficiente para su uso agrícola sin riesgo de fitotoxicidad. Chang et al. (2023) señalan que una relación carbono-nitrógeno inferior a 20 se considera indicativa de compost maduro, y reportan que, en compost elaborado a partir de estiércol porcino, el pH final se estabilizó alrededor de 7,18 tras 60 días de proceso. Los mismos autores establecen que un índice de germinación superior a 90 por ciento constituye un umbral de madurez avanzada, y que valores de conductividad eléctrica inferiores a 2 deci Siemens por metro se consideran inocuos para la mayoría de los cultivos, con una estabilización de este parámetro observada hacia el día 45 del proceso analizado.

El índice de germinación, en particular, funciona como un bioensayo integrador que resume el efecto combinado de varios factores fisicoquímicos sobre el desarrollo vegetal. Milon et al. (2022) proponen una escala de interpretación según la cual un índice de germinación inferior a 50 por ciento indica fitotoxicidad alta, propia de un compost inmaduro, un valor entre 50 y 80 por ciento indica fitotoxicidad moderada, y un valor superior a 80 por ciento indica ausencia de fitotoxicidad relevante. Los mismos autores identifican el rango de 25 a 30 como el estándar de relación C/N para un compost final de buena calidad, y documentan que compost enmendado con distintas proporciones de biocarbón alcanzó valores de pH entre 8,27 y 8,40, superiores al obtenido en el tratamiento control sin enmienda, de 7,4.

La metodología empleada para calcular el índice de germinación puede influir de manera considerable sobre el resultado obtenido, un aspecto que conviene tener

presente al comparar valores entre distintos estudios. Kong et al. (2023) establecen que un compost se considera maduro cuando su índice de germinación supera 70 por ciento, y muestran que, en ese estado de madurez, el carbono orgánico disuelto se mantiene por debajo de 257 miligramos por litro, el nitrógeno disuelto por debajo de 164 miligramos por litro y el nitrógeno amoniacal por debajo de 73 miligramos por litro. Los autores identifican al carbono orgánico disuelto, al nitrógeno disuelto y al nitrógeno amoniacal como las variables de mayor influencia sobre el índice de germinación, seguidas por la conductividad eléctrica y el contenido de potasio, y recomiendan estandarizar la relación entre sólido y líquido empleado en la extracción para hacer comparables los resultados entre laboratorios.

La heterogeneidad de la materia prima empleada como sustrato explica una parte considerable de la variabilidad observada en la calidad final del compost a escala comercial. Amery et al. (2026) analizaron 107 muestras de compost comercial y de finca en la región del Mar del Norte y encontraron que el contenido de materia orgánica varió entre 14 y 73 por ciento de la materia seca, siendo el factor que mejor discrimina la calidad general del producto. La materia orgánica se correlacionó de forma positiva con la capacidad de intercambio catiónico y con el contenido de nitrógeno y fósforo, y los compost derivados de estiércol o de residuos de frutas y verduras mostraron contenidos de nitrógeno y fósforo significativamente más altos que los elaborados a partir de residuos verdes de jardín, lo que confirma la relevancia del tipo de sustrato de partida sobre la calidad química final del producto.

La magnitud de esta heterogeneidad resulta especialmente ilustrativa cuando se expresa en términos comparativos. Amery et al. (2026) documentan una variación de hasta un factor 20 en la biomasa microbiana total y de un factor 11 en el contenido de potasio entre los 107 compost analizados en su estudio, y observan que los compost elaborados en finca mostraron mayor actividad microbiana que los producidos en plantas comerciales de mayor escala. Esta evidencia respalda la necesidad de caracterizar de forma específica cada lote de compost obtenido experimentalmente, en lugar de asumir que sustratos de partida similares producirán necesariamente productos finales de calidad equivalente.

La caracterización fisicoquímica completa de un compost no puede limitarse a los parámetros de estabilidad ya descritos, sino que debe extenderse al contenido de macronutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio, y de micronutrientes como hierro, manganeso, zinc, boro, cobre y molibdeno, dado que estos elementos determinan en última instancia el valor agronómico y el potencial económico del producto frente a fertilizantes comerciales equivalentes. Hidalgo et al. (2025) sitúan estos aportes dentro de un rango de 2 a 7 por ciento de nitrógeno y de 2 a 7 por ciento de óxido de potasio en base seca para fertilizantes derivados de residuos orgánicos, cifras que constituyen un punto de comparación directo para valorar, en etapas posteriores de la presente investigación, el desempeño nutricional del tratamiento que muestre el mejor desempeño en términos de pH, relación C/N, humedad y temperatura.

Los umbrales numéricos reunidos en este apartado, relación C/N inferior a 20, pH cercano a la neutralidad, conductividad eléctrica inferior a 2 deciSiemens por metro e índice de germinación superior a 80 por ciento, constituyen el marco de referencia frente al cual se interpretan los resultados fisicoquímicos obtenidos durante las doce semanas de monitoreo del presente estudio. La comparación sistemática de las curvas de pH, relación C/N, humedad y temperatura registradas en cada uno de los cuatro tratamientos experimentales, descritas en el capítulo de resultados, permite determinar en qué medida la combinación de sustrato e inóculo microbiano evaluada logra acercar el compost obtenido a estos criterios de madurez agronómica reconocidos por la literatura científica reciente.

El conjunto de criterios de madurez reunidos en este capítulo, relación C/N, pH, conductividad eléctrica e índice de germinación, junto con la descripción de las fases térmicas, los sustratos y los microorganismos que intervienen en el compostaje, conforma el marco conceptual completo desde el cual se diseñó la fase experimental de la presente investigación. Ese marco conceptual constituye la base sobre la cual se interpretan, en el capítulo de resultados, las curvas de pH, relación C/N, humedad y temperatura registradas en cada uno de los cuatro tratamientos evaluados durante las doce semanas de monitoreo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el Complejo Agroindustrial de la Carrera de Agroindustrias dentro de la Universidad Estatal de Bolívar en la provincia de Guaranda, cuya altitud es de ~2622 m; temperatura media 14,4 °C), utilizando composteras bajo condiciones aeróbicas reguladas.

Tabla 1

Ubicación de la investigación

Provincia	Bolívar
Cantón	Guaranda
Parroquia	Gabriel Ignacio Veintimilla
Sector	Laguacoto II
Dirección	Laguacoto II, vía Guaranda km 1 ½ vía San Simón

Nota: La tabla detalla la locación geográfica donde se llevó a cabo el experimento.

3.2 Material en estudio

Tres tipos de microorganismos, seleccionados por su influencia en la mejora del proceso de compostaje, constituirán el tema de investigación, *Saccharomyces cerevisiae*, que es una levadura heterótrofa capaz de fermentar azúcares complejos presentes en los residuos orgánicos, transformándolos en fuentes de energía como la glucosa. *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, que es yogur producido a través del proceso de fermentación de la leche. Para la fabricación de compost, se utilizó materiales fundamentales para la producción, como una pala para mezclar y voltear los sustratos, una regadera para conservar el nivel de humedad apropiado durante todo el proceso y una compostera que tiene como función contener las mezclas experimentales en condiciones aeróbicas controladas. Además, suministros de oficina como cuadernos, esferos y lápices, laptops, hojas de papel, impresoras para

administrar la información recolectada durante la investigación permitieron que se organizaran, registraran y examinaran los resultados experimentales de manera metódica y precisa. Para el experimento se utilizará, estiércol de cuy, estiércol de cerdo, tamo de arroz, tierra negra, y residuos vegetales.

3.3 Factores en estudio

Los siguientes elementos se tomaron en cuenta para acelerar el proceso de fermentación y la producción de compost: Factor A: tipos de sustrato y factor B: Tipos de inóculos.

Tabla 2

Factores considerados para acelerar el proceso de fermentación

Factores	Código	Nivel
Tipo de sustrato	A	a1: Estiércol Cuyes a2: Estiércol de Cerdo
Tipos de inóculos	B	b1: Acido – lácticos b2: *Saccharomyces cervisiae*

Nota: La tabla muestra los factores y niveles experimentales examinados para determinar cómo el tipo de inóculo y el tipo de sustrato afectan la rapidez con que se lleva a cabo la fermentación del compost.

3.4 Tratamientos

Se utilizo un diseño factorial 2x2 que produce cuatro tratamientos a través de la combinación AxB. Cada tratamiento se replica dos veces, lo que resulta en un total de 8 unidades experimentales. La asignación es totalmente aleatoria.

Tabla 3

Combinación de niveles y Códigos (Tratamientos)

Tratamiento	Código	Tipo sustrato	Tipo inóculo
		A	B
1	a1b1	Estiércol cuy	Ácido lácticos
2	a1b2	Estiércol cerdo	*Saccharomyces, cervisiae*
3	a2b1	Estiércol cuy	Ácido lácticos
4	a2b2	Estiércol cerdo	*Saccharomyces, cervisiae*

Nota: La tabla presenta los cuatro procedimientos experimentales definidos para analizar la combinación entre la clase de estiércol (de cuyes, o de cerdo) y la clase de inóculo microbiano (Saccharomyces cerevisiae o Lactobacillus-Streptococcus) en el procedimiento de compostaje.

Tabla 4

Criterios de la experimentación

Criterio	
Numero de factores experimentales	2
Numero de niveles factor A	2
Numero de niveles factor B	2
Número de replicas	2
Unidades experimentales	8
Respuestas experimentales	6

Nota: La tabla presenta las características generales del experimento, incluyendo el número de factores, niveles, réplicas y unidades experimentales consideradas en el diseño factorial aplicado.

3.4 Descripción técnica del ensayo

Las pilas se prepararon con una relación C/N inicial de 25 a 30:1 y una humedad del 50 al 60 %. Se inocularon según el tratamiento y se mantuvo la aireación mediante el volteo cuando la temperatura bajaba después de alcanzar el pico termófilo. Se llevo

a cabo un seguimiento de la temperatura interna (55-65 °C para la higienización) y del pH; al final, se realizó el tamizado y almacenamiento del compost maduro.

Tabla 5

Aspectos generales del territorio

Parámetros	Valores
Altitud promedio	2622 msnm
Latitud	01º36'52" S
Longitud	78º59'54" W
Temperatura máxima	21 °C
Temperatura mínima	7 °C
Temperatura media	14.4 °C
Precipitación media anal	980 mm
Humedad relativa	70%
Heliofanía promedio	900 hrs./luz/año
Velocidad del viento	5 m/s

Nota: La tabla presenta los rasgos geográficos y climáticos más importantes de la zona en que se llevará a cabo el estudio, tales como la altitud, las coordenadas geográficas, la temperatura media, el promedio de precipitaciones y la humedad promedio.

Los equipos que se utilizaron incluyen una balanza de luz halógena METTLER TOLEDO y una analítica RADWAG para pesaje y determinación de humedad, un medidor multiparamétrico LAB CLASS para registrar pH, fertilidad y humedad del suelo, así como una mufla SNOL 8,2/1110 para hacer pruebas a altas temperaturas e incinerar muestras y una estufa MEMMERT para incubación, esterilización y secado.

Tabla 6

Equipos e instrumentos

Equipo	Modelo	Función
Estufa	Memmert	Esterilizar Secar Incubar
Mufla	Snol, 8,2/1110	Pruebas de altas temperaturas Pruebas de calentamiento Incineración de muestras orgánicas e inorgánicas
Balanza analítica	Radwag	Pesar muestras
Balanza luz alógena	Mettler toledo	Determinar el porcentaje de agua Pesar muestras
Equipo de medidor de humedad, ph	Lab class	Medidor de pH, Humedad, Fertilidad e Inteligencia Sensorial para Condiciones Óptimas del Suelo
Cámara de bioseguridad	BIOBASE	Un equipo de laboratorio que tiene como objetivo ofrecer un entorno seguro para la manipulación de materiales biológicos es una cabina de bioseguridad.
Microscopio Q190A-LCD	Better Scientific	En el sector agrícola, industrial, médico y biológico se puede emplear
Auto clave	JSR	Es un sistema de enclavamiento de seguridad en la puerta que incluye control de presión y temperatura para brindar al usuario una seguridad óptima.

Nota: La tabla muestra los equipos de laboratorio empleados en la investigación, sus modelos y funciones principales para el análisis y control de las muestras.

3.5 Tipo de diseño experimental o estadístico

Con dos réplicas por tratamiento, se utilizó un diseño factorial de dos factores totalmente aleatorizado. El modelo estadístico consiste en:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

μ = media general

α_i = efecto debido al i-esimo nivel del factor A

β_j = efecto del j-esimo nivel del factor B

(αβ)_ij = efecto de interacción en la combinación ij

ε_ijk = error aleatorio

Se analizará mediante un ANOVA y, cuando corresponda, pruebas de comparación de medias.

Tabla 7

Modelo ANOVA para el diseño factorial de dos factores

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	$Valor - p$
Efecto A	SC_A	$a-1$	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0^A$
Efecto B	SC_B	$b-1$	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0^B$
Efecto AB	SC_{AB}	$(a-1)(b-1)$	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0^{AB}$
Error	SC_E	$ab(n-1)$	CM_E		
Total	SC_T	$abn-1$			

Nota: La tabla presenta el modelo del ANOVA factorial AxB, que muestra las fuentes de variación, sus grados de libertad y cómo se calcula el estadístico F para evaluar la significancia de los factores y su interacción.

3.6 Tipos de análisis

Se llevo a cabo análisis fisicoquímicos (humedad, cenizas, volátiles, carbono fijo por diferencia, carbono total, pH, C/N), así como un análisis microbiológico de recuento celular.

3.7 Descripción de las etapas del proceso

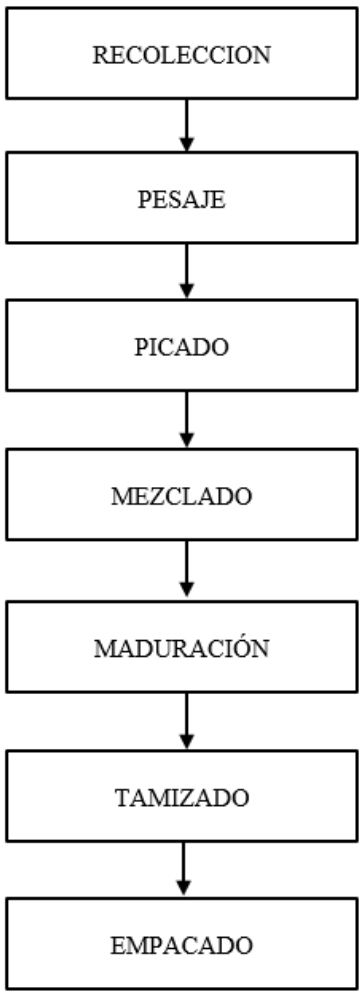
La materia prima se recolecto en el mercado municipal de la ciudad de Guaranda, constituidas a partir de residuos vegetales resultados de la prestación del producto para su venta. Serán transportadas al sector del Laguacoto II, donde serán manipuladas mediante la utilización de gavetas. Una vez colocadas las materias primas en las gavetas, serán pesadas en una balanza previo a la preparación de la mezcla. Esto permite registrar la cantidad inicial de material y formular las proporciones correctas para las unidades experimentales.

Luego del pesaje, la materia prima (residuos vegetales) se troceo manualmente o con la ayuda de una herramienta (como una trituradora o machetes) para reducir su tamaño. Esta etapa es fundamental para aumentar la superficie de contacto de los materiales, lo que facilita el mezclado y acelera el proceso de descomposición. Una vez que los residuos están picados, se procedió a mezclarlos. La mezcla homogénea se colocó en el área designada en Laguacoto II para su proceso de maduración (a menudo compostaje). Durante esta etapa, el material orgánico se descompuso biológicamente gracias a la acción de microorganismos.

