

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES PROCESOS DE ELABORACIÓN DE ABONOS  
ORGÁNICOS A PARTIR DE RESIDUOS DE MERCADO Y DEL RASTRO  
MUNICIPAL DE COMAYAGUA**

**POR:**

**TANIA MARIANA GALEANO PACHECO**

**TESIS**



**CATACAMAS, OLANCHO**

**HONDURAS C.A.**

**MARZO, 2026**

EVALUACIÓN DE DIFERENTES PROCESOS DE ELABORACIÓN DE ABONOS  
ORGÁNICOS A PARTIR DE RESIDUOS DE MERCADO Y DEL RASTRO  
MUNICIPAL DE COMAYAGUA

POR:

TANIA MARIANA GALEANO PACHECO

**OSCAR OVIDIO REDONDO FLORES, M.S.C.**

**Director de tesis**

TESIS PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO INVESTIGACIÓN

**CATACAMAS, OLANCHO**

**HONDURAS C.A**

**MARZO, 2026**

## DEDICATORIA

A **Dios**, por ser mi guía y mi fuerza, por sostenerme con su infinita Misericordia en los momentos más difíciles; por darme sabiduría, fortaleza y paciencia para perseverar y alcanzar mis objetivos.

A mí madre, **Tania Pacheco**, mi mayor ejemplo de amor, valentía y entrega, detrás de cada esfuerzo y cada meta alcanzada estuvo tu amor incondicional y tus oraciones, que me impulsaron a nunca rendirme.

A mi abuela, **Ondina Osorio**, por su amor incondicional, por sus cuidados, oraciones y su constante presencia.

A mis tíos **René Pacheco y Eliana Pacheco**, por su apoyo constante, su cariño, sus consejos y por enseñarme con su ejemplo que la familia se sostiene con amor y acciones sinceras.

A mis hermanos, **Olvin Galeano, Jasmín Pacheco y Sebastián Pacheco**, cada uno de ustedes representa motivación para esforzarme y demostrar que con determinación los sueños se alcanzan.

A mis sobrinos, **Isabella Galeano y Matthias Haro**, quienes llegaron como una Bendición para iluminar nuestras vidas, en ustedes encontré alegría, paz y un motivo puro para seguir adelante.

A mi pareja, **José Guerrero**, por ser mi apoyo constante, mi hombro en el cansancio y mi refugio en los momentos difíciles, acompañándome con amor y comprensión.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi profundo agradecimiento a **Dios**, por su guía, fortaleza y Misericordia en cada etapa de este proceso y por permitir que este proyecto se concretara.

A mi madre, **Tania Pacheco**, mi guía y ejemplo de vida, por su amor y entrega constante y por ser mi principal inspiración para perseverar.

A mi **querida familia**, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su acompañamiento que me permitió superar los momentos más difíciles y mantenerme firme en este camino.

A mi pareja, **José Guerrero**, por su acompañamiento constante, sus palabras de aliento, por ser un refugio de comprensión en los momentos de mayor exigencia.

A la familia **Guerrero Orellana**, por acogerme como parte de su hogar, brindándome apoyo, su calidez, su cariño y acompañándome en cada paso de este proceso.

A mis asesores, **M.S.c. Oscar Redondo, M.S.c. Josué Matute, M.S.c Carlos Irías**; por su orientación, sus consejos y su acompañamiento profesional.

A **Wendy Fonseca**, por sus oraciones constantes, que fortalecieron mi Espíritu y me dieron esperanza y serenidad durante todo el proceso.

A mis amigas, **Ángeles Carias, Yuliana Castillo, Jemssy Lara, Eva Quiñonez, Rita Osorio, Anahí Maradiaga**, por su constante apoyo, su cariño sincero, quienes se han quedado en mi corazón y han llenado este camino académico de calidez, fuerza y recuerdos valiosos.

## CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. OBJETIVOS.....	3
1.1.Objetivo general	3
1.2.Objetivos específicos	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1.Residuos sólidos orgánicos	4
2.1.1.Residuos solidos .....	4
2.1.2.Tipos de residuos solidos.....	4
2.2.Calidad del compost	5
2.3.Compost	6
2.4.Importancia	6
2.5.Compostaje	7
2.6.Tipos de compostaje	7
2.6.3.Compostaje en pilas .....	8
2.7.Fases del proceso de compostaje	9
2.7.1.Fase mesófila .....	9
2.7.2.Fase termófila o de higienización.....	9
2.7.3.Fase mesófila o fase de enfriamiento .....	10
2.7.4.Fase de maduración.....	10
2.8.Factores del proceso del compostaje	11
2.9.Residuos orgánicos utilizados	11
2.9.1.Residuos vegetales del mercado .....	11
2.9.2.Residuos del rastro municipal .....	12
2.9.3.Importancia de la proporción en la mezcla .....	12
2.10.Bocashi	13

2.10.1.Proceso de fermentación	<b>13</b>
2.11.Ventajas del Bocashi	<b>14</b>
2.12.Lombricompost	<b>14</b>
2.13.Tipos de Lombricompost	<b>15</b>
2.14.Condiciones necesarias	<b>16</b>
2.15.Beneficios del Lombricompost	<b>16</b>
III. MATERIALES Y METODOS .....	<b>18</b>
3.1.Descripción del área de estudio	<b>18</b>
3.1.1.Localización.....	<b>18</b>
3.2.Materiales y equipo	<b>19</b>
3.3.Método	<b>19</b>
3.3.1.Tipo de investigación.....	<b>19</b>
3.3.2.Procedimiento experimental .....	<b>20</b>
3.4.Procedimiento	<b>21</b>
3.4.1.FASE I. Recolección y preparación de materias primas .....	<b>21</b>
3.4.2.FASE II. Establecimiento de tratamientos .....	<b>21</b>
3.4.3.FASE III. Manejo y control del proceso .....	<b>21</b>
3.4.4.FASE IV. Muestreo y análisis del compost .....	<b>22</b>
3.4.5.FASE V. Evaluación de resultados .....	<b>22</b>
3.4.6.FASE VI. Análisis económico y conclusiones .....	<b>23</b>
3.5.Diseño experimental	<b>23</b>
3.5.1.Análisis de los datos .....	<b>23</b>
3.6.Pasos para la elaboración de los tratamientos evaluados	<b>24</b>
3.6.1.Cepas de microorganismos .....	<b>24</b>
3.6.2.Compost tradicional (T1) .....	<b>25</b>
3.6.3.Bocashi (T2) .....	<b>31</b>
3.6.4.Lombricompost (T3) .....	<b>37</b>
3.6.5.Compost + estiércol (T4).....	<b>42</b>
3.7.Enfoque de la investigación	<b>52</b>
3.7.1.Enfoque cuantitativo.....	<b>52</b>
3.8.Variables para evaluar	<b>53</b>

3.8.1.Variable dependiente .....	54
3.8.2.Variables independientes .....	55
3.8.3.Descripción de tratamientos evaluados .....	56
3.9.Composición química y relación C/N de los materiales utilizados por cada tratamiento. .....	<b>57</b>
3.10.Análisis estadístico.....	59
3.11.Análisis económico	<b>59</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
4.1.Caracterización fisicoquímica de materias primas.	<b>61</b>
4.2.Caracterización fisicoquímica de abonos orgánicos elaborados a partir de residuos del mercado y rastro municipal	<b>63</b>
4.2.1.Temperatura .....	63
4.2.2.Humedad .....	70
4.2.3.Ph 75	
4.3.Análisis Nutricional de los resultados obtenidos	<b>83</b>
4.4.Análisis costo – beneficio (Por Saco)	<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Etapas del compostaje tradicional con tiempos específicos Compost Tradicional	30
<b>Tabla 2.</b> Etapas del Bocashi con tiempos específicos Bocashi (T-2)	35
<b>Tabla 3.</b> Etapas del compostaje con tiempos específicos (T-4)	51
<b>Tabla 4</b> Descripción de tratamientos	57
<b>Tabla 5.</b> Composición química y relación C/N inicial de Compost Tradicional (T1)	57
<b>Tabla 6.</b> Composición química y relación C/N inicial de Bocashi (T2)	58
<b>Tabla 7.</b> Composición química y relación C/N inicial de Lombricompost (T3)	58
<b>Tabla 8.</b> Composición química y relación C/N inicial de Compost + Estiércol	59
<b>Tabla 9.</b> Matriz de caracterización de materias primas utilizadas para la elaboración de los abonos	62
<b>Tabla 10</b> Materiales y cantidades para la elaboración de abonos	81
<b>Tabla 11.</b> Matriz de caracterización de materias primas utilizadas para la elaboración de los abonos	82
<b>Tabla 12</b> Análisis nutricional de abonos elaborados a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua	83
<b>Tabla 13</b> Relación Beneficio – Costo (por saco) de los diferentes abonos elaborados a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua	86