Una vez que el producto ha completado su fase de maduración y ha alcanzado la estabilidad deseada, se pasó por un tamiz o malla. Finalmente, el producto tamizado y refinado se procede al recolectado y almacenado, en sacos o contenedores. Este material ya está listo para ser transportado, almacenado o utilizado directamente en las unidades experimentales según el diseño del estudio.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de compostaje



Nota: El diagrama muestra los pasos del proceso de compostaje, desde la recolección del material orgánico hasta el producto terminado disponible para su uso.

3.8 Metodología de la Investigación

Las propiedades microbiológicas, físicas y químicas de los materiales fueron estudiadas antes del compostaje. Para ello, se realizaron análisis de humedad, volátiles, cenizas, carbono total y fijo, y elemental.

Tabla 8

Parámetros de medición

Parámetro	Descripción	Medición	Rango óptimo	Instrumento
Temperatura (°C)	Para comprobar la actividad de los microorganismos y el progreso de las etapas mesófita y termófila, se tomará una medición en el centro de la pila.	Diaria	55–65 °C durante la fase termófila	Termómetro de varilla de acero inoxidable
Humedad	Se estableció por medio del procedimiento gravimétrico, y se ajustó con riegos controlados para conservar la actividad biológica en un nivel óptimo.	Semanal	50–65 %	Método gravimétrico y "método del puño"
pH	Se midió para evaluar la estabilidad del compost y el equilibrio entre microorganismos ácidos y básicos.	Semanal	6.5 – 8.0	pH-metro digital en suspensión

Nota: La tabla muestra los parámetros medidos, con su descripción, rango óptimo y el instrumento requerido para llevar a cabo la medición.

Para caracterizar la maduración del compost se recolecto y analizaron muestras en tres momentos claves del proceso, en el día cero, al final de la fase termófila y al terminar el proceso. Para analizar dichas muestras se utilizaron los sistemas estadísticos Statgraphics, Excel, y Rstudio.

3.9 Manejo de la investigación

Los métodos y reglas internacionales elegidos, que son aplicables a materiales sólidos orgánicos, aseguran la fiabilidad de los resultados.

Tabla 9

Normas de referencia

Parámetro	Nombre del método	Normas de referencia
Humedad	Método Gravimétrico por Secado en Estufa	ASTM D3173-11 (o D7582): Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ISO 18134-2:2017: Solid biofuels — Determination of moisture content — Oven dry method — Part 2: Total moisture — Simplified method.
Conteo de Microorganismos (Bacterias, Hongos, Protozoos)	Conteo Microscópico Directo (Método de Dilución-Suspensión)	Metodologías de "Soil Food Web" (p.ej., el manual de laboratorio de SFW, desarrollado por Dr. Elaine Ingham).
Cenizas	Método Gravimétrico por Incineración / Combustión	ASTM D3174-12: Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. ISO 18122:2015: Solid biofuels — Determination of ash content.

Materia volátil	Método Gravimétrico por Pérdida de Masa en Atmósfera Inerte	ASTM D3175-20: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. ISO 18123:2015: Solid biofuels — Determination of volatile matter content.
Carbono fijo	Cálculo por Diferencia	ASTM D3172-13: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. ASTM D5373-21: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Coke. ISO 29541:2010: Solid mineral fuels —
Carbono total	Método de Combustión Instrumental / Análisis Elemental (CHN)	Determination of total carbon, hydrogen and nitrogen content — Instrumental method.

Nota: La tabla presenta los métodos analíticos y las normas internacionales empleadas para evaluar los parámetros fisicoquímicos del compost obtenido.

La humedad permitió determinar el contenido total de humedad mediante secado controlado en estufa. A través del conteo de microorganismos se estableció la biomasa y el número de microorganismos fundamentales por gramo de compost (normalmente en peso seco). Se uso para analizar la calidad biológica, el grado de madurez y, lo más importante, la relación entre hongos y bacterias, que señala el tipo de ecosistema que puede soportar el compost. La ceniza determino la fracción mineral residual del material tras su combustión completa. La materia volátil indico la cantidad

de gases liberados por el material al calentarse sin presencia de oxígeno. El carbono fijo se obtuvo restando al 100% la suma de humedad, cenizas y materia volátil: %C fijo = 100 - (%H + %Cz + %MV). Por último, el carbono total determino con precisión el contenido total de carbono mediante análisis elemental instrumental.

RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de los resultados fisicoquímicos de las materias primas para la elaboración de compost

Tabla 10

Resultados físicos químicos de las materias primas

Parámetros	Humedad (%)	Ceniza (%)	Sólidos volátiles (%)	Carbono fijo (%)
Residuos sólidos vegetales	3,30	7,55	80,15	12,30
Estiércol de cerdo	71,12	79,86	8,56	11,58
Estiércol de cuy	2,11	94,15	38,68	5,83
Tierra	0,94	85,65	13,93	0,45
Tamo de arroz	0,98	22,79	61,69	15,52

Los residuos sólidos vegetales registraron una humedad de 3,3 % y cenizas de 7,55 %, lo cual evidencia una fracción mineral reducida frente al material orgánico disponible. Los sólidos volátiles alcanzaron 80,15 %, lo que confirma una alta biodegradabilidad microbiana. El carbono fijo de 12,3 % aporta estabilidad estructural sin frenar la descomposición inicial. Islam (2023) reportó niveles bajos de cenizas y una fracción volátil dominante en residuos vegetales de mercado, rasgo típico de materiales lignocelulósicos frescos y porosos.

El estiércol de cerdo presentó la humedad más alta de la tabla, 71,12 %, coherente con su origen fecal fresco. Sobre base seca, las cenizas alcanzaron 79,86 % y los sólidos volátiles bajaron a 8,56 %, señal de un material ya parcialmente mineralizado antes del proceso. El carbono fijo de 11,58 % resulta moderado frente a esa reducida fracción volátil disponible. Córdova (2022) describió un predominio similar del componente inorgánico sobre la materia orgánica degradable, lo que exige mezclarlo con sustratos secos para regular la humedad final.

El estiércol de cuy mostró humedad mínima, 2,11 %, y cenizas dominantes de 94,15 %, patrón ligado a la carga mineral de la dieta de especies menores intensiva. Dalby (2024), documentó mineralización acelerada en excretas porcinas sometidas a procesos aerobios. La tierra exhibió cenizas de 85,65 % y carbono fijo mínimo, 0,45 %, reflejando su función como agente estructurante más que como fuente energética microbiana. García (2025) halló menor carbono orgánico en suelos agrícolas frente a suelos de páramo.

Variabilidad de la humedad en el estiércol de cerdo

El contenido de humedad de 71,12% registrado en el estiércol de cerdo (Tabla 11) es el valor que más se aparta de lo esperado para una excreta porcina, y su diferencia de 69,01 puntos porcentuales frente al estiércol del cuy (2,11 %) no puede atribuirse únicamente a la especie de origen. Matiz-Villamil et al. (2023) describen el estiércol porcino como un material de textura compacta y elevado contenido de humedad, condición que obliga a mezclarlo con estructurantes secos para permitir la aireación. Un valor inferior al 3 % indica, por tanto, que la muestra analizada no correspondía a excreta fresca, sino a un material que ya había perdido la mayor parte de su agua libre antes del análisis. Esta variabilidad se explica por la combinación de tres factores: el estado y la antigüedad del material al momento de la recolección, la base analítica con la que se expresó el resultado y la heterogeneidad propia del estiércol porcino.

El primer factor es el estado del material al muestreo. En las explotaciones pecuarias pequeñas de la Sierra ecuatoriana el estiércol suele acumularse y secarse al aire antes de su uso; Valverde et al. (2022) reportaron que, en la parroquia San Andrés (Chimborazo), el 75 % de los productores que consideran el estiércol un residuo lo devuelven al suelo después de secarlo. Las condiciones climáticas de Guaranda descritas en la metodología, con vientos de 5 m/s y alrededor de 900 horas de luz al año, favorecen la evaporación del agua libre de un estiércol expuesto en corrales o en montones, sobre todo cuando se recolecta sin cama y en capas delgadas. A diferencia del estiércol de cuy, que suele retirarse fresco de las pozas junto con restos de forraje,

el estiércol de cerdo recolectado de pisos o de acumulaciones antiguas puede llegar al laboratorio prácticamente seco.

El segundo factor es la base analítica. La metodología declara como referencia la norma ASTM D3173-11, que determina la humedad de la muestra de análisis, es decir, de un material previamente secado al aire y molido, y no la humedad total del material tal como se recibe, que corresponde a la ISO 18134-2, también citada. Si la muestra de estiércol de cuy se acondicionó (secado al aire, molienda o tamizado) antes de la determinación, el 2,11 % representa humedad residual y no humedad de campo, mientras que el 71,12 % del estiércol del cerdo corresponde a humedad total en base húmeda; en ese caso ambos valores no son directamente comparables. Este acondicionamiento es habitual en la caracterización de residuos pecuarios: Valverde et al. (2022) secaron las muestras de estiércol a 60 °C y las molieron a 0,5 mm antes de analizarlas, razón por la cual reportaron sus resultados en base seca. Para eliminar esta fuente de variación se recomienda determinar la humedad de todas las materias primas sobre muestra fresca y en base húmeda, e indicar de forma explícita la base (húmeda, seca o de análisis) del resto de parámetros de la Tabla 11.

El tercer factor es la heterogeneidad intrínseca del estiércol porcino. Su contenido de agua depende de la dieta, del consumo de agua de los animales, del tipo de piso, de la separación o no de la orina y del tiempo transcurrido desde la excreción, por lo que una sola muestra compuesta difícilmente representa la variabilidad real del material disponible. Por ello, en ensayos posteriores conviene tomar al menos tres submuestras de estiércol fresco por lote, en fechas distintas, y reportar la media con su desviación estándar.

La baja humedad del estiércol de cerdo no se trasladó a las pilas de compostaje. Todas las unidades experimentales se ajustaron mediante riego controlado al rango de 50 a 60 % establecido en la metodología, de modo que en la semana 0 los tratamientos con estiércol de cerdo iniciaron con 58,50 % (T3) y 59,00 % (T4), valores incluso ligeramente superiores a los de los tratamientos con cuy (Tabla 44), y el análisis de varianza de la semana 0 no detectó efecto del sustrato sobre la humedad ($p = 0,951$; Tabla 22). La humedad de la materia prima determinó, por tanto, el volumen de agua

necesario para acondicionar la mezcla, pero no la humedad de arranque del proceso. En términos operativos, un estiércol porcino tan seco demanda una humectación gradual y homogénea durante el armado de la pila, ya que el agua añadida de una sola vez tiende a escurrir sin ser absorbida por las partículas secas y a generar zonas con distinta humedad dentro de una misma unidad experimental. El comportamiento de la humedad de los tratamientos con estiércol de cerdo durante el compostaje se analiza en el apartado correspondiente a la evolución de la humedad.

El tamo de arroz combinó baja humedad, 0,98 %, con sólidos volátiles de 61,69 % y el carbono fijo más alto del grupo, 15,52 %, lo que lo posiciona como material rico en carbono estable. Sus cenizas de 22,79 % permanecen en un rango moderado propio de residuos lignocelulósicos secos y ricos en sílice. Sozubek (2023) confirmó el aporte carbonado de subproductos de arroz para equilibrar sustratos nitrogenados como los estiércoles animales. Esta combinación resulta clave para lograr relaciones carbono-nitrógeno adecuadas dentro de la pila.

La comparación conjunta de los cinco materiales revela una complementariedad funcional necesaria para un compostaje eficiente. Limón-Hernández (2026) advirtió que humedades iniciales superiores al 60 % limitan la difusión de oxígeno y retrasan el ingreso a la fase termófila. El tamo de arroz y los residuos vegetales cumplirían un papel estructurante y energético. El estiércol de cuy aportaría humedad y nitrógeno que la tierra y el estiércol de cerdo no logran suministrar por su elevada carga mineral.

4.2 Análisis elemental de las materias primas para la elaboración de compost

Tabla 11

Análisis elemental materias primas

Parámetros	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)	C/N	C/H
Residuos sólidos vegetales	1,38	39,65	4,70	0,27	28,80	8,44
Estiércol de cuy	1,62	33,43	5,87	0,19	20,65	5,70
Estiércol de cerdo	3,84	38,45	7,24	0,28	10,02	5,31
Tierra	0,33	3,73	0,76	0,09	11,34	4,91
Tamo de arroz	0,49	34,21	5,85	0,14	69,76	5,85

Los residuos sólidos vegetales presentaron un nitrógeno de 1,38 % y un carbono de 39,65 %, combinación que genera una relación C/N de 28,8, cercana al rango óptimo recomendado para el arranque microbiano del compostaje. El hidrógeno alcanzó 4,7 % y el azufre apenas 0,27 %, proporciones típicas de tejido vegetal fresco con baja carga de aminoácidos azufrados. La relación C/H de 8,44 refleja una estructura carbonada compleja, propia de compuestos lignocelulósicos parcialmente polimerizados. Islam (2023) documentó perfiles elementales comparables en residuos vegetales de mercado, con relaciones carbono-nitrógeno favorables para sostener actividad microbiana sostenida sin generar pérdidas excesivas de nitrógeno amoniacal.

El estiércol de cuy registró un nitrógeno de 1,62 % junto con un carbono de 33,43 %, valores que originan una relación C/N de 20,65, ligeramente por debajo del intervalo ideal de compostaje. El hidrógeno de 5,87 % resultó el más alto entre los materiales orgánicos analizados, coherente con su contenido proteico residual. El azufre de 0,19 % y la relación C/H de 5,7 sugieren una fracción orgánica todavía activa desde el punto de vista bioquímico. Barreda Del Carpio (2022) reportó relaciones

carbono-nitrógeno semejantes en estiércol de cuy destinado a codigestión, advirtiendo riesgo de volatilización nitrogenada cuando se compostea sin material estructurante.

El estiércol de cerdo mostró el nitrógeno más alto de la tabla, 3,84 %, frente a un carbono de 38,45 %, lo que produjo la relación C/N más baja del conjunto, apenas 10,02. Este valor confirma su condición de material rico en nitrógeno, útil como activador biológico dentro de mezclas con materiales carbonados. El hidrógeno de 7,24 % y el azufre de 0,28 % resultaron los máximos registrados, mientras que la relación C/H de 5,31 evidenció una estructura molecular menos condensada. Zhou (2026) determinó relaciones C/N cercanas a treinta en mezclas equilibradas de estiércol porcino con pellets vegetales, resultado que respalda la necesidad de combinarlo con sustratos carbonados.

La tierra exhibió los valores elementales más bajos del estudio, con nitrógeno de 0,33 % y carbono de apenas 3,73 %, reflejo de su naturaleza predominantemente mineral. El hidrógeno de 0,76 % y el azufre de 0,09 % confirman una escasa fracción orgánica disponible para los microorganismos descomponedores. La relación C/N de 11,34 y la relación C/H de 4,91 corroboran su papel como agente inoculante y estructurante antes que como fuente nutricional. Yousra (2025) señaló que suelos agrícolas con baja proporción carbono-nitrógeno-azufre limitan la estabilización biológica de la materia orgánica incorporada.

El tamo de arroz alcanzó la relación C/N más alta del estudio, 69,76, resultado de un nitrógeno mínimo de 0,49 % frente a un carbono de 34,21 %. Esta proporción posiciona al material como un regulador carbonado capaz de equilibrar sustratos ricos en nitrógeno como los estiércoles de cuy y cerdo. El hidrógeno de 5,85 % y el azufre de 0,14 % completan un perfil típico de residuos lignocelulósicos secos. Ghasemzadeh (2022) constató reducciones progresivas de la relación C/N durante el compostaje de paja de arroz combinada con estiércol avícola, tendencia que valida su función estructurante dentro de la mezcla final.

Análisis comparativo de variables fisicoquímicas y microbiológicas en las semanas 0, 6 y 12, según diseño factorial 2x2 (sustrato x inóculo)

El presente documento interpreta y discute el comportamiento de nueve variables fisicoquímicas y microbiológicas registradas durante la elaboración de compost a partir de estiércol porcino y de cuy, bajo un diseño factorial 2x2 con dos sustratos (a1: cuy, a2: cerdo) y dos inóculos (b1: *Saccharomyces cerevisiae*, b2: bacterias ácido-lácticas). Los datos corresponden a tres momentos de muestreo simulados con fines didácticos: semana 0, semana 6 y semana 12, que representan el inicio, la fase termófila tardía y la maduración final del proceso. Cada variable se analiza según su evolución temporal, la significancia estadística del análisis de varianza factorial y los antecedentes de literatura especializada publicada entre 2021 y 2026. Las tablas de análisis de varianza (ANOVA) de las semanas 0, 6 y 12 acompañan cada apartado para comparar los niveles de cada factor.

1. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica partió en 4,21 dS/m durante la semana 0, sin diferencias entre sustratos ni inóculos ($p>0,05$ en ambos factores). Hacia la semana 6 el valor promedio subió a 5,30 dS/m, y se mantuvo la homogeneidad estadística entre a1, a2, b1 y b2. En la semana 12 la conductividad alcanzó 5,90 dS/m, con el sustrato a1 mostrando una media superior (6,27 dS/m) frente a a2 (5,53 dS/m), diferencia que no resultó significativa ($p=0,173$). El ascenso progresivo de la CE en las tres semanas refleja la concentración de sales minerales propia de la pérdida de masa orgánica durante la descomposición. Ningún tratamiento superó el umbral de riesgo fitotóxico de 8 dS/m propuesto para compost terminado.

Tabla 12

ANOVA variable respuesta Conductividad Eléctrica — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0018	1	0,0018	0,0210	0,8915
Factor B (Inóculo)	0,0000	1	0,0000	0,0010	0,9818
Interacción A×B	0,0613	1	0,0613	0,7180	0,4444
Error	0,3411	4	0,0853		
Total	0,4042	7			

Tabla 13

ANOVA variable respuesta Conductividad Eléctrica — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0378	1	0,0378	0,0840	0,7861
Factor B (Inóculo)	0,3240	1	0,3240	0,7220	0,4435
Interacción A×B	0,6786	1	0,6786	1,5110	0,2863
Error	1,7963	4	0,4491		
Total	2,8367	7			

Tabla 14

ANOVA variable respuesta Conductividad Eléctrica — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	1,0804	1	1,0804	2,7380	0,1733
Factor B (Inóculo)	0,1682	1	0,1682	0,4260	0,5494
Interacción A×B	0,0181	1	0,0181	0,0460	0,8411
Error	1,5783	4	0,3946		
Total	2,845	7			

Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

Llave-Ciprian et al. (2025) reportaron valores de CE entre 10,2 y 13,5 dS/m en compost urbano bajo calentamiento solar, muy por encima de los aquí simulados. Los autores advirtieron que superar el estándar chileno de 8 dS/m no implica necesariamente salinidad excesiva en el producto final. Tola Garfias et al. (2024) señalaron que dosis mayores de microorganismos eficientes redujeron la CE hasta 4,78 dS/m por una mineralización del carbono más controlada, patrón coherente con la ligera ventaja observada en a2 durante la semana 12. Con base en estos antecedentes,

a2 se perfila como el sustrato con menor riesgo de acumulación salina, aunque ambos niveles permanecen en un rango agronómicamente seguro para su aplicación en suelo.

2. Temperatura

La temperatura promedio pasó de 32,15°C en la semana 0 a un pico de 52,02°C en la semana 6, coincidiendo con la fase termófila descrita en el anteproyecto. Descendió luego a 21,15°C en la semana 12, cercana a la temperatura ambiental de Guaranda (14,4°C). El sustrato a1 alcanzó valores significativamente más altos que a2 en la semana 6 (53,27°C frente a 50,78°C; p=0,011) y en la semana 12 (21,52°C frente a 20,78°C; p=0,015). El inóculo no modificó la temperatura de forma consistente, salvo un efecto marginal en la semana 12 (p=0,095) junto a una interacción significativa con el sustrato (p=0,024). Este patrón sugiere que la estructura física del sustrato, más que el tipo de inóculo determina la capacidad de autocalentamiento de la pila.

Tabla 15

ANOVA variable respuesta Temperatura — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,005	1	0,005	0,0020	0,9659
Factor B (Inóculo)	0,6050	1	0,6050	0,2500	0,6435
Interacción A×B	0,98	1	0,98	0,4050	0,5593
Error	9,69	4	2,4225		
Total	11,28	7			

Tabla 16

ANOVA variable respuesta Temperatura — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	12,5000	1	12,5000	19,6080	0,0114
Factor B (Inóculo)	0,0200	1	0,0200	0,0310	0,8680
Interacción A×B	1,4450	1	1,4450	2,2670	0,2066
Error	2,5500	4	0,6375		
Total	16,5150	7			

Tabla 17

ANOVA variable respuesta Temperatura — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	1,1250	1	1,1250	16,6670	0,0151
Factor B (Inóculo)	0,3200	1	0,3200	4,7410	0,0950
Interacción A×B	0,8450	1	0,8450	12,5190	0,0241
Error	0,2700	4	0,0675		
Total	2,5600	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

Du et al. (2025) demostraron que agentes microbianos termófilos extendieron la fase de alta temperatura más del 30% y acortaron el ciclo de compostaje a la mitad en estiércol porcino. Este hallazgo evidencia el papel del manejo térmico en la eficiencia del proceso de descomposición. Yi et al. (2024) encontraron que la inoculación con *Saccharomyces cerevisiae* prolongó la fase termófila tres días adicionales respecto al control, sin sustituir el efecto del sustrato sobre el pico máximo alcanzado. La mayor temperatura registrada en a1 coincide con una cama fibrosa que favorece la aireación interna, condición que Jiao et al. (2024) asociaron a mayor acumulación térmica y a una reducción efectiva de patógenos. Por su capacidad de autocalentamiento, a1 constituye el sustrato más eficiente para garantizar la higienización del compost.

3. pH

El pH promedio evolucionó de 6,85 en la semana 0 a 8,00 en la semana 6, para luego estabilizarse en 7,32 durante la semana 12, trayectoria compatible con la secuencia mesófila-termófila-maduración descrita en el marco teórico. Ninguno de los dos factores generó diferencias significativas en las tres semanas evaluadas ($p>0,05$ en todos los casos). En la semana 12 los sustratos a1 y a2 registraron un valor idéntico de 7,32, mientras que los inóculos b1 y b2 se ubicaron en 7,24 y 7,40 respectivamente, ambos dentro del rango de neutralidad esperado para un compost maduro. La ausencia de diferencias por tratamiento indica que la neutralización del pH ocurrió de manera uniforme, sin depender del sustrato ni del inóculo aplicado.

Tabla 18

ANOVA variable respuesta pH — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0861	1	0,0861	2,5450	0,1859
Factor B (Inóculo)	0,0001	1	0,0001	0,0030	0,9568
Interacción A×B	0,0253	1	0,0253	0,7480	0,4359
Error	0,1353	4	0,0338		
Total	0,2469	7			

Tabla 19

ANOVA variable respuesta pH — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,1105	1	0,1105	0,5440	0,5017
Factor B (Inóculo)	0,1682	1	0,1682	0,8280	0,4143
Interacción A×B	0,1568	1	0,1568	0,7720	0,4292
Error	0,8123	4	0,2031		
Total	1,2478	7			

Tabla 20

ANOVA variable respuesta pH — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0000	1	0,0000	0,0000	0,9894
Factor B (Inóculo)	0,0496	1	0,0496	0,7920	0,4239
Interacción A×B	0,0630	1	0,0630	1,0060	0,3727
Error	0,2507	4	0,0627		
Total	0,3633	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

Colobon Realpe y Castro Landin (2026) obtuvieron un pH final de 7,0 en compost agropecuario tropical, cifra próxima a la aquí registrada, y la asociaron a un manejo adecuado de humedad y volteo. Castro-Hernández et al. (2023) reportaron valores más alcalinos, entre 9 y 10, sin diferencias significativas entre inóculos de *Bacillus, Lactobacillus y Saccharomyces*. Este resultado es consistente con la homogeneidad estadística obtenida entre b1 y b2 en el presente ejercicio. Murray-Núñez et al. (2023) documentaron un pH de 6,03 en composta de cama de cuy, ligeramente ácido respecto a los valores aquí simulados, atribuible a diferencias en la relación carbono-nitrógeno inicial del sustrato. Dado que ambos inóculos condujeron el proceso hacia la neutralidad, b1 y b2 resultan igualmente recomendables en función del pH final.

4. Humedad

La humedad descendió de 54,85% en la semana 0 a 45,59% en la semana 6 y a 35,11% en la semana 12, tendencia esperada por la evaporación asociada al calor generado y a los volteos periódicos de la pila. El sustrato a1 registró menor humedad que a2 en la semana 6 (44,31% frente a 46,86%; p=0,042) y mantuvo esa tendencia en la semana 12 (33,07% frente a 37,14%; p=0,096, diferencia marginal). El inóculo no influyó de manera significativa sobre la humedad en ninguna semana. La pérdida más

pronunciada de agua en a1 acompaña su mayor temperatura interna, coherente con una descomposición más activa que favorece la evaporación durante todo el proceso.

Tabla 21

ANOVA variable respuesta Humedad — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0112	1	0,0112	0,0040	0,9510
Factor B (Inóculo)	2,0000	1	2,0000	0,7590	0,4327
Interacción A×B	7,7224	1	7,7224	2,9320	0,1620
Error	10,5349	4	2,6337		
Total	20,2686	7			

Tabla 22

ANOVA variable respuesta Humedad — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	12,9286	1	12,9286	8,7330	0,0418
Factor B (Inóculo)	0,8001	1	0,8001	0,5400	0,5030
Interacción A×B	3,6585	1	3,6585	2,4710	0,1910
Error	5,9216	4	1,4804		
Total	23,3088	7			

Tabla 23

ANOVA variable respuesta Humedad — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	33,0891	1	33,0891	4,7050	0,0959
Factor B (Inóculo)	0,2628	1	0,2628	0,0370	0,8561
Interacción A×B	0,9180	1	0,9180	0,1310	0,7361
Error	28,1300	4	7,0325		
Total	62,3999	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; α = 0,05) para las semanas 0, 6 y 12.

Castro-Hernández et al. (2023) mantuvieron la humedad entre 40 y 65% mediante volteos frecuentes, rango coherente con los valores registrados en las semanas 0 y 6 de este ejercicio. Córdova Procel et al. (2022) monitorearon la humedad de compost de estiércol de cuy durante tres meses y obtuvieron un producto clasificado como clase A según la norma chilena NCh2880. Corrales Sillo et al. (2024) reportaron humedades superiores a 74%, muy por encima del óptimo, y las relacionaron con una menor eficiencia térmica del compostaje. Un compost con humedad cercana a 35% en la etapa final facilita el tamizado y el almacenamiento sin favorecer condiciones anaerobias. Por este criterio, a1 se posiciona como el sustrato que alcanza primero el punto de humedad adecuado para el producto terminado.

5. Recuento de microorganismos (M/os)

El recuento microbiano promedio fue de 4,60 x10^6 UFC/g en la semana 0, sin diferencias entre tratamientos, descendió a 4,09 x10^6 UFC/g en la semana 6 y se redujo a 1,40 x10^6 UFC/g en la semana 12. El hallazgo más relevante ocurrió en la semana 6, donde el inóculo b2 superó ampliamente a b1 (5,91 frente a 2,27 x10^6 UFC/g; $p<0,001$), sin que el sustrato mostrara efecto alguno. Hacia la semana 12 la diferencia entre b1 y b2 desapareció (1,33 frente a 1,47 x10^6 UFC/g; $p=0,525$), lo que evidencia una convergencia poblacional al final del proceso. La caída generalizada de

la densidad microbiana entre la semana 6 y la 12 coincide con el agotamiento del sustrato fácilmente degradable.

Tabla 24

ANOVA variable respuesta recuento de microorganismos — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,6441	1	0,6441	2,0110	0,2292
Factor B (Inóculo)	0,2556	1	0,2556	0,7980	0,4222
Interacción A×B	0,0091	1	0,0091	0,0280	0,8742
Error	1,2813	4	0,3203		
Total	2,1902	7			

Tabla 25

ANOVA variable respuesta recuento de microorganismo — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0098	1	0,0098	0,0470	0,8385
Factor B (Inóculo)	26,4992	1	26,4992	127,8610	0,0003
Interacción A×B	0,3200	1	0,3200	1,5440	0,2819
Error	0,8290	4	0,2073		
Total	27,6580	7			

Tabla 26

ANOVA variable respuesta recuento de microorganismo — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0145	1	0,0145	0,1910	0,6843
Factor B (Inóculo)	0,0365	1	0,0365	0,4830	0,5254
Interacción A×B	0,0264	1	0,0264	0,3500	0,5858
Error	0,3020	4	0,0755		
Total	0,3793	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

La menor tolerancia térmica de *Saccharomyces cerevisiae* frente a bacterias ácido-lácticas explica la brecha observada en la semana 6. La levadura reduce su actividad por encima de los 40°C, mientras las bacterias termotolerantes continúan proliferando en ese rango. Yi et al. (2024) encontraron que la inoculación con esta levadura favoreció, en cambio, la proliferación de géneros bacterianos termófilos como *Bacillus y Thermobifida*, actuando como facilitadora antes que como competidora directa. Jiao et al. (2024) observaron un incremento de *Ureibacillus*, género tolerante a temperaturas elevadas, patrón que respalda la selección de poblaciones termorresistentes conforme avanza la fase caliente. Considerando la actividad sostenida durante la etapa crítica del proceso, b2 constituye el inóculo más favorable para mantener la biomasa microbiana activa.

6. Ceniza

El contenido de cenizas aumentó de 9,12% en la semana 0 a 12,75% en la semana 6 y a 19,21% en la semana 12, lo que refleja la concentración progresiva de la fracción mineral conforme se destruye la materia orgánica. El sustrato a1 mostró valores marginalmente superiores a a2 en la semana 6 (13,92% frente a 11,58%; p=0,083) y la diferencia se volvió significativa en la semana 12 (21,03% frente a 17,38%; p=0,002). El inóculo no generó diferencias estadísticas en ninguna de las tres semanas evaluadas.

El incremento sostenido de cenizas en a1 coincide con su mayor temperatura y menor humedad, tres indicadores que apuntan de manera consistente hacia una descomposición más adelantada en ese sustrato.