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso del compostaje.....	10
<b>Figura 2.</b> Relación carbono / nitrógeno. ....	13
<b>Figura 3.</b> Mapa de la ubicación del Vivero Municipal, Comayagua, Comayagua. ....	18
<b>Figura 4.</b> Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 1 (Compostaje tradicional) elaborado con residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua. ..	64
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 2 (Bocashi) elaborado con residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.....	66
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 3 (Lombricompost) elaborado a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua. ....	68
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 4 (Compost + Estiércol) elaborado a partir de residuos del mercado y del rastro municipal. ....	69
<b>Figura 8.</b> Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 1 (Compost tradicional) a partir de residuos del rastro y del mercado municipal de Comayagua. ....	71
<b>Figura 9.</b> Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 2 (Bocashi) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.....	72
<b>Figura 10.</b> Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 3 (Lombricompost) a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua. ....	73
<b>Figura 11.</b> Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 4 (Compost + Estiércol) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.....	75
<b>Figura 12.</b> pH promedio diario (n=3): Tratamiento 1 (Compost Tradicional) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua. ....	76
<b>Figura 13.</b> pH promedio diario (n=3): Tratamiento 2 (Bocashi) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.....	77
<b>Figura 14.</b> pH promedio diario (n=3): Tratamiento 3 (T-3) a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua. ....	79
<b>Figura 15.</b> pH promedio diario (n=3): Tratamiento 3 (T-3) a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua. ....	80

## TABLA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Pasos para la elaboración de cepas de microorganismos.....	99
<b>Anexo 2</b> Pesado y recolección de las materias primas.....	100
<b>Anexo 3</b> Elaboración de los abonos. ....	102
<b>Anexo 4.</b> Análisis de abonos. ....	103

**Galeano Pacheco TG 2026.** Evaluación de diferentes procesos De Elaboración de abonos orgánicos a partir de residuos de mercado y del rastro municipal de Comayagua  
Informe final de investigación Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales, Catacamas, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 112 p.

## RESUMEN

Este estudio evaluó la calidad del compost producido a partir de residuos orgánicos del mercado y del rastro municipal de Comayagua, Honduras, utilizando tres métodos de transformación: compost tradicional, Bocashi, lombricompostaje y compost + estiércol. Se establecieron cuatro tratamientos experimentales con tres repeticiones cada uno, bajo un diseño completamente al Azar, monitoreando variables como temperatura, humedad, pH y relación carbono / nitrógeno (C/N). Los resultados mostraron que los tratamientos de compost tradicional y con mayor proporción de estiércol alcanzaron fases termófilas superiores a 55 °C, con máximos entre 64 °C y 75°C, asegurando higienización y degradación rápida de la materia orgánica; la humedad inicial 60 % disminuyó a 25-30% en los tratamientos termófilos, mientras que el lombricompost mantuvo valores entre 60-70 % característicos de procesos mesófilos estables; la relación C/N final varió entre 10:1 Y 15:1, indicando madurez en el compost. El análisis químico evidenció diferencias significativas en la concentración de nutrientes: el lombricompost presentó los valores más altos de nitrógeno (0.689%), fósforo (0.13%) y potasio (1.5%), mientras que el bocashi mostró buen contenido de K (0.9%) y el compost tradicional y compost + estiércol mostraron menor concentración de N y P. La materia orgánica varió entre 7% y 14.3 % y el pH se mantuvo ligeramente alcalino (7.41 – 7.77), adecuado para la aplicación agrícola. El análisis económico indicó que el bocashi presentó la mayor eficiencia costo – beneficio, debido a su menor tiempo de producción (2-4 semanas) y menor requerimiento de manejo; en cambio, el lombricompost, aunque estable biológicamente, implicó mayores costos por tiempo y manejo especializado. Este trabajo constituye un aporte local relevante para la gestión sostenible de residuos orgánicos.

**Palabras claves:** compostajes, residuos orgánicos, análisis químico, relación C/N, calidad del compost, análisis económico, manejo sostenible.

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores desafíos ambientales a nivel global, afectando particularmente regiones vulnerables como Honduras. En el caso de la región de Comayagua, los efectos de este fenómeno se han hecho cada vez más evidentes, impulsando la necesidad de buscar alternativas sostenibles, ya que continúa siendo uno de los mayores desafíos para la humanidad, con impactos cada vez más evidentes en todo el planeta y sus ecosistemas, economía y en la vida diaria de todos (Internacional Report, 2025), según ONU, 20221 cada año en todo el mundo se pierden o desperdician 1.300 millones de toneladas de alimentos, de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En la actualidad, el impacto climático de nuestra basura tiene más importancia de la que nos imaginamos. El sector de los residuos es uno de los tres principales emisores de metano, con alrededor del 20 % de las emisiones de metano provocadas por el hombre en todo el mundo. No obstante, en muchas regiones del país persiste una gestión deficiente de los residuos sólidos orgánicos, los cuales terminan acumulándose en botaderos a cielo abierto, generando impactos ambientales severos y desaprovechando un recurso con alto potencial. (Repsol, 2023).

Este trabajo de investigación se llevará a cabo con el fin de proponer una alternativa sostenible para el manejo de residuos sólidos orgánicos, problemática que contribuye a la contaminación ambiental y al cambio climático. A través del compostaje, es posible reducir el impacto de estos desechos y transformarlos en un recurso útil, se evaluará la calidad del compost generado a partir de diferentes proporciones de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua, como una estrategia técnica aplicable en la gestión ambiental de los recursos naturales.

## **II. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar diferentes procesos de elaboración de abonos a partir de residuos orgánicos provenientes del mercado municipal y el rastro de Comayagua, Honduras.

### **1.2. Objetivos específicos**

Caracterizar las materias primas utilizadas en los procesos de compostaje, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos iniciales como temperatura humedad y pH.

Analizar el comportamiento de los procesos de compostaje tradicional, bocashi y lombricompost mediante el monitoreo de variables clave: temperatura, humedad, pH y relación C/N.

Evaluar la calidad del producto final obtenido en cada proceso en términos de madurez, estabilidad y contenido de nutrientes.

Realizar un análisis económico comparativo de los procesos de compostaje tradicional, bocashi y lombricompost, considerando los costos involucrados y el valor agronómico de los productos obtenidos, con base en su contenido de nutrientes N, P, K principalmente.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Residuos sólidos orgánicos**

#### **2.1.1. Residuos solidos**

Bajo el enfoque de Castro, (2021), define que los residuos sólidos son materiales en estado sólido derivados de los procesos productivos y de consumo que en principio son desechados, pero que pueden ser reutilizados o reciclados. Se caracterizan por ser materiales que si no se disponen adecuadamente se transforman en contaminantes ambientales y es que el potencial contaminante de los residuos sólidos hace necesario que se gestionen de forma adecuada, lo que implica que se tenga en cuenta desde que se generan hasta que se desechan. En este contexto es clave el principio ecológico de las 3R, en términos de reducir, reutilizar y reciclar los residuos sólidos.

#### **2.1.2. Tipos de residuos solidos**

##### **2.1.2.1. Residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos, también conocidos como desechos orgánicos, son aquellos residuos que provienen de algún ser vivo, como las plantas, los animales o los mismos seres humanos. De esta forma, se consideran residuos orgánicos las cascarras de fruta, las heces, las cascarras de huevo, las pieles de animales, las vísceras, la carne, los pedazos de pan, vegetales, aserrín, astillas de madera, corchos, palillos de dientes, palos de helado, flores, hojas, hierba, hojarasca, servilletas sucias, pañales usados, la sangre y papel de cocina con comida, entre otros. Este tipo de residuos se suele clasificar en no peligrosos, como las heces y los alimentos; y peligrosos, como los residuos de procedimientos médicos (Enciclopedia Online, 2019).

### **2.1.2.2. Residuos Inorgánicos**

Los residuos inorgánicos son todos aquellos que no tienen un origen biológico (no son orgánicos), son de carácter industrial, es decir provienen de la manufacturación. Tras la adecuada separación de estos puedes entregarlos a un centro de acopio o si piensas en ayudar a la gente que vive del reciclaje puedes entregarlo al gestor de base, ellos te lo agradecerán mucho (Tito, 2021).

## **2.2. Calidad del compost**

INTERNACO, (2024), menciona que la calidad está condicionada por varios elementos que actúan como indicadores. Estos te revelan si el compost está en buen estado o si sus características son las esperadas. Por regla general, con una revisión visual podrás diferenciar uno en malas condiciones de otro que está perfecto.

Por otro lado, Soliva & Lopez, (2004). Mencionan el concepto de calidad es difícil de definir ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos y además, puede ser siempre muy subjetivo, siempre debería considerarse la calidad del compost a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato, además indicaron que el conjunto de propiedades y características física, química y biológica determina calidad de compost, según se menciona a continuación:

- Calidad física: capacidad en que se retiene agua, granulometría, olor, humedad, extrañas partículas.
- Calidad química, donde se tiene tres vertientes: contenido y velocidad de mineralización del nutriente vegetal con presencia de contaminantes orgánicos, contenido y estabilidad de materia orgánica.

- Calidad biológica: presencia de patógeno primario, así como secundario y semilla además de hierba.

### **2.3. Compost**

Blanco, (2017), menciona que el compost se ha convertido en una práctica muy popular dentro del reciclaje y los procesos de ayuda al medioambiente. Al igual que todas las prácticas de reciclaje, el fin de reutilizar materiales desechados, es convertirlos en algo útil. Por otra parte, el enfoque de Concepto.es, (2025) define que el compost es un material orgánico que se crea a través del proceso de descomposición de materiales biodegradables, como restos de alimentos, hojas, ramas y otros residuos orgánicos. Este proceso se lleva a cabo de forma natural en la naturaleza, pero también puede ser controlado y acelerado a través del compostaje, el compost es una forma sostenible de manejar los residuos orgánicos, ya que reduce la cantidad de desechos que terminan en rellenos sanitarios.

### **2.4. Importancia**

Según Gutiérrez, (2022), el compost ajeno es sólo útil como fertilizante para las plantas: también es una alternativa sostenible de gestión de los residuos, por lo que mucha gente, comprometida con el medio ambiente, ha apostado por fabricarlo en casa para reutilizar el desperdicio alimentario.

Además de como fertilizante, el compost tiene muchas otras utilidades y beneficios para el medio ambiente, como, por ejemplo:

- I. Menos contaminación.
- II. Bueno para los lagos y manantiales de la zona.
- III. Océanos más limpios.
- IV. Previene la erosión del suelo.
- V. Funciona como insecticidas.
- VI. Beneficia a los acuíferos locales.

## VII. Ahorra dinero.

### **2.5. Compostaje**

El compostaje se ha convertido en una de las prácticas más eficaces y sostenibles para reducir el impacto ambiental y gestionar los residuos orgánicos. Este proceso, que a veces también se denomina con la voz inglesa *composting*, no solo beneficia al medioambiente, sino que también fomenta la economía circular, una estrategia clave para el desarrollo sostenible; según la Universidad Europea, (2025), el compost es un fertilizante orgánico y natural obtenido mediante la descomposición de materia orgánica procedente de restos vegetales o comida entre otros. El resultado final es un producto similar a la tierra, y su función principal es enriquecer el suelo, mejorando su estructura para retener agua y nutrientes. Es así como se promueve el crecimiento vegetal de una forma más saludable en la agricultura, jardinería o huertos.

Por otro lado, Fernandez Marin, (2024), el compostaje es una herramienta poderosa para la conservación del medio ambiente y la promoción de la agricultura sostenible. Al transformar los residuos orgánicos en compost, se cierra el ciclo de materia orgánica y se evita que estos desechos terminen emitiendo gases de efecto invernadero en los vertederos. De esta manera, el compostaje contribuye a la lucha contra el cambio climático y a la preservación de la biodiversidad.

### **2.6. Tipos de compostaje**

#### **2.6.1. Compostaje aeróbico**

Según Spiegato, (2025), define compostaje aeróbico como la creación de abono fertilizante que se basa en bacterias que prosperan en un ambiente rico en oxígeno. Es diferente del compostaje anaeróbico, que se basa en bacterias que no pueden prosperar en presencia de oxígeno. Por regla general, el compostaje aeróbico se considera el método de compostaje más rápido y presenta algunas ventajas a la hora de crear un compost especialmente

adecuado. Se sabe que el compostaje anaeróbico funciona mucho más lentamente, pero también requiere menos trabajo, por lo que algunas personas lo prefieren.

Además, Compost y Reciclaje, (2025), menciona que este método sostenible no solo reduce la cantidad de residuos orgánicos enviados a los vertederos, sino que también contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero, ayudando a mitigar el cambio climático.

### **2.6.2. Compostaje anaeróbico**

recogidaselectiva, (2025), Menciona que el compostaje anaeróbico es una técnica de tratamiento de residuos orgánicos que se basa en la acción de microorganismos que actúan en ausencia de oxígeno. A diferencia del compostaje aeróbico, que se realiza en condiciones de aireación, el compostaje anaeróbico se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. En estas condiciones, los microorganismos utilizan otros compuestos como fuente de energía y se produce una serie de reacciones químicas que dan lugar a la descomposición de la materia orgánica.

### **2.6.3. Compostaje en pilas**

El compostaje en pila es la técnica que consiste en transformar desechos orgánicos en compost mediante un proceso de descomposición natural. Este proceso se acelera gracias a la acción de microorganismos y bacterias presentes en el medio ambiente, lo que permite que los materiales se descompongan rápidamente y se conviertan en un abono natural y nutritivo para la tierra Romero, (2025).

### **2.6.4. Vermicompostaje**

Díaz Pérez, (2025) en su definición más básica es un sistema biológico donde las lombrices (principalmente *Eisenia fetida* y *Perionyx excavatus*) descomponen material orgánico, como restos de comida, hojas secas y papel, para producir vermicomposta. A diferencia del compostaje tradicional que depende principalmente de microorganismos, el

vermicompostaje acelera el proceso gracias a la acción de las lombrices que ingieren los residuos, los trituran y los mezclan con sus desechos, creando un abono excepcionalmente rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos. El proceso genera calor, pero en menor medida que el compostaje tradicional, lo que lo hace más adecuado para climas cálidos.

## **2.7. Fases del proceso de compostaje**

El proceso de compostaje ocurre solo en condiciones controladas. Dependiendo de la temperatura del compost se pueden encontrar 4 etapas:

### **2.7.1. Fase mesófila**

La primera etapa del compostaje dura entre 2 y 8 días y en ella las bacterias mesófilas (que viven a temperaturas medias) empiezan a descomponer los compuestos más sencillos para crecer. La temperatura del montón de compost puede ascender hasta los 45 C durante los últimos días. Si la humedad es demasiado baja, se ralentizará el proceso, mientras que, si es demasiado alta, la materia orgánica se pudrirá en lugar de descomponerse (y desprenderá malos olores). El pH del compost en este punto es ácido, entre 4 y 4,5 Contreras, (2022).

### **2.7.2. Fase termófila o de higienización**

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina, estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores, esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye

bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp* Portal fruticola, (2017).

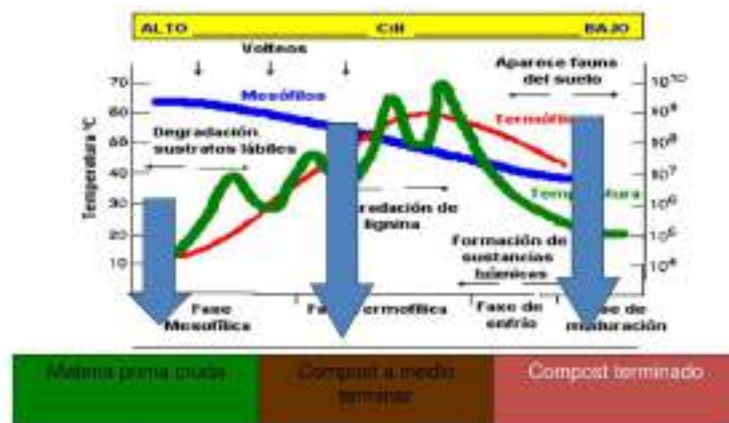
### 2.7.3. Fase mesófila o fase de enfriamiento

Después de la fase termófila, vuelve a bajar la temperatura. En ese momento, debemos decidir si volteamos la mezcla para homogeneizarla y volver a elevar la temperatura o dejar que esta vaya bajando”, explica Neus Vinyals. En esta fase, más cercana a la temperatura ambiente, continúa la descomposición y los organismos mesófilos se reactivan BBVA, (2024).

### 2.7.4. Fase de maduración

Esta es la fase que dura más tiempo, que puede alargarse meses. En ella se vuelven a polimerizar algunos compuestos que serán beneficiosos para las plantas, se perderá el exceso de temperatura y humedad (condensación), una vez llegados a este punto, el compost ya está listo para mezclar con la tierra donde se vaya a cultivar para mejorar el crecimiento de las plantas (Contreras, 2022).

En la **Figura 1** se observan las fases del compostaje.