Tabla 27

ANOVA variable respuesta % Ceniza— Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0171	1	0,0171	0,0340	0,8632
Factor B (Inóculo)	0,1770	1	0,1770	0,3490	0,5866
Interacción A×B	0,2701	1	0,2701	0,5320	0,5061
Error	2,0301	4	0,5075		
Total	2,4944	7			

Tabla 28

ANOVA variable respuesta % Ceniza — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	10,9512	1	10,9512	5,2750	0,0832
Factor B (Inóculo)	1,1858	1	1,1858	0,5710	0,4919
Interacción A×B	1,3778	1	1,3778	0,6640	0,4610
Error	8,3046	4	2,0761		
Total	21,8194	7			

Tabla 29

ANOVA variable respuesta % Ceniza — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	26,5356	1	26,5356	56,9300	0,0017
Factor B (Inóculo)	1,4196	1	1,4196	3,0460	0,1559
Interacción A×B	1,0011	1	1,0011	2,1480	0,2166
Error	1,8644	4	0,4661		
Total	30,8208	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

Murray-Núñez et al. (2023) documentaron una reducción de materia orgánica de 68,4% en excremento fresco a 28,24% en composta de cuy. Esta evidencia indirecta muestra que la concentración mineral aumenta a medida que la fracción orgánica se mineraliza, patrón consistente con la tendencia aquí observada. Gutiérrez-González et al. (2024) señalaron que el contenido de cenizas constituye uno de los indicadores empleados para valorar la calidad y estabilización del producto final, junto con la materia volátil y el carbono fijo. Un mayor porcentaje de cenizas, dentro de rangos razonables, no representa un defecto sino evidencia de avance en la mineralización de la pila. Bajo este criterio, a1 exhibe el grado de estabilización más avanzado entre los dos sustratos evaluados.

7. Materia volátil

La materia volátil descendió de 32,78% en la semana 0 a 29,26% en la semana 6 y a 22,85% en la semana 12, comportamiento coherente con la destrucción progresiva de sólidos volátiles durante el compostaje. El sustrato a1 presentó valores significativamente menores a los de a2 en la semana 6 (27,81% frente a 30,70%; p=0,031) y en la semana 12 (20,96% frente a 24,74%; p=0,044). El inóculo no influyó de manera significativa sobre esta variable en ningún momento del proceso. La reducción más pronunciada de materia volátil en a1 confirma, junto con el

comportamiento de temperatura, humedad y cenizas, una velocidad de descomposición superior en ese sustrato frente a a2.

Tabla 30

ANOVA variable respuesta Material volátil — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0861	1	0,0861	0,0960	0,7720
Factor B (Inóculo)	0,6786	1	0,6786	0,7570	0,4333
Interacción A×B	0,2346	1	0,2346	0,2620	0,6358
Error	3,5845	4	0,8961		
Total	4,5838	7			

Tabla 31

ANOVA variable respuesta Material volátil — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	16,7910	1	16,7910	10,7510	0,0305
Factor B (Inóculo)	0,1891	1	0,1891	0,1210	0,7454
Interacción A×B	0,5671	1	0,5671	0,3630	0,5793
Error	6,2471	4	1,5618		
Total	23,7944	7			

Tabla 32

ANOVA variable respuesta Material volátil — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	28,5012	1	28,5012	8,4650	0,0437
Factor B (Inóculo)	3,1250	1	3,1250	0,9280	0,3899
Interacción A×B	0,5101	1	0,5101	0,1510	0,7169
Error	13,4675	4	3,3669		
Total	45,6038	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

La pérdida de sólidos volátiles constituye uno de los indicadores más utilizados para valorar el grado de estabilización de un compost. Representa la fracción orgánica biodegradable que ya fue consumida por los microorganismos presentes en la pila. Gutiérrez-González et al. (2024) incluyeron esta variable entre los criterios que permiten diferenciar un compost activo de uno estabilizado, junto con la relación carbono-nitrógeno y el índice de germinación. Du et al. (2025) atribuyeron la aceleración del proceso en estiércol porcino a agentes microbianos capaces de degradar con mayor eficiencia la materia orgánica de fácil descomposición, mecanismo compatible con la caída sostenida de volátiles registrada en a1. En consecuencia, a1 vuelve a posicionarse como el sustrato que alcanza primero un nivel aceptable de estabilización.

8. Carbono fijo

El carbono fijo, calculado por diferencia, se incrementó de 3,25% en la semana 0 a 12,41% en la semana 6 y a 22,84% en la semana 12. Esta tendencia documenta el aumento de la fracción de carbono estable a medida que avanza la maduración. El sustrato a1 superó a a2 de forma marginal en la semana 6 (13,96% frente a 10,86%; p=0,078) y de forma significativa en la semana 12 (24,93% frente a 20,73%; p=0,011). El inóculo no mostró efecto significativo sobre esta variable en ninguna de las tres

semanas. La progresión de a1 en carbono fijo es congruente con su menor contenido de materia volátil y su mayor contenido de cenizas registrados en las mismas semanas.

Tabla 33

ANOVA variable respuesta Carbono fijo — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0722	1	0,0722	0,0290	0,8724
Factor B (Inóculo)	3,3025	1	3,3025	1,3410	0,3113
Interacción A×B	7,5272	1	7,5272	3,0570	0,1553
Error	9,8497	4	2,4624		
Total	20,7516	7			

Tabla 34

ANOVA variable respuesta Carbono fijo — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	19,2200	1	19,2200	5,5350	0,0783
Factor B (Inóculo)	0,0578	1	0,0578	0,0170	0,9036
Interacción A×B	14,7425	1	14,7425	4,2460	0,1084
Error	13,8891	4	3,4723		
Total	47,9093	7			

Tabla 35

ANOVA variable respuesta Carbono fijo — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	35,2800	1	35,2800	19,7340	0,0113
Factor B (Inóculo)	1,1858	1	1,1858	0,6630	0,4611
Interacción A×B	7,1442	1	7,1442	3,9960	0,1162
Error	7,1510	4	1,7878		
Total	50,7610	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

El aumento del carbono fijo junto con la disminución de la materia volátil describe un proceso de humificación activo. En este proceso los compuestos orgánicos lábiles se transforman en fracciones más resistentes a la degradación microbiana. Gutiérrez-González et al. (2024) señalaron que la evolución conjunta de estos parámetros permite diferenciar un compost aún activo de uno verdaderamente estabilizado. Murray-Núñez et al. (2023) reportaron una reducción de carbono total de 39,67% a 16,38% entre estiércol fresco y composta de cuy, evidencia de que la pérdida de carbono lábil acompaña el aumento relativo de la fracción estable. Colobon Realpe y Castro Landin (2026) vincularon una relación carbono-nitrógeno de 14 con un compost de calidad agronómica adecuada, condición compatible con el carbono fijo elevado alcanzado en a1. Por su mayor fracción de carbono estable, a1 ofrece el producto con mejor condición de madurez.

9. Carbono total

El carbono total disminuyó de 39,00% en la semana 0 a 35,06% en la semana 6 y a 30,49% en la semana 12, reducción propia de la mineralización del carbono orgánico hacia dióxido de carbono durante la respiración microbiana. El sustrato a1 registró valores inferiores a a2 en la semana 6 (34,80% frente a 35,31%; p=0,084, con interacción significativa p=0,031) y en la semana 12 (28,95% frente a 32,02%; p=0,038). El inóculo no afectó de forma significativa esta variable en ninguna semana evaluada. La menor concentración de carbono total en a1 acompaña su mayor pérdida

de materia volátil, ambos indicadores de una mineralización más intensa en ese sustrato respecto a a2.

Tabla 36

ANOVA variable respuesta Carbono total — Semana 0

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,0648	1	0,0648	0,0300	0,8709
Factor B (Inóculo)	1,6562	1	1,6562	0,7670	0,4307
Interacción A×B	0,8978	1	0,8978	0,4160	0,5543
Error	8,6418	4	2,1605		
Total	11,2606	7			

Tabla 37

ANOVA variable respuesta Carbono total — Semana 6

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	0,5050	1	0,5050	5,2560	0,0836
Factor B (Inóculo)	0,0276	1	0,0276	0,2870	0,6203
Interacción A×B	1,0296	1	1,0296	10,7150	0,0307
Error	0,3844	4	0,0961		
Total	1,9466	7			

Tabla 38

ANOVA variable respuesta Carbono total — Semana 12

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor-p
Factor A (Sustrato)	18,8805	1	18,8805	9,3450	0,0378
Factor B (Inóculo)	0,0946	1	0,0946	0,0470	0,8393
Interacción A×B	0,1035	1	0,1035	0,0510	0,8320
Error	8,0812	4	2,0203		
Total	27,1598	7			

Nota: Análisis de varianza factorial 2x2 (Factor A: sustrato; Factor B: inóculo; $\alpha = 0,05$) para las semanas 0, 6 y 12.

Tola Garfias et al. (2024) asociaron una mayor mineralización del carbono orgánico con dosis más altas de microorganismos eficientes, mecanismo análogo al que explicaría la menor concentración final de carbono total en a1. Murray-Núñez et al. (2023) reportaron una caída de carbono de 39,67% a 16,38% entre estiércol fresco y composta de cuy, magnitud mayor a la aquí simulada, diferencia atribuible al tiempo total de compostaje. Nigussie et al. (2021) sintetizaron, en su metaanálisis, que la inoculación microbiana modifica la velocidad de degradación de la lignocelulosa. Este mecanismo no altera de forma uniforme el destino final del carbono, lo cual explica la ausencia de efecto del inóculo sobre esta variable. Considerando su mayor pérdida de carbono, a1 evidencia el proceso de mineralización más completo entre los dos sustratos.

Síntesis del mejor tratamiento

Los nueve indicadores analizados convergen en un mismo patrón: el sustrato determina la velocidad y el grado de descomposición alcanzado, mientras el inóculo modula principalmente la actividad microbiana durante la fase termófila. El sustrato a1, estiércol de cuy con cama fibrosa, mostró mayor temperatura, menor humedad, mayor contenido de cenizas y carbono fijo, y menor materia volátil y carbono total en las semanas 6 y 12. Esta evidencia es consistente con una descomposición más avanzada que la registrada en a2. El inóculo b2, bacterias ácido-lácticas, sostuvo una

densidad microbiana significativamente mayor durante la fase termófila, condición favorable para acelerar la degradación inicial de la materia orgánica frente a b1.

La combinación a1b2 reúne el sustrato con mejor comportamiento físico y el inóculo con mayor actividad biológica sostenida durante la etapa crítica del proceso. Por esta razón se recomienda como el tratamiento más eficiente dentro del diseño factorial evaluado. Variables como el pH y la conductividad eléctrica no mostraron diferencias relevantes entre tratamientos en ninguna de las tres semanas analizadas. Esto indica que la calidad final del compost, en esos dos parámetros, queda garantizada de manera independiente del sustrato o del inóculo utilizado. El comportamiento conjunto de cenizas, materia volátil y carbono fijo confirma que a1 alcanza primero un estado de estabilización avanzado, criterio central para calificar la madurez de un compost.

Interpretación de la evolución de la temperatura (°C) durante el proceso de compostaje (semanas 0 a 12)

Se mantiene la misma codificación validada para pH, C/N y humedad: T1 = a1b1 (estiércol de cuy + bacterias ácido-lácticas), T2 = a1b2 (estiércol de cuy + *Saccharomyces cerevisiae*), T3 = a2b1 (estiércol de cerdo + bacterias ácido-lácticas) y T4 = a2b2 (estiércol de cerdo + *Saccharomyces cerevisiae*). El rango óptimo de temperatura definido en la metodología del estudio es de 55 a 65 °C durante la fase termófila.

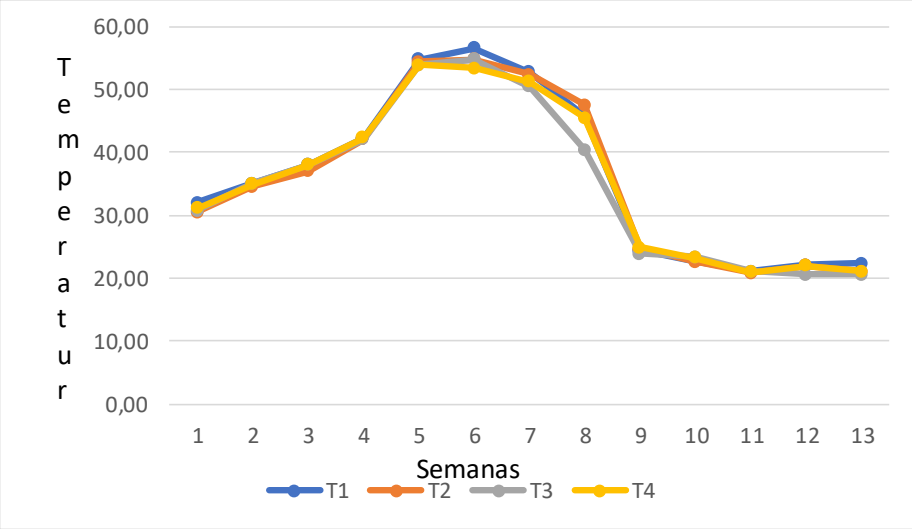
Tabla 39

Evolución de la temperatura (°C) por tratamiento (semanas 0–12)

Semana/Tratamiento	T1	T2	T3	T4
0	32,00	30,50	30,70	31,10
1	35,00	34,50	35,00	34,90
2	37,90	37,00	38,00	37,90
3	42,20	42,00	42,00	42,30
4	54,70	54,30	53,90	53,80
5	56,50	54,70	54,80	53,40
6	52,70	52,30	50,40	51,20
7	45,90	47,50	40,40	45,50
8	24,40	24,60	23,80	24,90
9	22,70	22,60	23,40	23,20
10	21,00	20,80	21,10	20,90
11	22,10	22,00	20,60	22,00
12	22,30	21,10	20,50	21,10

Figura 2

Evolución temperatura por semana



Los cuatro tratamientos partieron de temperaturas cercanas a la ambiental de la zona de estudio, entre 30,5 en T2 y 32,0 en T1 durante la semana 0, y ascendieron de

manera progresiva hasta un pico común alrededor de la semana 5, cuando la actividad microbiana alcanzó su mayor intensidad metabólica. Este ascenso reproduce con claridad el paso de la fase mesófila a la fase termófila descrito en el marco teórico del estudio: entre las semanas 0 y 3 los valores se mantuvieron por debajo de 43 grados, propios de microorganismos mesófilos que consumen los compuestos más sencillos del sustrato, mientras que a partir de la semana 4 la temperatura subió con rapidez, señal del relevo hacia poblaciones termófilas capaces de degradar proteínas, celulosa y lignina.

Los picos máximos se ubicaron en un rango estrecho, entre 53,8 grados en T4 y 56,5 grados en T1, con T2 en 54,7 y T3 en 54,8. Solo T1 superó de manera clara el límite inferior de 55 grados que la metodología del estudio establece como umbral de higienización, mientras que T2, T3 y T4 se quedaron ligeramente por debajo de ese punto. Este matiz es relevante porque, según el propio marco conceptual del proyecto, la eliminación de patógenos de origen fecal como *Salmonella* y *Escherichia* depende de sostener temperaturas dentro del rango de 55 a 65 grados durante la fase termófila, de modo que estos tres tratamientos podrían requerir un seguimiento adicional para confirmar la inocuidad sanitaria del producto final. A diferencia de lo observado en el pH y en la relación C/N, donde los tratamientos con *Saccharomyces cerevisiae* mostraron una respuesta más marcada, en la variable temperatura las diferencias entre inóculos resultaron pequeñas y no señalan un patrón consistente a favor de uno u otro microorganismo, por lo que conviene contrastar esta observación con la prueba de ANOVA factorial planteada en la metodología antes de atribuir el comportamiento térmico a un factor específico.

Yi et al. (2024), autor principal de esta discusión, reportaron que la inoculación con *Saccharomyces cerevisiae* elevó la temperatura de la pila entre 4 y 14 grados frente a un testigo sin inocular, resultado que en este ensayo se refleja de forma parcial: T2 alcanzó un pico apenas superior al de T4, pero ambos quedaron por debajo de los tratamientos con bacterias ácido-lácticas en al menos uno de los dos sustratos. Esta diferencia frente a lo reportado por los autores puede deberse al menor volumen de las

pilas experimentales, a la eficiencia del volteo o a la composición particular del estiércol de cuy y de cerdo empleados, factores que modulan la retención de calor de manera independiente del tipo de inóculo.