**Figura 1.** Proceso del compostaje.

## **2.8. Factores del proceso del compostaje**

La eficiencia del compostaje como tratamiento de residuos orgánicos depende en gran medida del control del proceso. Éste requiere de unas condiciones apropiadas de tamaño de partícula de los sustratos, equilibrio de nutrientes, pH, aireación, temperatura, humedad y relación COT/NT, todas ellas relacionadas con las condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad biológica siendo responsable de las transformaciones que tienen lugar durante el proceso. Las características de los materiales de partida son el primer requerimiento para un correcto manejo del proceso y para la obtención de un producto final de calidad, de tal forma que estas características determinarán en gran medida tanto la dinámica del proceso en consecuencia el resultado final del mismo (Tortosa, 2013).

## **2.9. Residuos orgánicos utilizados**

### **2.9.1. Residuos vegetales del mercado**

Según Mojica, Perez, & Sanchez, (2025), la generación de residuos de biomasa, como los residuos vegetales, es una de las problemáticas ambientales de mayor impacto y las estrategias de aprovechamiento de estos con frecuencia están enfocadas a la obtención de productos como bioabonos, compostaje o comida para animales.

Además, FEMASE, (2024), Menciona que los mercados de abastos, al ser centros de actividad donde se concentra la compra y venta de productos frescos, generan una cantidad significativa de residuos, que van desde restos de alimentos hasta envases y materiales de embalaje. La gestión adecuada de estos residuos es crucial para minimizar su impacto ambiental y promover prácticas más sostenibles en estos espacios. Sin embargo, esta tarea no está exenta de desafíos, que van desde la falta de infraestructura adecuada hasta la necesidad de concienciar a los actores involucrados, la gestión de residuos en los mercados de abastos presenta varios retos, pero también ofrece oportunidades para implementar soluciones innovadoras y promover prácticas más sostenibles. Con un enfoque integral que involucre a todos los actores implicados, es posible mejorar significativamente la gestión de residuos en estos espacios y contribuir a la construcción de un futuro más limpio y sostenible.

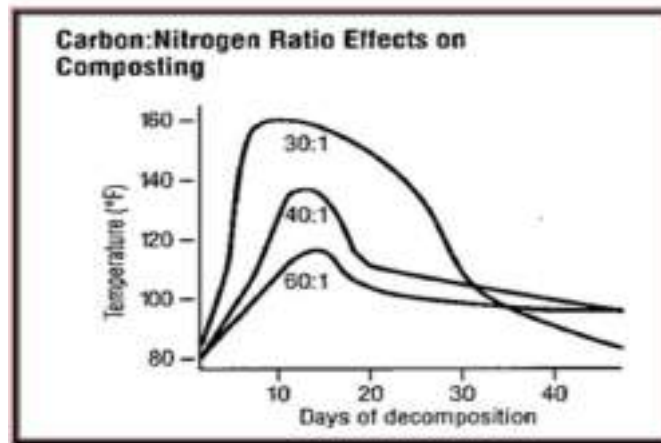
### **2.9.2. Residuos del rastro municipal**

Según Bonilla Padilla, (2007), los rastros y mataderos municipales tienen un gran impacto ambiental negativo en la mayoría de las localidades donde se asientan. Los residuos sólidos y líquidos son dispuestos de forma errónea e insalubre en el drenaje y los cuerpos de agua. Actualmente, la disposición final de los residuos en estos establecimientos tiene un impacto adverso en la biodiversidad local y en el agua con consecuencias directas e indirectas en la salud pública. Los residuos de los rastros no son basura de la cual debemos deshacernos rápidamente, sino que son recursos que pueden tener un uso y aprovechamiento. Para lograr esto último es indispensable, primeramente, recuperar y separar los residuos de manera integral para poder manejarlos de la manera más adecuada y fácil. Lo más importante es evitar al máximo la disposición de residuos en el drenaje o cuerpos de agua ya que el tratamiento posterior resulta muy costoso y se aumentan los riesgos a la salud de la población.

### **2.9.3. Importancia de la proporción en la mezcla**

La proporción adecuada en la mezcla de residuos orgánicos es fundamental para el éxito del proceso de compostaje. Una mezcla equilibrada garantiza condiciones óptimas para la actividad microbiana, facilitando la descomposición eficiente de la materia orgánica y la producción de compost de alta calidad, uno de los aspectos clave es la relación carbono/nitrógeno (C/N), que influye directamente en la velocidad y eficacia del compostaje. Una proporción equilibrada de materiales ricos en carbono (como restos vegetales secos) y nitrógeno (como residuos de cocina o estiércol) es esencial para mantener una actividad microbiana saludable y evitar problemas como malos olores o una descomposición incompleta.

Además, factores como la humedad y la aireación también dependen de la correcta proporción de los materiales en la mezcla (**Figura 2**).



**Figura 2.** Relación carbono / nitrógeno.

Por ejemplo, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, las mezclas suelen realizarse con una proporción en volumen de restos vegetales que puede estar entre el 25% y el 60%, dependiendo del tipo de residuos y el sistema de compostaje utilizado (Gobierno de España, 2025).

## 2.10. Bocashi

El Bocashi es un abono orgánico obtenido de la descomposición de residuos vegetales y animales en presencia de oxígeno utilizando ciertos materiales que aceleran el proceso, este tipo de abono aporta una amplia gama de nutrientes esenciales que favorecen el desarrollo y crecimiento de los cultivos, al igual que el compost, su efecto es progresivo y acumulativo ya que mejora gradualmente la fertilidad del suelo e incrementa su capacidad para retener humedad y promueve plantas más saludables y productivas (PortalFruticola, 2018)

### 2.10.1. Proceso de fermentación

El Bocashi es un proceso de tipo fermentación anaeróbica, sin la presencia de oxígeno, que suele estar compuesto por una mezcla hecha de salvado de cereales que contiene microorganismos eficaces (EM), la mayoría de las veces EM-1, también llamado «iniciador Bocashi» o iniciador/activador Bocashi, que se mezcla directamente con sus residuos alimenticios y los transforma en abono orgánico, para obtener finalmente un rico suelo «vivo», donde se activan todos los mecanismos naturales para proporcionar todos los

recursos necesarios para un buen equilibrio, así como una buena nutrición y protección de sus plantas.

Es gracias a la acción sinérgica de todos los elementos de la vida microbiana del suelo que obtenemos la optimización de la «vida» de nuestra tierra. Desempeña un papel fabuloso como catalizador entre los diferentes hidratos de carbono, aminoácidos, ácidos orgánicos y también gracias a una alta actividad enzimática, que finalmente constituye una vida biológica armoniosa.

### **2.11. Ventajas del Bocashi**

El Bocashi ofrece numerosas ventajas en comparación con el compost tradicional, destacando especialmente por el corto tiempo que requiere su elaboración, mientras que el compost convencional necesita alrededor de 90 días para estar listo, el bocashi puede utilizarse tras solo dos semanas de fermentación.

Además, su fórmula no solo evita la atracción de insectos no deseados, sino que incluso actúa como repelente natural para muchos de ellos, este abono también favorece el desarrollo de microorganismos benéficos en el suelo, lo que brinda una protección adicional a las plantas, a diferencia de otros métodos, no genera malos olores y contribuye significativamente la calidad del suelo al incorporar materia orgánica y abundantes nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal (Acosta, 2024).

### **2.12. Lombricompost**

El humus de lombriz es una forma de materia orgánica en descomposición presente en el suelo, originada a partir de restos vegetales, animales muertos y los excrementos de lombrices, durante las primeras etapas del proceso de descomposición, elementos como el carbono, hidrogeno, oxígeno, metano y amoniaco, sin embargo, los compuestos más resistentes degradan de forma más lenta, permaneciendo en el suelo como humus y enriqueciendo su estructura y fertilidad, una de las especies más usadas para producir

lombricomposta es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Esta especie posee una serie de características que la hacen ideal para tal actividad. (Gimeno, 2012).

### **2.13. Tipos de Lombricompost**

Según Lifeder, 2025, menciona los dos diferentes tipos de lombricompost:

#### **De baja escala**

Es considerada una lombricomposta artesanal o casera. Emplea pequeños contenedores hechos en casa, comerciales o adaptados, elaborados de materiales como madera o plástico, y rara vez con metal. A estos contenedores se les hacen orificios para una óptima aireación.

#### **De alta escala**

El método a gran escala, semi o industrial, tiene diferentes objetivos económicos. Principalmente, es empleado para producir lombricomposta para ser comercializada a granjas de pequeñas, medianas o grandes industrias.

Se conocen al menos dos métodos de lombricomposta a gran escala:

– El método de hilera: consiste en suministrarle los materiales necesarios para que las lombrices vivan en grandes espacios en forma de hileras llamados camas.

–El método de flujo continuo: las lombrices de tierra son agregadas inicialmente en la cama. Posteriormente, se les agrega la alimentación y más camas a manera de paneles de forma continua y a ciertos intervalos, mientras que el material producido es recolectado continuamente.

## **2.14. Condiciones necesarias**

- II. Mantener una humedad del 70-80%.
- III. Evitar la exposición directa al sol y proteger de lluvias intensas.
- IV. Realizar volteos suaves cada 15 días para asegurar una aireación adecuada (ANACAFE GUATEMALA, 2025).

## **2.15. Beneficios del Lombricompost**

Bajo el enfoque de Lifeder, 2025, define que Los beneficios de la producción de lombricomposta son muy numerosos, van más allá de los meramente económicos, pudiendo también ser de tipo biológico, y hasta de tipo ambiental.

### **Mejora de suelos**

Desde el punto de vista biológico, la lombricomposta mejora la calidad de los suelos. Mejora la aireación, aumenta la biota microbiana benéfica y aumenta la capacidad de retención de agua.

### **Fitohormonas**

Adicionalmente, provee a las plantas de fitohormonas, sustancias que promueven el desarrollo y crecimiento de estas.

### **Disminuye la contaminación**

En lo económico, reduce el volumen de residuos orgánicos depositados en los vertederos. Disminuye la contaminación por materiales orgánicos biodegradables, ahorrándole a la administración pública cantidades cuantiosas del presupuesto.

### **Recuperación de suelos**

Desde el punto de vista ambiental, la lombricomposta es ampliamente utilizada para recuperar suelos con fines de repoblación de árboles, tanto en áreas urbanas como en otras zonas

También disminuye los requerimientos de fertilizantes químicos que pueden ser altamente contaminantes. Es un elemento importantísimo para mantener la calidad de los suelos, el desarrollo de bosques y de jardines urbanos que actúan como pulmones de las grandes ciudades.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

##### 3.1.1. Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Vivero Municipal de Comayagua, Honduras (**Figura 3**).

Comayagua se ubica en un valle de clima tropical de sabana, caracterizado por una temperatura media anual entre 28 °C y 30 °C, y una temporada de lluvias concentrada entre mayo y octubre, con una precipitación promedio anual de 929 mm y la humedad relativa oscila en un rango de 65.51 % y 87.69 %.



**Figura 3.** Mapa de la ubicación del Vivero Municipal, Comayagua, Comayagua.

## **3.2. Materiales y equipo**

### **3.2.1. Materiales o insumos**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- a. Residuos orgánicos del mercado municipal (ejemplo. Hoja de repollo, hojas de lechuga, cascara de zanahoria, tomate) y del rastro municipal (estiércol de bovino), además de materiales estructurantes como hojas secas y césped para regular la humedad y la relación carbono/nitrógeno.
- b. Materiales de campo: como libreta de apuntes, etiquetas, bolsas para muestras y balanza, se utilizaron para el registro y manejo de datos.
- c. Equipo: palas, carretilla, cubetas, lona plástica (para cubrir las pilas), guantes de protección, zaranda, medidor 4 en 1 (con el cual medimos las variables pH, humedad y temperatura) se empleó durante el proceso experimental.

## **3.3. Método**

### **3.3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue experimental, este consistió en que es el tipo de investigación científica que obtuvo datos a través de la experimentación, para luego cotejar tales datos con variables a fin de determinar las relaciones de causa y efecto en los fenómenos estudiados, las variables estuvieron sujetas a manipulación según los objetivos del estudio Compostaje, (2024).

### **3.3.2. Procedimiento experimental**

#### **3.3.2.1. Compostaje**

El proceso del compostaje implicó reunir materiales orgánicos, combinarlos en proporciones adecuadas, mantener una adecuada aireación y humedad, y permitir que los microorganismos descompongan los residuos. Este proceso puede variar en duración, pero con los cuidados adecuados, el compost estuvo listo para ser utilizado en el jardín en unas pocas semanas a meses *jardinesolutions, (2025)*.

#### **3.3.2.2. Bocashi**

La composta tipo bocashi se distingue del compostaje tradicional por su proceso de fermentación anaeróbica. Mientras que el compostaje tradicional involucra la descomposición aeróbica de materia orgánica por microorganismos en presencia de oxígeno, el bocashi se lleva a cabo en un ambiente sin oxígeno. Esto resulta en la fermentación de los materiales orgánicos en lugar de su descomposición, preservando una mayor cantidad de nutrientes y minimizando la producción de olores. Por lo tanto, el resultado es un abono orgánico con características únicas, altamente rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos *Díaz Pérez, (2025)*.

#### **3.3.2.3. Lombricompost**

Lombricultura fue una técnica que consistió en criar y aprovechar los desechos orgánicos a través de las lombrices rojas californianas, para elaborar lombricomposta, se requirió un contenedor ventilado con drenaje, donde se colocó una mezcla de residuos orgánicos como restos de cocina y hojas secas o césped, que sirvió de alimento para las lombrices rojas californianas, estas lombrices se introdujeron en el sustrato y mediante su digestión, transformaron la materia orgánica en humus de lombriz, un fertilizante natural rico en nutrientes, fue esencial mantener condiciones adecuadas de humedad y temperatura, evitando la sobrealimentación para prevenir malos olores y plagas, tras varias semanas, se

puedo recolectar el humus, separándolo cuidadosamente de las lombrices, obteniéndose así un abono orgánico ideal para mejorar la salud y fertilidad del suelo.

### **3.4. Procedimiento**

#### **3.4.1. FASE I. Recolección y preparación de materias primas**

1. Recolectaron residuos vegetales en el mercado municipal (materia verde).
2. Se recolectó estiércol bovino en el rastro municipal (materia rica en nitrógeno).
3. Se seleccionaron materiales estructurantes (hojas secas, aserrín, viruta).  
Se pesaron los residuos en una báscula para obtener las cantidades exactas materia vegetal por tratamiento.
4. Se transportaron los materiales en sacos limpios y debidamente identificados.

#### **3.4.2. FASE II. Establecimiento de tratamientos**

1. Se conformaron pilas o unidades experimentales según el diseño (compost tradicional, bocashi y lombricompost, con sus repeticiones).
2. Se depositaron las materias en capas alternas (materia verde, estiércol y estructurante), siguiendo las proporciones establecidas.
3. Se ajustó la humedad con agua hasta alcanzar el 50-60% (puede verificarse al tomar un puñado de material y observar que escurre una o dos gotas).
4. Se cubrieron las pilas con lonas (nailon de plástico) para evitar pérdidas excesivas de humedad y lixiviados.
5. Se identificó cada pila con rótulos o indicando el tratamiento y repetición.

#### **3.4.3. FASE III. Manejo y control del proceso**

1. Se monitoreó la temperatura diariamente.

2. Se midieron humedad, pH y relación C/N de forma semanal.
3. Se realizaron volteos periódicos:
  - Compost tradicional: cada 8–10 días.
  - Bocashi: volteos diarios durante la primera semana y luego cada 3–4 días.
  - Lombricompost: no se volteó, solo se controlaron la humedad y temperatura.
4. Se registraron todos los datos en cuadros de seguimiento, identificando las fases mesófilas, termófila, de enfriamiento y maduración.

#### **3.4.4. FASE IV. Muestreo y análisis del compost**

1. Al finalizar el proceso (aprox. 60–90 días según tratamiento), se extrajeron muestras representativas de cada pila.
2. Se colocaron las muestras en bolsas plásticas limpias, debidamente rotuladas.
3. Se realizaron análisis físicos: color, textura y olor.
4. Se efectuaron análisis químicos: pH, materia orgánica, nutrientes (N, P, K), relación C/N.

#### **3.4.5. FASE V. Evaluación de resultados**

1. Los datos obtenidos durante el proceso de los diferentes abonos fueron organizados y procesados en el programa Microsoft Excel.
2. Se aplicó estadística descriptiva, calculando medidas de tendencia central como el promedio, con el fin de resumir el comportamiento de variables como temperatura (°C), pH y humedad (%) en los diferentes tratamientos.
3. Se calcularon medidas de dispersión, como el rango y la variación de los datos, para observar la estabilidad de los parámetros evaluados durante el proceso de compostaje.

4. Se resultados fueron interpretados en función de la calidad del compost, considerando indicadores como estabilidad, madurez y comportamiento de las variables físicas y químicas a lo largo del proceso.

#### **3.4.6. FASE VI. Análisis económico y conclusiones**

1. Se estimaron los costos de producción de cada tratamiento (mano de obra, insumos, tiempo de elaboración).
2. Se comparó el costo-beneficio entre compost tradicional, bocashi y lombricompost.
3. Se identificó la alternativa más viable en términos de calidad del compost y sostenibilidad económica.
4. Se redactaron las conclusiones y recomendaciones finales del estudio.