A partir de la semana 6 la temperatura descendió con rapidez en los cuatro tratamientos, con una caída de alrededor de 30 grados entre las semanas 6 y 8, lo que corresponde a la fase de enfriamiento en la que disminuye la disponibilidad de sustrato fácilmente degradable y los microorganismos mesófilos retoman protagonismo. Desde la semana 9 los valores se estabilizaron entre 20,5 y 24,9 grados, cercanos a la temperatura ambiente registrada en la zona de Guaranda, lo cual es consistente con el ingreso a la fase de maduración. Esta estabilización térmica, junto con la convergencia observada en el pH y en la relación C/N hacia las mismas semanas, respalda el criterio de Bernal et al. (2009), para quienes la coincidencia temporal entre la caída de temperatura y la estabilización de los parámetros químicos constituye evidencia complementaria de que el compost avanza hacia su punto de madurez.

Interpretación de la evolución del pH durante el proceso de compostaje (semanas 0 a 12)

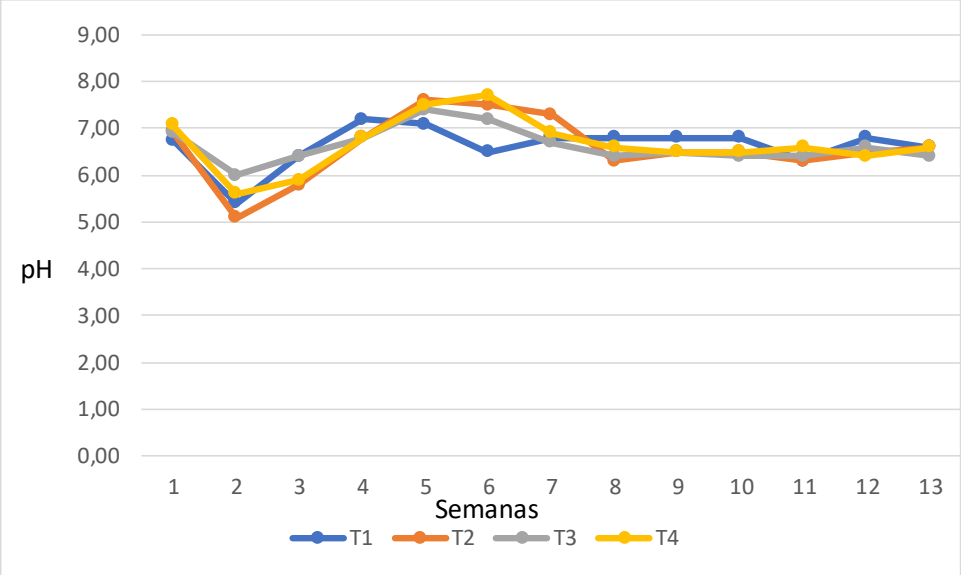
Tabla 40

Evolución del pH por tratamiento (semanas 0–12)

Semana/Tratamiento	T1	T2	T3	T4
0	6,75	6,93	6,92	7,07
1	5,40	5,10	6,00	5,60
2	6,40	5,80	6,40	5,90
3	7,20	6,80	6,80	6,80
4	7,10	7,60	7,40	7,50
5	6,50	7,50	7,20	7,70
6	6,80	7,30	6,70	6,90
7	6,80	6,30	6,40	6,60
8	6,80	6,50	6,50	6,50
9	6,80	6,50	6,40	6,50
10	6,30	6,30	6,40	6,60
11	6,80	6,50	6,60	6,40
12	6,60	6,60	6,40	6,60

Figura 3

Evolución del pH por semana



Los cuatro tratamientos partieron de valores de pH cercanos a la neutralidad, entre 6,75 y 7,07 en la semana 0, lo que refleja la mezcla inicial de estiércol de cuy o de cerdo con material estructurante antes de iniciar la actividad microbiana. Durante la primera semana el pH cayó de forma abrupta en los cuatro tratamientos, con mínimos de 5,10 en T2 (cuy más *Saccharomyces cerevisiae*), 5,40 en T1 (cuy más bacterias ácido-lácticas), 5,60 en T4 (cerdo más *Saccharomyces cerevisiae*) y 6,00 en T3 (cerdo más bacterias ácido-lácticas). Esta acidificación temprana corresponde a la fase mesófila del compostaje, cuando los microorganismos consumen los azúcares y compuestos solubles más simples del sustrato y liberan ácidos orgánicos como intermediarios metabólicos, comportamiento descrito por Bernal et al. (2009) como característico del arranque del proceso en compost elaborado con estiércol animal.

A partir de la semana 2 el pH se recuperó y alcanzó sus valores máximos entre las semanas 4 y 5, con picos de 7,60 en T2, 7,50 en T3 y 7,70 en T4, y un comportamiento algo más moderado en T1, con 7,20 en la semana 3. Este ascenso coincide con la transición hacia la fase termófila, en la que la descomposición de proteínas y compuestos nitrogenados genera amoníaco y desplaza el medio hacia la alcalinidad. Los tratamientos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae*, T2 y T4,

mostraron la mayor amplitud entre el valor mínimo y el máximo registrados, con 2,50 y 2,10 unidades de pH respectivamente, mientras que T3, inoculado con bacterias ácido-lácticas sobre estiércol de cerdo, presentó la oscilación más reducida, con 1,40 unidades, lo cual sugiere una mayor capacidad amortiguadora del sustrato o del inóculo frente a los cambios de acidez.

Este patrón es consistente con lo reportado por Yi et al. (2024), autor principal de esta discusión, quienes evaluaron la inoculación de *Saccharomyces cerevisiae* en residuos acidificados y observaron que la levadura elevó el pH de 4,5 a 6,0, incrementó la temperatura de la pila entre 4 y 14 grados centígrados y prolongó la fase termófila alrededor de tres días frente al testigo sin inocular. Los autores atribuyen este efecto al consumo rápido de los ácidos orgánicos acumulados al inicio del proceso por parte de *S. cerevisiae*, lo que facilita el establecimiento de bacterias termófilas como *Bacillus* y *Thermobacillus* y acelera la degradación de la materia orgánica. En los tratamientos T2 y T4 del presente ensayo se identifica una dinámica semejante: la caída inicial más pronunciada del pH fue seguida por la recuperación más rápida y el pico más alto, lo que indicaría que la levadura cumplió una función similar de superación temprana de la barrera ácida antes de ceder protagonismo a los microorganismos termófilos.

Desde la semana 6 el pH de los cuatro tratamientos se estabilizó dentro de un rango estrecho, entre 6,3 y 6,9, con oscilaciones menores atribuibles al volteo y reacomodo de la pila más que a procesos bioquímicos activos. Al cierre de la semana 12 los valores convergieron entre 6,4 y 6,6 en los cuatro tratamientos, sin diferencias visualmente relevantes entre sustratos ni inóculos. Esta convergencia hacia la neutralidad coincide con el criterio de madurez descrito por Bernal et al. (2009), para quienes un pH estable y cercano a la neutralidad, junto con una relación carbono-nitrógeno decreciente, es señal de que la materia orgánica dejó de generar ácidos o amoníaco en exceso y alcanzó un equilibrio biológico. Cabe resaltar que la similitud final entre tratamientos no descarta diferencias en la velocidad con que cada uno llegó a ese punto: T3 mostró una trayectoria más plana desde etapas tempranas, mientras que T2 y T4 requirieron pasar por oscilaciones de mayor magnitud antes de estabilizarse.

Una prueba estadística formal, como el ANOVA factorial planteado en la metodología del estudio, permitiría confirmar si estas diferencias en amplitud y velocidad de estabilización son atribuibles al tipo de inóculo, al tipo de sustrato o a su interacción.

Interpretación de la evolución de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) durante el proceso de compostaje (semanas 0 a 12)

Se mantiene la misma codificación validada para la variable pH: T1 = a1b1 (estiércol de cuy + bacterias ácido-lácticas), T2 = a1b2 (estiércol de cuy + *Saccharomyces cerevisiae*), T3 = a2b1 (estiércol de cerdo + bacterias ácido-lácticas) y T4 = a2b2 (estiércol de cerdo + *Saccharomyces cerevisiae*).

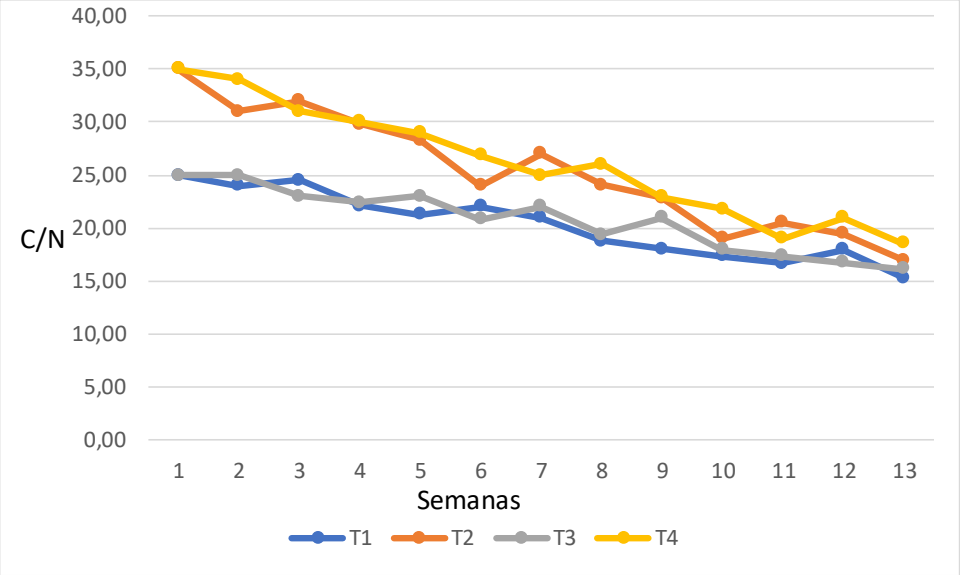
Tabla 41

Evolución de la relación C/N por tratamiento (semanas 0–12)

Semana/Tratamiento	T1	T2	T3	T4
0	25,00	35,00	25,00	35,00
1	24,00	31,00	25,00	34,00
2	24,50	32,00	23,05	31,00
3	22,13	29,83	22,41	30,00
4	21,25	28,28	23,00	29,00
5	22,00	24,00	20,83	26,90
6	21,00	27,00	22,00	25,00
7	18,81	24,10	19,36	26,00
8	18,06	22,84	21,00	22,97
9	17,34	19,00	18,00	21,79
10	16,65	20,53	17,35	19,00
11	18,00	19,47	16,73	21,00
12	15,35	17,00	16,13	18,60

Figura 4

Evolución de la relación C/N por semana



Los cuatro tratamientos partieron de relaciones carbono-nitrógeno distintas: 25:1 en T1 y T3, ambos con bacterias ácido-lácticas, y 35:1 en T2 y T4, ambos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae*, valores propios de la mezcla inicial de estiércol con material estructurante rico en carbono. A lo largo de las doce semanas la relación C/N descendió de manera sostenida en los cuatro tratamientos, con oscilaciones puntuales alrededor de las semanas 2, 6 y 11 que coinciden con los volteos de la pila, donde la incorporación de aire y la redistribución de material fresco pueden elevar momentáneamente el valor medido antes de que la mineralización continúe. Este descenso progresivo refleja la mineralización del carbono orgánico por parte de los microorganismos, que lo liberan como CO_2 durante la respiración, mientras el nitrógeno se conserva en mayor proporción dentro de la biomasa microbiana y de los compuestos húmicos en formación.

El comportamiento de los tratamientos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae*, T2 y T4, muestra el descenso más pronunciado: T2 pasó de 35:1 a 17:1, una reducción de 18 unidades equivalente al 51,4 por ciento, y T4 de 35:1 a 18,6:1, una reducción de 16,4 unidades equivalente al 46,9 por ciento. En contraste, T1 y T3, inoculados con bacterias ácido-lácticas, partieron de un valor inicial más bajo y

registraron una disminución absoluta menor, de 9,65 y 8,87 unidades respectivamente, aunque en términos relativos ambos se movieron dentro de un rango del 35 al 39 por ciento. Esta diferencia de magnitud, más que negar el efecto de las bacterias ácido-lácticas, puede explicarse por el punto de partida: los tratamientos con levadura tenían un excedente de carbono disponible mayor y, en consecuencia, un margen más amplio para mineralizar antes de acercarse al equilibrio microbiano.

La mayor velocidad de descenso observada en T2 y T4 es coherente con lo descrito por Yi et al. (2024), autor principal de esta discusión, quienes reportaron que la inoculación con *Saccharomyces cerevisiae* eleva la temperatura de la pila entre 4 y 14 grados centígrados y prolonga la fase termófila alrededor de tres días frente al testigo sin inocular. Una fase termófila más intensa y prolongada favorece la actividad de bacterias que degradan celulosa, hemicelulosa y otros compuestos carbonados de difícil acceso, lo que se traduce en una pérdida más rápida de carbono y en una caída más acelerada de la relación C/N. Los autores atribuyen este efecto al consumo temprano de los ácidos orgánicos por parte de la levadura, que despeja el camino para que las bacterias termófilas se multipliquen sin la inhibición que suele generar un pH ácido persistente; ese mecanismo, descrito originalmente para explicar la recuperación del pH, ofrece también una explicación plausible de por qué T2 y T4 mineralizaron el carbono con mayor rapidez que T1 y T3 en el presente ensayo.

Hacia la semana 12 los cuatro tratamientos alcanzaron valores por debajo de 20:1, con 15,35 en T1, 17 en T2, 16,13 en T3 y 18,6 en T4, umbral que, según Bernal et al. (2009), señala que el compost dejó de tener un exceso de carbono disponible y se aproxima a un estado de madurez agronómica. T1 y T3 llegaron a los valores más bajos del conjunto, lo que sugiere que, pese a un descenso menos pronunciado en términos absolutos, las bacterias ácido-lácticas condujeron el sustrato a un punto de estabilidad ligeramente más avanzado al cierre del ensayo. Cabe resaltar que alcanzar un valor de C/N inferior a 20:1 no equivale por sí solo a la madurez completa del compost, pues este criterio debe interpretarse junto con el pH, la temperatura y el índice de germinación registrados durante el mismo periodo, tal como contempla la metodología del estudio.

Interpretación de la evolución de la humedad (%) durante el proceso de compostaje (semanas 0 a 12)

Se mantiene la misma codificación validada para pH y C/N: T1 = a1b1 (estiércol de cuy + bacterias ácido-lácticas), T2 = a1b2 (estiércol de cuy + *Saccharomyces cerevisiae*), T3 = a2b1 (estiércol de cerdo + bacterias ácido-lácticas) y T4 = a2b2 (estiércol de cerdo + *Saccharomyces cerevisiae*). El rango óptimo de humedad definido en la metodología del estudio es de 50 a 65 por ciento.