#### **3.5. Diseño experimental**

El diseño experimental fue completamente al azar, en este tipo de diseño estuvieron incluidos los principios de repetición y de aleatorización, es decir, se utilizó cuando no hay necesidad del control local, debido a que el ambiente experimental y las condiciones de manejo fueron homogéneos y los tratamientos se asignaron a las unidades experimentales mediante una aleatorización completa, sin ninguna restricción.

##### **3.5.1. Análisis de los datos**

Se empleó el programa Microsoft Excel para organizar, tabular y analizar los datos que se obtuvieron a lo largo del proceso experimental. La estadística descriptiva se utilizó con el objetivo de condensar y caracterizar la conducta de las variables analizadas en los distintos tratamientos.

### **3.6. Pasos para la elaboración de los tratamientos evaluados**

#### **3.6.1. Cepas de microorganismos**

##### **Paso No. 1: Recolección de materia prima**

Se reunieron los materiales necesarios para la producción de las cepas; la melaza y el contenedor de plástico fueron suministrados por el vivero, la lechería local fue la fuente de la leche fresca, el agua empleada provino de agua pluvial que se había almacenado antes, el estiércol fue recogido del rastro municipal y la levadura comercial se compró en un negocio local.

##### **Paso No. 2: Preparación del equipo**

Se seleccionó un recipiente de plástico que estaba limpio y en buen estado, para evitar el empleo de utensilios o envases que contuvieran restos de pintura u otros compuestos químicos que pudieran interferir en el desarrollo de microorganismos.

##### **Paso No. 3: Preparación de la mezcla base**

Se creó la mezcla base en un recipiente auxiliar (balde limpio), al añadir melaza (2 Litros) y estiércol (1.5 Kilos); los dos componentes se combinaron manualmente hasta alcanzar una homogenización, posteriormente, esta mezcla fue trasladada al recipiente plástico principal el cual contenía previamente agua de lluvia (preferiblemente, debido a la ausencia de cloro y otros desinfectantes, lo que favorece la actividad microbiana durante la fermentación); hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

##### **Paso No. 4: Activación de la levadura**

La levadura (125 g) fue disuelta en agua previamente llevada a una temperatura tibia (aprox. Entre 30 y 40 °C), con el fin de favorecer la rehidratación de las células y el inicio de su

actividad metabólica; posteriormente, esta solución fue incorporada a la mezcla base y agregamos leche fresca (2 Litros), gradualmente; manteniendo una agitación constante para asegurar la integración homogénea de todos los componentes.

### **Paso No.5: Fermentación**

Se realizó el proceso de fermentación a la mezcla final, que ya estaba contenida en el recipiente plástico; fue sometida a un proceso de fermentación. El recipiente se mantuvo tapado sin un cierre hermético, con el fin de permitir la liberación de gases generados durante la actividad microbiana y evitar la acumulación de presión interna. El sistema se conservó en condiciones ambientales propias del lugar de estudio durante el período correspondiente.

Para mostrar cómo se comportaron en general durante el proceso de compostaje variables como la temperatura, el pH y la humedad, se calcularon indicadores de tendencia central, con énfasis en el promedio; además, se tomaron en cuenta medidas de dispersión para analizar la estabilidad y variabilidad para analizar la estabilidad y variabilidad de los datos registrados.

#### **3.6.2. Compost tradicional (T1)**

##### **Entradas:**

- Residuos vegetales y frutales del mercado municipal de Comayagua.
- Viruta de madera.
- Aserrín.
- Cascarilla de café.
- Cepas de microorganismos.
- Agua para ajuste de humedad.

## **Etapas del Proceso de Compost Tradicional.**

### **Etapa 1: Recolección de materia prima**

En el mercado municipal de Comayagua se llevó a cabo la recolección de residuos orgánicos, con la colaboración logística de la alcaldía municipal, que facilitó una moto cargo del vivero municipal.

Se llevaron a cabo cuatro viajes en un lapso de dos días (el primer día de 8:00 a.m. – 10:00 a.m. Y el segundo día de 8:00 a.m. – 9:00 a.m.). para lograr una cantidad apropiada y variada de residuos; los materiales fueron clasificados de manera preliminar por su contenido de humedad durante la recolección, dividiéndolos en:

- **Residuos con alto contenido de humedad** (vegetales y frutas frescas).
- **Residuos con humedad reducida** (material vegetal más fibroso o parcialmente deshidratado).

Adicionalmente, otros materiales utilizados en la elaboración del compost, como la cascarilla de café, el aserrín y la viruta de madera, fueron obtenidos directamente del vivero municipal, asegurando disponibilidad y calidad para la mezcla final.

### **Etapa 2: Transporte y acondicionamiento**

Los residuos fueron trasladados al vivero municipal, en el cual tuvo lugar la compostación; posteriormente, cada material fue pesado con una balanza y usando sacos como contenedores para controlar las proporciones y garantizar una mezcla adecuada orientada a una relación C/N óptima.

### **Etapa 3: Preparación del área de trabajo**

El área destinada para el compostaje fue previamente acondicionada mediante:

**Limpieza del terreno**, eliminando residuos no deseados.

**Aireación superficial del suelo**, con el propósito de favorecer la infiltración de lixiviados y permitir el intercambio gaseoso desde la base de la pila.

Se establecieron tres unidades experimentales (pilas o bultos), que se corresponden con las repeticiones del tratamiento, y tienen las siguientes dimensiones: **1m de ancho x 1.5 m de largo**; se estableció un espacio de 0.5 metros entre las pilas para permitir el monitoreo y manejo; en cada pila se colocaron cuatro estacas en los extremos, con el fin de delimitar el área y mantener la estructura durante la conformación del compost.

#### **Etapa 4: Conformación de las pilas de compost**

**La elaboración del compost se realizó mediante el método por capas, siguiendo una secuencia estructurada:**

##### **Primera capa (material seco)**

Se colocó una capa de aproximadamente 30 cm compuesta por:

- Viruta de madera
- Aserrín

##### **Esta capa cumple la función de:**

Facilitar la aireación

Absorber humedad

Aportar carbono

##### **Segunda capa (material húmedo o verde)**

Se añadió una capa de aproximadamente **25 cm** de:

- Residuos vegetales
- Residuos frutales

##### **Esta capa aporta:**

Nitrógeno

Humedad

Actividad microbiana

### **Tercera capa (material estructurante adicional)**

Se incorporó cascarilla de café, contribuyendo a:

- Mejorar la porosidad
- Aportar carbono adicional

### **Aplicación de microorganismos:**

Durante la formación de las capas, se aplicó la cepa de microorganismos (2 litros en total) en forma distribuida, favoreciendo la activación biológica del proceso de descomposición.

### **Etapa 5: Cobertura de las pilas**

Una vez finalizada la conformación, las pilas fueron cubiertas, con el objetivo de:

- Conservar la temperatura interna
- Evitar el exceso de humedad por lluvia
- Proteger el material de factores externos

### **Etapa 6: Monitoreo y control del proceso**

El monitoreo de las variables fisicoquímicas comenzó a partir del día posterior de la elaboración.

### **Medición de la humedad y la temperatura**

Las mediciones se llevaron a cabo diariamente a las 8:00 de la mañana.

Se empleó un dispositivo digital 4 en 1.

Para conseguir valores que fueran representativos, las mediciones se llevaron a cabo en diversos lugares de la pila.

### **Medición de Ph**

El pH fue medido utilizando el mismo equipo (medidor 4 en 1).

Se realizaron mediciones periódicas durante el proceso.

### **Etapa 7: Manejo del compost (volteos y control de humedad)**

Los volteos se realizaron de forma estratégica y no diaria, en función del comportamiento de la temperatura, humedad y etapa del proceso, con el fin de mantener condiciones aérobicas adecuadas.

**Se realizaron volteos periódicos con el fin de:**

- Evitar condiciones anaeróbicas.
- Mejorar la aireación.
- Prevenir la carbonización del material.
- Homogeneizar la mezcla.

### **Control de humedad**

Se realizó inspección constante del contenido de humedad:

- En caso de observar material seco, se procedió a agregar agua mediante una regadera.
- Se buscó mantener una humedad adecuada para la actividad microbiana.

### **Etapa 8: Seguimiento del proceso**

Durante todo el proceso se llevó una bitácora de campo, en la cual se registraron:

- Temperatura
- Humedad
- Ph
- Observaciones del estado del material

Este seguimiento permitió evaluar la evolución del compostaje desde el día 1 hasta la maduración del compost.

### **Etapas 9: Etapas del compostaje con tiempos específicos**

**Tabla 1.** Etapas del compostaje tradicional con tiempos específicos Compost Tradicional (T-1)

<b>REPETICIÓN</b>	<b>FASE</b>	<b>FECHA INICIO</b>	<b>FECHA FIN</b>	<b>DURACIÓN APROX.</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>R1</b>	Fase mesófila / Fase termófila	14/06/25	23/07/25	40 días	Temperatura alta y actividad microbiana intensa según los datos obtenidos.
<b>R1</b>	Aireación final / maduración	24/07/25	08/08/25	16 días	Temperatura baja, pH sube, humedad disminuye, material estabilizado.
<b>R2</b>	Fase mesófila / termófila	14/06/25	21/07/25	38 días	Según datos, actividad microbiana y temperatura controlada.
<b>R2</b>	Aireación final / maduración	04/08/25	08/08/25	5 días	Material estabilizado, listo para uso.
<b>R3</b>	Fase mesófila /	14/06/25	17/07/25	34 días	Actividad microbiana y

					temperatura alta según nuestros datos.
<b>R3</b>	Aireación final / maduración	04/08/25	08/08/25	5 días	Compost maduro, estabilizado, listo para análisis.

### Tiempo total del proceso

Desde 14/06/25 hasta 08/08/25 = **56 días**.

A medida que avanzó el proceso, se observó una disminución progresiva de la temperatura, indicando la transición de la fase termófila a la fase de maduración o estabilización.

### En esta etapa, el material presentó las siguientes características:

Temperatura cercana a la ambiental

Color oscuro homogéneo

Olor a tierra (ausencia de olores desagradables)

Textura más fina y desintegrada

### Etapa 10: Recolección y preparación de muestras (producto final)

- Compost recolectado manualmente de cada pila.
- Colocando en bolsas identificadas, homogeneizado y almacenado evitando contaminación externa.
- **Producto final:** compost maduro, homogéneo, con color oscuro, textura fina, pH entre 6.5 – 6.8, humedad controlada y olor a tierra, listo para análisis químico, nutricional o aplicación agrícola.

### 3.6.3. Bocashi (T2)

Entradas:

- Residuos vegetales y frutales del mercado municipal de Comayagua.
- Estiércol de vaca.

- Huerta picada (material estructurante).
- Cascarella de café.
- Tierra (proveniente del vivero).
- Cepas de microorganismos.
- Levadura comercial.
- Agua para ajuste de humedad.

Etapas del proceso de bocashi

### **Etapa 1: Recolección de materia prima**

La recolección de residuos se realizó en el mercado municipal de Comayagua, con apoyo logístico del vivero municipal; el cual es coordinado por el Departamento Municipal Ambiental (DMA).

Se realizaron tres viajes en dos días:

- **Primer día:**

Viaje 1: 9:00 a 11:00 a.m.

Viaje 2: 11:30 a.m. a 1:00 p.m.

**Segundo día:**

**Viaje 3:** 9:00 a 10:30 a.m.

Durante la recolección, los residuos se clasificaron según contenido de humedad (medimos humedad con el dispositivo 4 en 1)

- **Residuos húmedos:** Vegetales y frutas frescas.

- **Residuos secos o fibrosos:** Cascarillas de café, huerta picada, tierra y estiércol (más fibroso).

Los demás materiales (cepas de microorganismos) se prepararon en el vivero para asegurar calidad y disponibilidad para la mezcla final.

### **Etapa 2: Transporte y acondicionamiento**

Los materiales recolectados se trasladaron al área de compostaje del vivero.

Cada componente se pesó y se colocó en sacos para garantizar proporciones correctas, manteniendo la relación C/N adecuada para la fermentación del bocashi.

### **Etapa 3: Preparación del área de trabajo**

El área destinada para bocashi se acondicionó mediante:

Limpieza del terreno, retirando residuos no deseados.

Aireación superficial del suelo para facilitar drenaje y el intercambio gaseoso.

Se establecieron tres unidades experimentales (R1, R2 y R3) con dimensiones de 1 m de ancho x 1.5 m de largo, dejando 0.5 m de separación entre ellas. Cada pila se delimitó con cuatro estacas en los extremos para mantener la estructura.

### **Etapa 4: Conformación de las pilas (aboneras)**

El bocashi se elaboró por capas:

#### **Primera capa (material seco / estructurante):**

Huerta picada, cascarilla de café y tierra.

**Función:** mejorar aireación, aportar carbono y mantener estructura.

- **Segunda capa (material húmedo/ verde):**

Residuos vegetales y frutales, estiércol de vaca.

**Función:** aportar nitrógeno, humedad y microorganismos.

#### **Aplicación de levadura y cepas de microorganismos:**

- Se añadieron 2 litros de cepas de microorganismos distribuidos uniformemente.
- Se incorporó levadura comercial, activando la fermentación biológica y acelerando la descomposición.

#### **Etapa 5: Cobertura de las pilas**

- Las pilas se cubrieron con lonas/plásticos para:
- Mantener temperatura interna.
- Evitar exceso de humedad por lluvia.
- Proteger de factores externos que puedan afectar la fermentación.

#### **Etapa 6: Monitoreo del proceso**

- Se realizaron mediciones diarias a las 8:00 a.m. con dispositivo digital 4 en 1.
- Variables monitoreadas: temperatura, Ph, humedad.
- La humedad se mantuvo entre 50 – 60%, temperatura y pH fueron registradas para determinar los momentos óptimos de intervención mediante volteos.

#### **Etapa 7: Manejo de volteos estratégicos**

Los volteos no fueron diarios, sino aplicados según la respuesta de la pila, con el objetivo de optimizar fermentación, distribución de microorganismos y humedad.

- R1

Día 4 (18/06/25): temperatura 35 °C – redistribuir oxígeno y humedad.

Día 7 (21/06/25): temperatura 42 °C – evitar inhibición de levadura y cepas.

R2

Día 5 (20/06/25): redistribuir humedad acumulada.

Día 8 (22/06/25): controlar temperatura y oxigenar.

R3

Día 6 (20/06/25): airear zonas compactas.

Día 9 (23/06/25): controlar picos térmicos y mantener actividad microbiana.

Justificación:

Los volteos estratégicos redistribuyen oxígeno y microorganismos activos, evitando condiciones anaeróbicas que podrían generar malos olores o pérdida de eficiencia de la levadura y cepas microbianas.

### **Etapas del Bocashi con tiempos específicos**

**Tabla 2.** Etapas del Bocashi con tiempos específicos Bocashi (T-2).

<b>REPETICIÓN</b>	<b>FASE</b>	<b>FECHA INICIO</b>	<b>FECHA FIN</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>R1</b>	Fase activa / fermentación	14/06/25	23/06/25	10 días	Temperatura 18-42 °C, Ph 4.7-6.1, humedad 55-58%, actividad

					microbiana intensa. Levadura activa.
<b>R1</b>	Maduración / estabilización	24/06/25	10/07/25	17 días	Temperatura baja, Ph 6.8-7.4, humedad 45-50%, producto homogéneo y maduro.
<b>R2</b>	Fase activa / fermentación	14/06/25	23/06/25	10 días	Similar a R1, fermentación óptima.
<b>R2</b>	Maduración / estabilización	24/06/25	10/07/25	17 días	Temperatura y Ph estables, producto listo para uso.
<b>R3</b>	Fase activa / fermentación	14/06/25	23/06/25	10 días	Temperatura hasta 40 °C, humedad 56 – 64%, actividad máxima de microorganismos y levadura.
<b>R3</b>	Maduración / estabilización	24/06/25	10/07/25	17 días	Producto final homogéneo, Ph 7, textura fina, listo para análisis y aplicación.

Tiempo total: 14/06/25 a 10/07/25 = 26 días.

### **Etapa 9: Características del producto final**

- Nombre del producto: Bocashi maduro / biofertilizante fermentado tipo Bocashi.
- Color: Oscuro homogéneo.
- Olor: A tierra, sin malos olores ni emisiones fétidas.

- Textura: Fina, desintegrada y fácil de manejar.
- Ph: 6.8-7.4.
- Humedad: 45-50%.
- Estado: Homogéneo, estable y listo para:
- Análisis químico y nutricional
- Aplicación agrícola como fertilizante orgánico que aporta nutrientes y mejora el microbiota del suelo.

## **Etapa 10: Recolección y preparación de muestras (producto final)**

### **3.6.4. Lombricompost (T3)**

Entradas:

- Estiércol de vaca precompostado.
- Residuos vegetales.
- Pulpa de café.
- Cartón (material estructurante).
- Lombrices (*Eisenia foetida*).
- Agua para ajuste de humedad.
- Llantas de tractor.

## **Etapas del proceso de Lombricompost**

### **Etapa 1: Recolección de materia prima**

La recolección de los materiales se realizó en el mercado municipal de Comayagua y en el vivero municipal.

La actividad se llevó a cabo en un solo día, mediante dos viajes organizados de la siguiente manera:

- Primer viaje: 8:00 a.m. a 9:00 a.m.