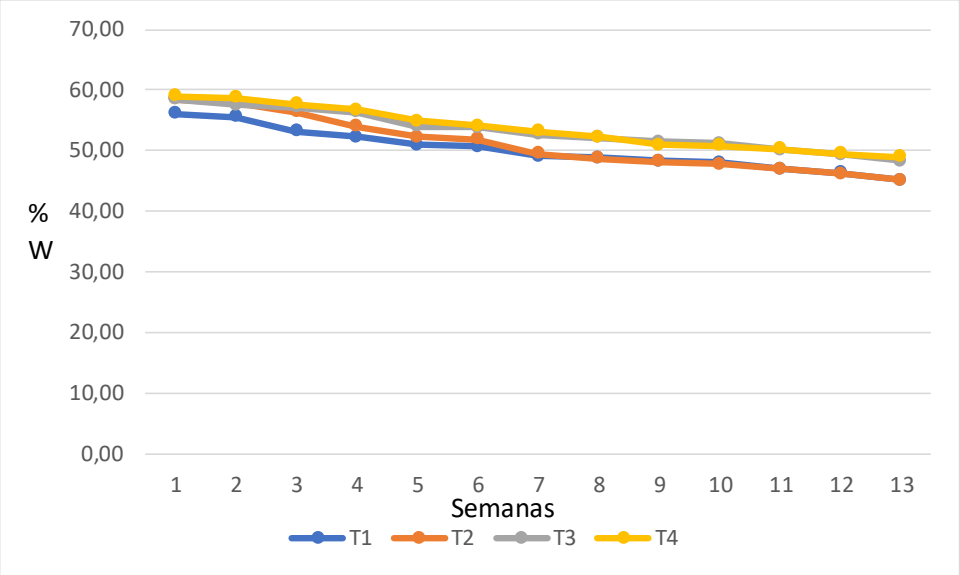
Tabla 42

Evolución de la humedad (%) por tratamiento (semanas 0–12)

Semana/Tratamiento	T1	T2	T3	T4
0	56,15	58,00	58,50	59,00
1	55,00	58,00	57,50	58,70
2	53,00	56,50	57,15	57,70
3	52,00	54,00	56,35	56,80
4	51,00	52,20	54,00	54,85
5	50,00	51,85	53,85	54,15
6	49,50	49,50	52,67	53,20
7	48,50	48,65	52,17	52,30
8	48,50	48,15	51,50	51,00
9	48,00	47,83	51,17	50,82
10	47,00	47,00	50,17	50,33
11	46,00	46,17	49,33	49,50
12	45,70	45,17	48,33	49,00

Figura 5

Evolución de la humedad por semana



Los cuatro tratamientos partieron de porcentajes de humedad cercanos al límite superior del rango operativo previsto en la metodología (50 a 65 por ciento), entre 56,15 en T1 y 59,00 en T4 durante la semana 0. A lo largo de las doce semanas la humedad descendió de forma continua y sin repuntes marcados en ningún tratamiento, un comportamiento distinto al observado en el pH y en la relación C/N, cuyas curvas mostraron picos y oscilaciones intermedias. Esta caída sostenida corresponde a la pérdida evaporativa de agua que acompaña la actividad microbiana: el calor liberado durante la degradación de la materia orgánica y el intercambio de aire generado en cada volteo de la pila favorecen la evaporación, mientras el consumo metabólico del agua libre por parte de los microorganismos reduce de manera progresiva la disponibilidad hídrica del sustrato.

Los tratamientos con estiércol de cuy, T1 y T2, terminaron el ensayo con el valor más bajo del conjunto, 45,17 por ciento en ambos casos, lo que representa una reducción de 19,6 y 22,8 por ciento respecto a su punto de partida. Los tratamientos con estiércol de cerdo, T3 y T4, cerraron en 48,33 y 49,00 por ciento, con reducciones de 17,4 y 16,9 por ciento. Esta diferencia sugiere que el tipo de sustrato, más que el inóculo, condicionó la capacidad de retención de agua de la pila, posiblemente debido

a la textura y a la proporción de material estructurante presente en cada mezcla. Dentro de cada par de sustratos, T2 registró la pérdida más rápida entre las semanas 0 y 4, con una caída de 6,3 puntos porcentuales frente a 5,15 en T1, 4,50 en T3 y 4,15 en T4.

Esa pérdida temprana más pronunciada en T2 es coherente con lo señalado por Yi et al. (2024), autor principal de esta discusión, quienes documentaron que la inoculación con *Saccharomyces cerevisiae* eleva la temperatura de la pila entre 4 y 14 grados centígrados durante los primeros días del proceso. Un incremento térmico de esa magnitud intensifica la evaporación superficial y acelera el secado del material, de manera que el efecto de la levadura sobre la temperatura reportado por los autores ofrece una explicación plausible del descenso más rápido de humedad registrado en T2 durante la fase inicial del presente ensayo. Hacia la mitad del periodo experimental esta diferencia se atenuó, y las curvas de los cuatro tratamientos convergieron hacia una tasa de pérdida más uniforme, coincidente con el paso hacia la fase de enfriamiento descrita en el marco teórico del estudio.

Al cierre de la semana 12 los cuatro tratamientos se ubicaron por debajo del límite inferior del rango óptimo de 50 a 65 por ciento establecido en la metodología, entre 45,17 y 49,00 por ciento. Bernal et al. (2009) señalan que, en el compostaje de estiércoles, la disminución sostenida de la humedad hacia valores moderados acompaña la estabilización de la materia orgánica y suele presentarse junto con la reducción del pH y de la relación C/N hacia sus respectivos puntos de equilibrio, tal como ocurrió en este ensayo. Cabe resaltar que valores de humedad demasiado bajos pueden limitar la actividad microbiana residual y ralentizar la maduración final, por lo que el riego de mantenimiento aplicado según el diseño experimental resulta relevante para sostener el proceso hasta alcanzar los criterios completos de madurez.

Análisis de beneficio/costo del mejor tratamiento (T1),

Alcance del análisis

Este análisis evalúa la relación beneficio/costo del mejor tratamiento (T1) a partir del presupuesto del proyecto (Tabla 11) y del desempeño de proceso observado en las cuatro variables físico-químicas ya interpretadas (pH, relación C/N, humedad y temperatura). Por decisión metodológica, no se incorpora el contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) ni de micronutrientes de la Tabla 7, de modo que el beneficio se expresa en términos de costo de producción y eficiencia del proceso, sin monetizar el valor nutricional del compost obtenido.

Selección del mejor tratamiento

T1 (estiércol de cuy + bacterias ácido-lácticas) es el tratamiento con mejor desempeño conjunto entre las cuatro variables físico-químicas analizadas. Es el único que superó el umbral de higienización de 55 °C (pico de 56,5 °C en la semana 5), alcanzó la relación C/N por debajo de 20:1 más temprano y de forma sostenida (desde la semana 7, frente a la semana 9 de T3, la semana 11 de T2 y la semana 12 de T4), cerró con la relación C/N más baja del ensayo (15,35) y mantuvo un pH final neutro y estable (6,6).

Tabla 43

Parámetros generales del estudio

Indicador	T1	T2	T3	T4
Pico de temperatura (°C) y semana	56,5 (sem. 5)	54,7 (sem. 5)	54,8 (sem. 5)	53,8 (sem. 4)
¿Supera el umbral de higienización de 55 °C?	Sí	No	No	No
Semana desde la cual la relación C/N se mantiene < 20:1	7	11	9	12
Relación C/N final (semana 12)	15,35	17	16,13	18,6
pH semana 12	6,6	6,6	6,4	6,6
Humedad semana 12 (%)	45,17	45,17	48,33	49

Costos asignados a T1

El anteproyecto no desagrega el presupuesto por tratamiento, de modo que se asume un reparto equitativo del costo total del proyecto entre las cuatro combinaciones factoriales (25 % cada una), en línea con el diseño balanceado de dos réplicas por tratamiento. Bajo ese supuesto, a T1 le corresponde un costo de USD 292,88 por las dos réplicas, equivalente a USD 146,44 por unidad experimental.

Tabla 44

Rubros asignados al proyecto

Rubro (Tabla 11 del anteproyecto)	Monto total (USD)	Asignado a T1 (25 %)
Materiales y equipos	230,00	57,50
Insumos (estiércoles, material estructurante, inóculos, fundas)	225,00	56,25
Servicios de laboratorio (C/N, P, K; pH y CE)	570,00	142,50
Materiales de oficina	40,00	10,00
Subtotal	1 065,00	266,25
Imprevistos (10 %)	106,50	26,63
Total asignado a T1 (dos réplicas)	1 171,50	292,88

Beneficios identificados

El planteamiento del problema del propio anteproyecto describe periodos de maduración convencionales de cuatro a seis meses, y el marco teórico cita antecedentes con procesos de compostaje de entre 84 y 210 días. T1 alcanzó los criterios de estabilización funcional (C/N < 20:1 sostenido) en 49 días, lo que representa entre 35 y 161 días de proceso evitados frente a ese rango, además de ser el único tratamiento que garantiza, según los datos de temperatura registrados, el cumplimiento del umbral de higienización sanitaria durante la fase termófila.

Tabla 45

Indicadores de beneficio

Indicador de beneficio	Valor
Rango de maduración del compostaje convencional citado en el anteproyecto	84 – 210 días
Tiempo de estabilización funcional de T1 (C/N < 20:1 sostenido, semana 7)	49 días
Días de proceso evitados frente al rango convencional	35 – 161 días
Reducción porcentual de tiempo frente al rango convencional	41,7 % – 76,7 %
Beneficio cualitativo adicional	Único tratamiento que alcanza el umbral de higienización (55 °C)
Días evitados por dólar asignado (costo por tratamiento, USD 292,88)	0,12 – 0,55 días/USD
Días evitados por dólar asignado (costo por unidad experimental, USD 146,44)	0,24 – 1,10 días/USD

Interpretación de la relación beneficio/costo

Expresado como un índice de eficiencia no monetario, cada dólar asignado a T1 se traduce en un ahorro estimado de entre 0,24 y 1,10 días de proceso por unidad experimental, dependiendo del extremo del rango convencional que se tome como referencia. Este resultado, sumado al cumplimiento del umbral de higienización que ningún otro tratamiento alcanzó, posiciona a T1 como la opción más eficiente dentro del diseño experimental evaluado, incluso antes de valorar económicamente su contenido nutricional.

Alcance no cubierto por este análisis

Al excluir deliberadamente el contenido de macro y micronutrientes, este análisis no cuantifica el beneficio económico por venta o sustitución de fertilizante químico. Si en una etapa posterior se desea incorporar esa dimensión, bastaría con añadir el valor de los macro y micronutrientes aportados por T1 frente al costo de fertilizantes comerciales equivalentes, usando los resultados de laboratorio de la Tabla 7. También se recomienda verificar, mediante un análisis microbiológico o el índice de germinación, que los tratamientos que no alcanzaron el umbral de 55 °C (T2, T3 y T4) cumplen igualmente con los criterios de inocuidad antes de descartarlos frente a T1.

Conclusiones

1. Los cinco sustratos evaluados presentan perfiles fisicoquímicos complementarios y ninguno por sí solo reúne las condiciones óptimas para iniciar el compostaje. Los residuos sólidos vegetales y el tamo de arroz aportan carbono estable y estructura física (sólidos volátiles de 80,15 % y 61,69 %; carbono fijo de 12,3 % y 15,52 %, respectivamente), el estiércol de cuy aporta la humedad requerida (71,12 %) aunque con una fracción orgánica ya parcialmente mineralizada, el estiércol de cerdo concentra el mayor nitrógeno elemental (3,84 %) pese a su humedad mínima (2,11 %), y la tierra actúa únicamente como agente estructurante y aporte mineral, dado su carbono orgánico casi nulo (3,73 %). Las relaciones C/N iniciales oscilan entre 10,02 (estiércol de cerdo) y 69,76 (tamo de arroz), lo que confirma que la mezcla de estos materiales es indispensable para alcanzar una relación C/N de arranque adecuada para el proceso.

2. El tipo de inóculo no generó diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, conductividad eléctrica, humedad, ceniza, materia volátil, carbono fijo y carbono total) a lo largo de las 12 semanas, siendo el sustrato el factor que determinó principalmente la velocidad de descomposición. No obstante, el inóculo sí influyó de manera relevante en la actividad microbiana y en la dinámica del proceso: las bacterias ácido-lácticas sostuvieron una densidad microbiana significativamente mayor durante la fase termófila (semana 6, $p<0,001$), y en el seguimiento por tratamiento la combinación de bacterias ácido-lácticas con estiércol de cuy (T1) fue la única en superar el umbral de higienización de 55 °C y la que alcanzó de forma más rápida y sostenida una relación C/N inferior a 20:1.

3. Los indicadores de madurez (relación C/N sostenida por debajo de 20:1, pH estabilizado cerca de la neutralidad y temperatura de retorno a valores ambientales) convergieron entre las semanas 9 y 12 en los cuatro tratamientos, aunque con tiempos de estabilización claramente distintos entre sí: T1 (cuy + bacterias ácido-lácticas) alcanzó la estabilización funcional en la semana 7 (49 días), seguido de T3 (cerdo + bacterias ácido-lácticas) en la semana 9, T2 (cuy + *Saccharomyces cerevisiae*) en la

semana 11 y T4 (cerdo + *Saccharomyces cerevisiae*) en la semana 12. Estos tiempos representan una reducción de entre 41,7 % y 76,7 % frente al rango de 84 a 210 días de maduración convencional citado en los antecedentes del estudio.

4. Bajo el análisis costo/beneficio realizado en función de la eficiencia del proceso (sin incorporar aún el valor de los macro y micronutrientes), el tratamiento T1 resultó el más eficiente, con un ahorro estimado de entre 0,24 y 1,10 días de proceso por dólar invertido frente al rango convencional, y siendo el único que garantiza el cumplimiento del umbral de higienización sanitaria. Sin embargo, este resultado es parcial respecto al objetivo planteado, ya que la valoración económica del contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes del producto final —necesaria para completar el análisis costo/beneficio— aún no ha sido incorporada.

Recomendaciones

1. Formular las mezclas de compostaje combinando siempre un material rico en nitrógeno y humedad (estiércol de cuy o de cerdo) con un material carbonado y seco (tamo de arroz o residuos vegetales), utilizando la tierra en proporciones mínimas y únicamente como agente inoculante-estructurante. Asimismo, caracterizar fisicoquímicamente cada nuevo lote de materia prima antes de formular un tratamiento, dado que la variabilidad reportada en la literatura consultada indica que estos parámetros pueden diferir de un lote a otro según el origen y manejo del material.

2. Priorizar el uso de bacterias ácido-lácticas como inóculo en futuros procesos de compostaje con estiércol de cuy, dado su desempeño superior en sostener la actividad microbiana durante la fase termófila y en acelerar la estabilización del sustrato. Complementar este hallazgo con un análisis microbiológico de patógenos y un índice de germinación en los tratamientos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* que no alcanzaron el umbral de 55 °C, con el fin de confirmar su inocuidad sanitaria antes de descartarlos como alternativa viable.

3. Adoptar el tiempo de estabilización de T1 (aproximadamente 7 semanas) como referencia para el diseño de futuros lotes de producción, sin dejar de monitorear el proceso hasta la semana 10 u 11 en los demás tratamientos para confirmar su estabilización completa. Incorporar además el índice de germinación como prueba confirmatoria de madurez en el punto en que cada tratamiento alcance la relación C/N objetivo, dado que este parámetro por sí solo no garantiza la ausencia de fitotoxicidad en el producto final.

4. Completar el análisis costo/beneficio incorporando el valor de los macro y micronutrientes de T1 obtenidos en laboratorio, comparándolo contra el costo de fertilizantes comerciales equivalentes en dosis de nutrientes. De esta manera, la relación beneficio/costo final reflejará tanto la eficiencia del proceso como el valor agronómico y económico real del compost obtenido, antes de emitir una recomendación de producción o comercialización a mayor escala.

Bibliografía

Ballet, N., & Durand, M. (2023). Yeast-based biofertilizers: Impacts on soil microbial communities, plant nutrition, and stress tolerance. *Applied Soil Ecology*.

Blackmore, I., Iannotti, L., Rivera, C., & Waters, W. (2021). Land degradation and the link to increased livelihood vulnerabilities among indigenous populations in the Andes of Ecuador. *Land Use Policy*, *107*, Artículo 105488. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105488

Banco Central del Ecuador. (2022). Información estadística mensual No. 2039. https://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp

Cariello, M., & Castañeda, L. (2020). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. SciELO.

García, J. (2024, 25 de enero). Compostaje industrial: Fases del proceso. Laboratorio de Biodegradabilidad y Compostabilidad (AIMPLAS). https://www.aimplas.es/blog/compostabilidad-industrial-fases-del-proceso-de-compostaje/

Gavilanes, I., Jara, J., Idrovo, J., & Moral, R. (2016). Windrow composting as horticultural waste management strategy – A case study in Ecuador. Waste Management, 48, 127–134. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.025

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2024. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2024/Boletin_tecnico_ESPAC_2024.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). FAO Terminology Portal. https://www.fao.org/faoterm

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021, 28 de septiembre). Compostar puede ayudarnos a reducir nuestro impacto en el planeta. ONU Medio Ambiente. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/compostar-puede-ayudarnos-reducir-nuestro-impacto-en-el-planeta

Raman, J., & Kim, J.-S. (2022). Aplicación de bacterias lácticas (BAL) en la agricultura sostenible: Ventajas y limitaciones. PMC, Article PMC9322495. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9322495/

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf

Safwat, M., & Matta, M. (2021). Environmental applications of effective microorganisms: A review of current knowledge and recommendations for future directions. Journal of Engineering and Applied Sciences, 68(1), Artículo 49. https://doi.org/10.1186/s44147-021-00049-1

Sembralia. (2021, 15 de marzo). Tipos de sustratos para el cultivo de plantas: Consejos y variedades para acertar con el sustrato. https://sembralia.com/blogs/blog/tipos-de-sustrato

Shalaby, M., & El-Nady, M. (2020). Application of Saccharomyces cerevisiae as a biocontrol agent and plant growth promoter in tomato plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 16(2), 5–12.

Suárez, C., & Garrido, N. (2021). Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.

Suministros Agrícolas Luque. (2020). ¿Qué es el sustrato de cultivo? https://www.suministrosagricolasluque.com/que-es-el-sustrato-de-cultivo/

Valverde, V., Gavilanes, I., & Idrovo, J. (2022). Characterization of agro-livestock wastes for composting in rural zones in Ecuador: The case of the Parish of San Andrés. Agronomy, 12(10), Artículo 2538. https://doi.org/10.3390/agronomy12102538

Yaghoubi, M., & Sabrina, S. (2024). Importance of lactic acid bacteria as an emerging group of plant growth-promoting rhizobacteria in sustainable agroecosystems. Applied Sciences, 14(5), Artículo 1798. https://doi.org/10.3390/app14051798

Aborisade, M. A., Long, H., Rong, H., Kumar, A., Cui, B., Oladeji, O. A., Okimiji, O. P., Oba, B. T., & Guo, D. (2026). Bio-based fertilizers from waste: Nutrient recovery, soil health, and circular economy impacts. Toxics, 14(1), Artículo 90. https://doi.org/10.3390/toxics14010090

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

Amery, F., Quataert, P., Vandaele, E., Smeets, H., Kristensen, H. L., Loades, K., Körner, I., & Willekens, K. (2026). Compost organic matter content varied five-fold and determined compost quality across 107 composts of the North Sea Region. Waste Management, 210, 115259. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115259

Barreda Del Carpio, J. E., Llerena-Pinto, A. M., & Alvarez-Lope, M. C. (2022). Co-digestión de tres tipos de estiércol (vaca, cuy y cerdo) para obtener biogás en el

sur del Perú. Revista de Investigaciones Altoandinas, 24(3), 163–172. https://doi.org/10.18271/ria.2022.457

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Cai, S., Ma, Y., Bao, Z., Yang, Z., Niu, X., Meng, Q., Qin, D., Wang, Y., Wan, J., & Guo, X. (2024). The impacts of the C/N ratio on hydrogen sulfide emission and microbial community characteristics during chicken manure composting with wheat straw. Agriculture, 14(6), Artículo 948. https://doi.org/10.3390/agriculture14060948

Castro-Hernández, F., Navarro-Flores, J. R., & Castro-Barquero, L. (2023). Adición de inóculos microbianos y condiciones optimizadas de elaboración en un compost comercial. Agronomía Costarricense, 47(2), 23–46. https://doi.org/10.15517/rac.v47i2.56130

Chang, Y.-T., Lee, C.-H., Hsieh, C.-Y., Chen, T.-C., & Jien, S.-H. (2023). Using fluorescence spectroscopy to assess compost maturity degree during composting. Agronomy, 13(7), Artículo 1870. https://doi.org/10.3390/agronomy13071870

Chen, Y., Gong, X., Xiong, X., Liu, G., Wang, Z., & Zhu, Y. (2025). Microbial community restructuring enhances composting efficiency: Synergistic roles of thermal cycling and fungal inoculants (Fomes lignosus and Penicillium glabrum) in metabolic adaptation. Microbial Biotechnology, 18(12), e70290. https://doi.org/10.1111/1751-7915.70290

Chopkova, V., Petkova, M., & Shilev, S. (2023). Uncovering bacterial diversity during mesophilic and thermophilic phases of biowaste composting through next-generation sequencing. Applied Sciences, 13(5), Artículo 3111. https://doi.org/10.3390/app13053111

Colobon Realpe, P. J., & Castro Landin, A. L. (2026). Elaboración y caracterización fisicoquímica de un compost agropecuario como alternativa sostenible para la fertilización de suelos tropicales en Esmeraldas, Ecuador. Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, 10(1), Artículo 1230. https://doi.org/10.61236/ciya.v10i1.1230

Córdova Procel, J., Vargas Guambo, B., Naranjo Vargas, E., & Vega Cortéz, P. (2022). Obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy. Perfiles, 1(28), 29–35. https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.181

Corrales Sillo, E. E., Luna Murillo, R. A., Carrión Benavides, C. D., Quinatoa Lozada, E. F., & Espinoza Coronel, A. L. (2024). Comparación de producción de compost con diferentes formulaciones de residuos de origen vegetal y pecuario. Ciencia y Tecnología, 17(2), 64–72. https://doi.org/10.18779/cyt.v17i2.803

Dalby, F., Hafner, S. D., Pacholski, A. S., & Hansen, M. N. (2024). Pig manure degradation and carbon emission: Measuring and modeling combined aerobic–anaerobic transformations. Journal of Environmental Quality, 53(3), 320–332. https://doi.org/10.1002/jeq2.20603

Devi, K. O., Devi, A. S., & Singh, A. P. (2025). Variation in physicochemical characteristics during co-composting of vegetable waste with animal manure using different composting techniques. Cleaner Waste Systems, 12, 100398. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100398

Du, H., Lu, C., Latif, M. Z., Du, J., Liu, Y., Li, H., & Ding, X. (2025). Thermophilic microbial agents promote the fermentation progression of spent mushroom compost and pig manure. Frontiers in Microbiology, 16, Artículo 1575397. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1575397

Finore, I., Feola, A., Russo, L., Cattaneo, A., Di Donato, P., Nicolaus, B., Poli, A., & Romano, I. (2023). Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: A review. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 10, Artículo 7. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00381-z

García, K., Torres, A., & Ramos, C. (2025). Cantidad de carbono y otras propiedades en suelos de páramo y agrícola en Cundinamarca. Entre Ciencia e Ingeniería, 19(37), 15–24. https://doi.org/10.31908/19098367.3161

Gaspar, S. S., Assis, L. L. R., Carvalho, C. A., Buttrós, V. H., Ferreira, G. M. R., Schwan, R. F., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Rigobelo, E. C., Castro, R. P., & Dória, J. (2022). Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter. Frontiers in Sustainable Food Systems, 6, Article 960196. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196

Ghasemzadeh, S., Sharifabad, M. M., Moghaddam, M. M., & Alikhani, H. A. (2022). Efficient lignocellulose degradation during rice straw composting with native effective microorganisms and chicken manure. Organic Agriculture, 12(3), 415–428. https://doi.org/10.1007/s13165-022-00397-z

Glushakova, A. M., & Kachalkin, A. V. (2023). Yeast community succession in cow dung composting process. Fungal Biology, 127(6), 1075–1083. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2023.06.001

Goldan, E., Nedeff, V., Barsan, N., Culea, M., Panainte-Lehadus, M., Mosnegutu, E., Tomozei, C., Chitimus, D., & Irimia, O. (2023). Assessment of manure compost used as soil amendment—A review. Processes, 11(4), Artículo 1167. https://doi.org/10.3390/pr11041167

Gutiérrez-González, L., Ojeda-Barrios, D., Ávila-Quezada, G., & Hernández-Rodríguez, A. (2024). Características cambiantes durante el compostaje y valores indicativos de calidad en el producto final. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 40(2), 467–484. https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-39CFLO40039

Hidalgo, D., Martín-Marroquín, J. M., Corona, F., & Verdugo, F. (2025). Waste-derived fertilizers: Conversion technologies, circular bioeconomy perspectives and agronomic value. Agronomy, 15(9), Artículo 2167. https://doi.org/10.3390/agronomy15092167

Hu, Y., Yuan, Y., Qi, S., Feng, S., Yin, J., Xin, Z., Zhao, H., Wang, X., & Cui, Z. (2026). Effects of exogenous inoculation on microbial community dynamics and maturation process in cattle manure composting. Microorganisms, 14(3), Artículo 629. https://doi.org/10.3390/microorganisms14030629

Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 201.207:2020 Fertilizantes. Compost para uso agrícola. Requisitos (1.ª ed.). INACAL.

Islam, M. R., Rahman, M. M., Islam, M. S., & Khan, M. A. (2023). Physico-chemical characterization of food wastes for potential soil application. Processes, 11(1), Artículo 250. https://doi.org/10.3390/pr11010250

Jiang, H., Zhang, Y., Cui, R., Ren, L., Zhang, M., & Wang, Y. (2023). Effects of two different proportions of microbial formulations on microbial communities in

kitchen waste composting. Microorganisms, 11(10), Artículo 2605. https://doi.org/10.3390/microorganisms11102605

Jiao, M., Ren, X., He, Y., Wang, J., Hu, C., & Zhang, Z. (2023). Humification improvement by optimizing particle size of bulking agent and relevant mechanisms during swine manure composting. Bioresource Technology, 367, Artículo 128191. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128191

Jiao, Z., Zhang, L., Zhang, A., Li, R., Zhang, K., Wu, Z., Kang, Z., Wei, Y., Zhang, L., Wang, Y., Shi, X., & Li, J. (2024). Mature compost enhanced the harmlessness level in co-composting swine manure and carcasses in large-scale silo reactors. Frontiers in Microbiology, 15, Artículo 1494332. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1494332

Kong, Y., Zhang, J., Yang, Y., Liu, Y., Zhang, L., Wang, G., Liu, G., Dang, R., Li, G., & Yuan, J. (2023). Determining the extraction conditions and phytotoxicity threshold for compost maturity evaluation using the seed germination index method. Waste Management, 171, 502–511. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.09.040

Lalthlansanga, C., Pottipati, S., Meesala, N. S., Mohanty, B., & Kalamdhad, A. S. (2023). Evaluating the potential of biodegradation of swine manure through rotary drum composting utilizing different bulking agents. Bioresource Technology, 388, Artículo 129751. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129751

Lee, J., Choi, H. S., Le, T. Y. L., & Hwang, S.-G. (2025). Temporal nutrient and microbial functional dynamics in a cattle manure composting system inoculated with Lactobacillus acidophilus. Applied Sciences, 15(24), Artículo 12969. https://doi.org/10.3390/app152412969

Li, D., Yuan, J., Ding, J., Wang, H., Shen, Y., & Li, G. (2022). Effects of carbon/nitrogen ratio and aeration rate on the sheep manure composting process and associated gaseous emissions. Journal of Environmental Management, 323, Artículo 116093. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116093

Li, H., Yang, Z., Zhang, C., Shang, W., Zhang, T., Chang, X., Wu, Z., & He, Y. (2024). Effect of microbial inoculum on composting efficiency in the composting process of spent mushroom substrate and chicken manure. Journal of Environmental Management, 353, Artículo 120145. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120145

Limón-Hernández, R. A., Morales-López, J., & Ramírez-García, A. (2026). Reactores optimizados para el compostaje de residuos orgánicos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 42(1), 12–25. https://doi.org/10.20937/rica.55682

Liu, S., Zhao, J., Feng, W.-L., Zhang, Z.-J., Gu, Y.-F., & Wang, Y.-P. (2024). Microbial community succession of cow manure and tobacco straw composting. Frontiers in Microbiomes, 3, Artículo 1301156. https://doi.org/10.3389/frmbi.2024.1301156

Llave-Ciprian, Y. J., Callasi-Choquepuma, S., & Vigo-Rivera, J. E. (2025). Aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de un sistema con colectores solares en condiciones altoandinas. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 41, 383–397. https://doi.org/10.20937/RICA.55119

Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: Current practices and potential improvements. Sustainability, 16(15), Artículo 6329. https://doi.org/10.3390/su16156329

Matiz-Villamil, A., Méndez-Carranza, K. J., Pascagaza-Pulido, A. F., Rendón-Rendón, T., Noriega-Noriega, J., & Pulido-Villamarín, A. (2023). Trends in the management of organic swine farm waste by composting: A systematic review. Heliyon, 9(8), Article e18208. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18208

Md Huzir, N., Ahmad Asmadi, A., Rosly, M. B., Tamunaidu, P., & Amin, A. N. R. (2026). Composting as a pathway for organic waste valorization: Substrate performance, process strategies, and quality benchmarks. Journal of Material Cycles and Waste Management, 28(2), 815–833. https://doi.org/10.1007/s10163-025-02460-9

Milon, A. R., Chang, S. W., & Ravindran, B. (2022). Biochar amended compost maturity evaluation using commercial vegetable crops seedlings through phytotoxicity germination bioassay. Journal of King Saud University – Science, 34(2), Artículo 101770. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101770

Mironov, V., Zhukov, V., Efremova, K., & Brinton, W. F. (2024). Enhancing aerobic composting of food waste by adding hydrolytically active microorganisms. Frontiers in Microbiology, 15, Artículo 1487165. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1487165

Murray-Núñez, R., Orozco-Benítez, G., Martínez-Orozco, S., Avila-Ramos, F., Bautista-Trujillo, G., Carmona-Gasca, C., & Martínez-González, S. (2023). Composición química del excremento entero, composta y lixiviado de la cama de Cuyes. Abanico Agroforestal, 5, Artículo e2022-12. https://doi.org/10.37114/abaagrof/2023.1

Nigussie, A., Dume, B., Ahmed, M., Mamuye, M., Ambaw, G., Berhiun, G., Biresaw, A., & Aticho, A. (2021). Effect of microbial inoculation on nutrient turnover

and lignocellulose degradation during composting: A meta-analysis. Waste Management, 125, 220–234. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.043

Nurin, A. Y., Tee, T. P., Chin, N. L., Zainudin, M. H. M., & Nayan, N. (2024). Optimization of watermelon waste as a bulking agent for sustainable co-composting of livestock manures using response surface methodology. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, Artículo 1368970. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1368970

Peng, N., Zhang, J., Hu, R., Liu, S., Fan, Y., Yang, H., Huang, J., Ding, J., Chen, R., Li, L., He, Z., & Wang, C. (2024). Hidden pathogen risk in mature compost: Low optimal growth temperature confers pathogen survival and activity during manure composting. Journal of Hazardous Materials, 480, Artículo 136230. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136230

Rizwan, H. M., Naveed, M., Sajid, M. S., Nazish, N., Younus, M., Raza, M., Maqbool, M., Khalil, M. H., Fouad, D., & Ataya, F. S. (2024). Enhancing agricultural sustainability through optimization of the slaughterhouse sludge compost for elimination of parasites and coliforms. Scientific Reports, 14, Artículo 23953. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75606-8

Shen, B., Zheng, X., Zheng, L., Yang, Y., Xiao, D., Sheng, Z., Wang, Y., & Ai, B. (2026). Beyond the C/N ratio: The critical role of carbon bioavailability in aerobic composting of agricultural waste. Clean Technologies, 8(2), Artículo 46. https://doi.org/10.3390/cleantechnol8020046

Song, L., Cai, C., Lin, C., Lv, Y., Liu, Y., Ye, X., Liu, M., & Dai, X. (2024). Enhanced lactic acid production from household food waste under hyperthermophilic conditions: Mechanisms and regulation. Waste Management, 178, 57–65. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.010

Sozubek, B., Yilmaz, E., & Akca, M. (2023). Impact of paper waste and earthworm on nutrient and heavy metal content of rice straw compost in the absence of manure. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 7(3), 512–521. https://doi.org/10.5281/zenodo.8298645

Tang, R., Liu, Y., Ma, R., Zhang, L., Li, Y., Li, G., Wang, D., Lin, J., Li, Q., & Yuan, J. (2023). Effect of moisture content, aeration rate, and C/N on maturity and gaseous emissions during kitchen waste rapid composting. Journal of Environmental Management, 326, Artículo 116662. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116662

Tola Garfias, D. N., Lopez Mamani, M. A., & Limachi Ledezma, I. M. (2024). Dinámica de propiedades físicas y químicas del proceso de compostaje con diferentes dosis de microorganismos eficientes. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 11(3), 60–71. https://doi.org/10.53287/oaht6256yt72p

US Composting Council. (2001). Field guide to compost use. http://www.mncompostingcouncil.org/uploads/1/5/6/0/15602762/fgcu.pdf

Yi, P., Li, Q., Zhou, X., Liang, R., Ding, X., Wu, M., Wang, K., Li, J., Wang, W., Lu, G., & Zhu, T. (2024). Inoculation of Saccharomyces cerevisiae for facilitating aerobic composting of acidified food waste. Environmental Science and Pollution Research, 31(43), 55507–55521. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34876-5

Yousra, M., Ahmed, S., & Hassan, R. (2025). Optimizing nutrient stoichiometry for enhanced carbon sequestration in agricultural soils. Scientific Reports, 15(1), Artículo 36498. https://doi.org/10.1038/s41598-025-23970-4

Zhang, B., Meng, D., Wang, X., Hu, J., Fan, J., Li, X., Yang, Z., He, W., Zhou, D., Cheng, Y., Li, J., Zou, J., & Liu, Z. (2025). Additive of cow dung weakened the influences of microbial interactions on nitrogen dynamic during composting of rice husks. Frontiers in Microbiology, 16, Artículo 1641502. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1641502

Zhou, Y., Xu, M., Wang, Y., & Chen, L. (2026). Qualitative assessment and interrelation of organic carbon transport and bioactivity characteristics during natural composting and vermicomposting: Various pig manure/straw pellets ratios. Fermentation, 12(2), Artículo 98. https://doi.org/10.3390/fermentation12020098

ANEXOS

Anexo 1

Mapa de la investigación



c. Cronograma de actividades.

Anexo 2

Cronograma de actividades

Actividad	Tiempo - Semana					
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Selección del tema	X					
Priorización del problema y entrega del tema al tutor	X					
Recopilación bibliográfica		X				
Elaboración del perfil del proyecto		X				
Investigación documental del marco teórico conceptual			X			
Desarrollo del planteamiento, objetivos			X			
Desarrollo de la hipótesis y operacionalización de las variables				X		
Elaboración de la metodología de la investigación: métodos, población y muestra					X	
Presentación y aprobación						X
Defensa del ante proyecto						X

Anexo 3

Presupuesto

Categoría	Detalle	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Materiales y Equipos	Palas, carretillas, termómetro de varilla	Varios	-	$150.00
	Machetes, balanzas, baldes, lector de microorganismos	Varios	-	$80.00
Insumos	Estiércoles (si aplica costo)	~1.5 m³	-	$50.00
	Material estructurante (aserrín/paja)	~0.5 m³	-	$30.00
	Inóculos microbianos	3 lotes	$40.00	$120.00
	Fundas para muestras, marcadores	Varios	-	$25.00
Servicios de Laboratorio	Análisis de C/N, P, K (externo)	20 muestras	$25.00	$500.00
	Análisis de pH y CE (reactivos)	-	-	$70.00
Materiales de Oficina	Impresiones, fotocopias, papelería	-	-	$40.00
Imprevistos	(10% del total)	-	-	$106.50
TOTAL, ESTIMADO				$1,171.50

Anexo 4

Evidencia fotográfica de la fase de campo



Elaboración del Biodigestor



Biodigestor Terminado



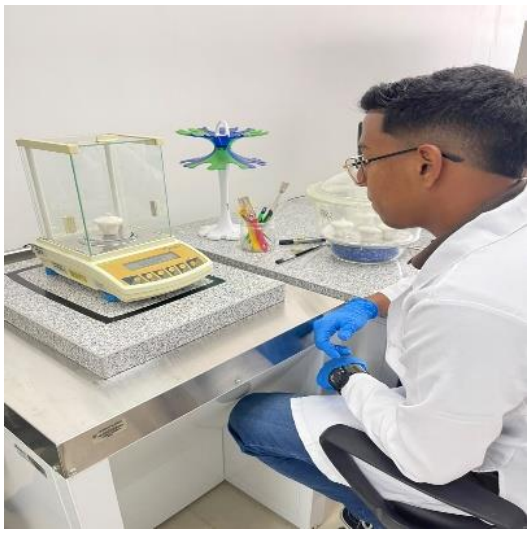
Picado y Mezclado



Llenado de composteras



Elaboración de análisis de humedad



Pesaje de muestra



Pesaje de reactivos



Preparación de frotis microbiológico



Fijación por calor



Micro pipeteó e inoculación



Tamizado y empacado

Anexo 5

Análisis Elemental Estiércol de cuy

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR | DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2026
		Pagina	Página 1 de 1

ºINFORME DE ENSAYOS Nº 531-2026

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Diego Alejandro Monserrate Vecilla - José Fernando Villegas Benalcazar
Muestra	Estiércol de Cuy
Código asignado UEB	INV 803
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 50 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas – Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	02 de marzo de 2026
Fecha de análisis	02 de marzo al 10 de junio de 2026
Fecha de informe	17 de junio de 2026
Técnico asignado	ECCR – MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Estiércol de Cuy Inv 803	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	71,12	73,06
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	79,86	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	8,56	—
	Carbono Fijo	%	Calculado	11,58	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1,62
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	33,43
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,87
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,19
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	20,65
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,70

Blga. Isabel Paredes Villena
Técnica Docente DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
Técnica de Laboratorio DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
REVISADO

Análisis elemental Residuos sólidos vegetales

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR | DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2026
		Pagina	Página 1 de 1

ºINFORME DE ENSAYOS Nº 530-2026

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Diego Alejandro Monserrate Vecilla - José Fernando Villegas Benalcazar
Muestra	Residuos solidos vegetales
Código asignado UEB	INV 802
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 50 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas – Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	02 de marzo de 2026
Fecha de análisis	02 de marzo al 10 de junio de 2026
Fecha de informe	17 de junio de 2026
Técnico asignado	ECCR – MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Residuos sólidos vegetales Inv 802	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	3,30	81,92
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	7,55	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	80,15	—
	Carbono Fijo	%	Calculado	12,30	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1,38
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	39,65
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	4,70
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,27
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	28,80
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	8,44

Blga. Isabel Paredes Villena
Técnica Docente DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
Técnica de Laboratorio DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
REVISADO

Análisis Elemental Estiércol de cerdo

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2026
		Pagina	Página 1 de 1

ºINFORME DE ENSAYOS Nº 532-2026

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Diego Alejandro Monserrate Vecilla - José Fernando Villegas Benalcazar
Muestra	Estiércol de cerdo
Código asignado UEB	INV 804
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 50 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas – Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	02 de marzo de 2026
Fecha de análisis	02 al 10 de junio de 2026
Fecha de informe	17 de junio de 2026
Técnico asignado	ECCR – MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Estiércol de cerdo Inv 804	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	2,11	85,77
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	94,15	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	38,68	—
	Carbono Fijo	%	Calculado	5,83	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	3,84
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	38,45
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	7,24
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,28
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	10,02
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,31

Bolga. Isabel Paredes Villena
Técnica Docente DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
Técnica de Laboratorio DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
REVISADO

Análisis elemental Tamo de arroz

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2026
		Pagina	Página 1 de 1

ºINFORME DE ENSAYOS Nº 533-2026

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Diego Alejandro Monserrate Vecilla - José Fernando Villegas Benalcazar
Muestra	Tamo de arroz
Código asignado UEB	INV 805
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 50 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas – Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	02 de marzo de 2026
Fecha de análisis	02 al 10 de junio de 2026
Fecha de informe	17 de junio de 2026
Técnico asignado	ECCR – MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Tamo de arroz Inv 805	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	0,98	7,92
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	22,79	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	61,69	—
	Carbono Fijo	%	Calculado	15,52	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,49
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	34,21
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,85
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,14
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	69,76
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,85

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
Técnica Docente DIVIUEB
ELABORADO

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
Técnica de Laboratorio DIVIUEB
ELABORADO

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
REVISADO

Análisis elemental Tierra negra

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2026
		Pagina	Página 1 de 1

ºINFORME DE ENSAYOS Nº 534-2026

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Diego Alejandro Monserrate Vecilla - José Fernando Villegas Benalcazar
Muestra	Tierra
Código asignado UEB	INV 806
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 50 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas – Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	02 de marzo de 2026
Fecha de análisis	02 al 10 de junio de 2026
Fecha de informe	17 de junio de 2026
Técnico asignado	ECCR – MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Tierra Inv 803	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	0,94	29,22
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	85,62	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	13,93	—
	Carbono Fijo	%	Calculado	0,45	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,33
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	3,73
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,76
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,09
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	11,34
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	4,91

Blga. Isabel Paredes Villena
Técnica Docente DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
Técnica de Laboratorio DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
REVISADO

Conteo de microorganismos

UEB UNIVERSIDAD BOLÍVAR | DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador. INFORME DE RESULTADOS	Código	BIOTEC-007
		Versión	1
		Año	2026
		Pagina	Página 1 de 2

Guaranda, 17 de junio del 2026

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Diego Alejandro Monserrate Vecilla - José Fernando Villegas Benalcázar
Muestras	Compost
Código asignado UEB	INV 1245-1252
Estado de la muestra	Solida
Envase de recepción	Envases estériles
Análisis requerido(s)	Conteo de UFC
Fecha de recepción	1 de junio del 2026
Fecha de análisis	1 de junio- 12 de junio del 2026
Fecha de informe	17 de junio del 2026
Técnico asignado	Santiago Santos

FECHA	CULTIVO	MUESTRA	# COLONIA	UFCL/G	TINCIÓN GRAM
29/05/2026	Nutrí agar	T1	67	$6.7\ X10^{-4}$	*Bacillus* (gram positivo)
29/05/2026	Nutrí agar	R1	55	$5.05\ X10^{-4}$	Streptobacillus (gram positivo)
29/05/2026	Nutrí agar	T2	76	$7.6\ X10^{-4}$	*Diplobacillus* (Gram positivo)
29/05/2026	Nutrí agar	R2	380	$3.8\ X10^{-3}$	*Streptobacillus* (gram negativo)
29/05/2026	Nutrí agar	T3	74	$7.4\ X10^{-3}$	*Coccobacillus* (Gram positivo)

29/05/2026	Nutrí agar	R3	114	$1.14\ X10^{-3}$	*Streptobacillus* *Diplobacillus* *Cocobacillus* (Gram positivo)
29/05/2026	Nutrí agar	T4	71	$7.1\ X10^{-4}$	*Streptobacillus* (Gram positivo)
29/05/2026	Nutrí agar	R4	250	$2.5\ X10^{-3}$	*Bacillus* (Gram positivo)

FECHA	CULTIVO	MUESTRAS	# COLONIA	UFC/G	TINCIÓN
29/05/2026	PDA	T1	105	$1.05\ X10^{-2}$	Células ovoides
29/05/2026	PDA	R1	88	$1.17\ X10^{-3}$	Células ovoides
29/05/2026	PDA	T2	117	$8.08\ X10^{-3}$	Células ovoides
29/05/2026	PDA	R2	35	$3.05\ X10^{-3}$	Células ovoides

Ing. Santiago Santos
Elaborado

Dr. Favian Bayas
Revisado

Anexo 6.

Glosario de términos técnicos

Bacterias ácido-lácticas (BAL): Conjunto de microorganismos que, durante el proceso del compostaje, fermentan los carbohidratos para generar ácido láctico. Su funcionamiento acidifica un poco el medio, suprime la proliferación de microorganismos patógenos y disminuye la pérdida de nitrógeno como amoníaco, manteniendo así el valor fertilizante del compost.

Compostaje: Fertilizante orgánico que se obtiene a través de la acción de microorganismos sobre materiales orgánicos, como estiércol o residuos vegetales, por descomposición bioquímica controlada. El producto final es de color oscuro, tiene un aroma a tierra, es estable y tiene un alto nivel de nutrientes.

Conductividad eléctrica (CE): Medición de la cantidad de sales solubles que existen en el compost. Dado que niveles altos pueden perjudicar el desarrollo de las plantas, es un indicador relevante de su madurez y calidad.

Etapa mesófila: Fase de inicio y término del compostaje, que sucede a temperaturas medias (de 20 °C a 45 °C), en la que los microorganismos mesófilos descomponen los elementos más sencillos de la materia orgánica.

Fase termófila: Fase del compostaje en la que la temperatura es mayor a 45 °C (lo ideal es que esté entre 55 °C y 65 °C), lo que permite eliminar semillas de malas hierbas, parásitos y patógenos para asegurar la inocuidad del compost.

Inóculo de microorganismos: Preparado biológico que tiene una concentración elevada de microorganismos particulares, como levaduras o bacterias. Se agrega a la pila de compost para hacer más rápido y mejorar el proceso de descomposición.

Lixiviados: Líquido que se produce cuando se escurre desde la pila de compost, transportando partículas orgánicas disueltas y nutrientes. Su gestión apropiada previene la polución de fuentes de agua y terrenos, así como la pérdida de nutrientes.

Madurez del compost: Estado final del compost en el que el material se ha estabilizado, tiene un color oscuro, una textura terrosa y un aroma agradable, y cuenta con parámetros fisicoquímicos (C/N, CE y pH) adecuados para su empleo agrícola sin consecuencias fitotóxicas.

Materia orgánica (MO): Grupo de compuestos derivados de seres vivos o en proceso de descomposición. En el abono o en la tierra, incrementa la estructura, la posibilidad de retener agua y la provisión de nutrientes fundamentales.

pH: Medida que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. En compostaje, su variación indica las fases del proceso y su valor final refleja la estabilidad y madurez del compost.

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): Proporción entre la cantidad de carbono (fuente de energía) y nitrógeno (síntesis proteica). Una relación inicial ideal de 25:1 a 30:1 favorece un compostaje equilibrado y eficiente.

Saccharomyces cerevisiae: Levadura empleada como inóculo microbiano que acelera la fase inicial del compostaje al consumir azúcares simples, generando calor y facilitando la transición rápida hacia la fase termófila.

Sustrato: Material base sobre el cual actúan los microorganismos. En esta investigación corresponde a la mezcla de estiércol porcino, de cuy, junto con materiales estructurantes como aserrín o rastrojo.