- Segundo viaje: 11:00 a.m. a 12:00 m.

Durante ambos recorridos se efectuó una clasificación preliminar de los residuos, separando:  
Residuos con alto contenido de humedad (frutas y vegetales frescos).

Residuos con menor humedad (material vegetal fibroso).

El intervalo entre los viajes permitió mejorar la organización, selección y manejo del material recolectado.

Adicionalmente:

El estiércol precompostado, la pulpa de café y el cartón fueron obtenidos directamente del vivero municipal.

## **Etapa 2: Transporte y acondicionamiento**

- Los materiales fueron trasladados al vivero municipal, con logística por parte de ellos mismos.
- Se pesaron y organizaron en sacos para garantizar la proporción.

## **Etapa 3: Pre composteo del material**

Previo a la incorporación de las lombrices, se realizó un Pre composteo de la mezcla total, con el objetivo de:

- Reducir la temperatura inicial del material.
- Evitar condiciones térmicas adversas para las lombrices.
- Disminuir la presencia de compuestos tóxicos (amoníaco y ácidos orgánicos).
- Estabilizar parcialmente el sustrato.

Este pre composteo tuvo una duración de 5 días, durante los cuales se observó:

- Incremento inicial de temperatura.
- Inicio de la actividad microbiana.

#### **Etapa 4: origen e incorporación de lombrices**

Las lombrices fueron obtenidas de una lombricera del vivero municipal.

Las lombrices fueron incorporadas a los 5 días después del pre composteo, cuando:

La temperatura ya había disminuido.

El material presentaba condiciones más estables.

#### **Etapa 5: Preparación del área y conformación de unidades**

Se acondicionó el área (limpieza y nivelación).

Se utilizaron llantas de tractor como sistema de contención, permitiendo:

Mantener humedad.

Facilitar manejo.

Evitar dispersión del material.

Se establecieron tres unidades experimentales (R1, R2, R3).

Dentro de cada llanta:

- Se colocó la mezcla precomposteada.
- Se ajustó la humedad a 85-90%.
- Se incorporaron las lombrices.

## **Etapa 6: Adaptación de las lombrices**

(Inicio posterior al día 5 del pre composteo)

Temperatura: 17-22 °C.

Ph: 5.8-6.5

Humedad: 90%

### **Interpretación:**

Condiciones adecuadas para la colonización.

Inicio de actividad biológica de lombrices.

## **Etapa 7: Manejo del proceso (alimentación, aireación y humedad)**

Alimentación de las lombrices

Se realizaron 4 alimentaciones durante el proceso, bajo el siguiente criterio:

Frecuencia: Cada 15 días aproximadamente.

Condición adicional: también se alimentó cuando se observaba disminución del material disponible.

Aireación

Se realizó aireación manual ligera, sin volteos agresivos:

- Cuando se observó compactación.
- Cuando la temperatura aumentó.

Control de humedad

- Se mantuvo entre 65-90%
- Se aplicó agua cuando fue necesario.

### **Etapa 8: Desarrollo del proceso**

- Fase inicial (post incorporación de lombrices)

Ajuste biológico del sistema.

- Fase activa

Alta degradación de materia orgánica.

Transformación por acción microbiana y lombrices.

- Fase de estabilización

Disminución de actividad microbiana.

Formación de humus.

- Fase de maduración

Material completamente estabilizado.

Condiciones óptimas para uso.

Tiempo total del proceso: 85 días.

### **Etapa 9: Producto final – Lombricompost**

Nombre del producto: Lombricompost maduro o humus de lombriz.

Características:

Color oscuro homogéneo.

Olor a tierra.

Textura fina y granulada.

Ph: 6.4-6.8

Humedad: 65-70%

Uso:

Fertilizante orgánico.

Mejorador de suelos.

### **3.6.5. Compost + estiércol (T4)**

Entradas:

- Residuos vegetales y frutales del mercado municipal de Comayagua.
- Estiércol de vaca.
- Viruta de madera.
- Aserrín.
- Cascarilla de café.
- Cepas de microorganismos.
- Agua para ajuste de humedad.

Etapas del proceso de Compost + estiércol

La recolección se realizó en el mercado municipal de Comayagua con apoyo logístico del vivero municipal.

Se efectuaron cuatro viajes en dos días:

Primer día: 8:00 a.m. – 10:00 a.m.

Segundo día: 8:00 a.m. – 9:00 a.m.

Los residuos fueron clasificados en:

Alta humedad (frutas y vegetales frescos)

Baja humedad (material fibroso)

El estiércol, cascarilla, aserrín y viruta fueron obtenidos del vivero.

## **Etapa 2: Transporte y acondicionamiento**

- Traslado al vivero municipal.
- Pesaje individual de materiales.
- Control de proporciones para optimizar relación C/N.

Importante en este tratamiento:

- El 26% de estiércol incrementó significativamente:
- La disponibilidad de nitrógeno.
- La actividad microbiana inicial.
- La velocidad de degradación.

## **Etapa 3: Preparación del área**

Antes de conformar las pilas, el área fue acondicionada para garantizar un ambiente favorable para la descomposición aeróbica.

Se realizaron las siguientes actividades:

- Limpieza del terreno, retirando materiales extraños

- Aireación superficial del suelo para facilitar infiltración de lixiviados y permitir intercambios gaseosos desde la base

Posteriormente se establecieron tres unidades experimentales (R1, R2 y R3), cada una con dimensiones aproximada de:

1 m de ancho x 1.5 m de largo

Se dejó un espacio de 0.5 m entre pilas para permitir:

- Monitoreo de variables
- Aplicación de volteo
- Manejo de humedad

Cada pila fue delimitada mediante estacas en sus extremos para mantener la estructura durante la conformación.

#### **Etapa 4: Conformación de pilas**

La elaboración de compost se realizó mediante el método por capas, debido a que permite distribuir de forma uniforme materiales ricos en carbono y nitrógeno, favoreciendo la actividad microbiana.

##### **Primera capa (material seco o estructurante)**

Se colocó una capa de aproximadamente 30 cm, compuestas por:

Viruta de madera

Aserrín

**Función de esta capa:**

- Facilitar aireación desde la base
- Absorber excesos de humedad
- Aportar carbono de degradación lenta
- Evitar compactación de la pila

### **Segunda capa (material verde + estiércol)**

Se añadió una capa de aproximadamente 25cm compuesta por:

Residuos vegetales y frutales

Estiércol de vaca

#### **Función de esta capa:**

- Aportar nitrógeno (principalmente por el estiércol)
- Incrementar humedad interna
- Activar rápidamente microorganismos descomponedores
- Aumentar la temperatura del sistema.
- Esta capa es la que provoca la subida rápida de temperatura, como se observó en tus datos, alcanzando valores superiores a 70 °C.

### **Tercera capa (material estructurante adicional)**

Se incorporó cascarilla de café.

#### **Función:**

- Mejorar la porosidad
- Favorecer circulación de oxígeno

- Aportar carbono adicional
- Ayudar a evitar compactación

### **Aplicación de microorganismos**

Durante el armado por capas se aplicaron cepas de microorganismos de forma distribuida.

#### **Función:**

- Acelerar el inicio de la degradación
- Aumentar la población microbiana
- Mejorar eficiencia de transformación de materia orgánica

### **Etapa 5: Cobertura de las pilas**

Una vez finalizada la conformación, las pilas fueron cubiertas con el objetivo de:

Conservar temperatura interna

Evitar el ingreso de exceso de agua por lluvias

Reducir pérdida de humedad por evaporación

Proteger el material de factores externos

### **Etapa 6: Monitoreo y control (mediciones diarias (8:00 a.m.))**

El monitoreo comenzó a partir del día siguiente de la elaboración.

#### **Medición de temperatura y humedad**

Se realizaron mediciones diariamente a las 8:00 am

Se utilizo un medidor digital 4 en 1.

Se tomaron valores en diferentes puntos de la pila, para asegurar representatividad.

### **Medición de pH**

Se utilizo el mismo equipo (medidor 4 en 1)

Se realizaron mediciones periódicas durante el proceso.

Estas mediciones fueron esenciales para decidir cuándo aplicar volteos y cuando ajustar humedad.

### **Etapa 7: Manejo del compost (Volteos y control de humedad)**

El manejo de este tratamiento fue critico debido a la incorporación de estiércol, ele cual provoco temperaturas elevadas

Volteos (Fechas reales registradas)

Los volteos se realizaron de forma estratégica, no diaria, con el propósito de mantener condiciones aeróbicas, controlar temperaturas y homogenizar la pila (abono)

Repetición 1 (R1)

Volteos realizados en:

03/07/25

09/07/25

21/07/25

28/07/25

Nota

En R1 la temperatura alcanzó su punto máximo el 20/06/25 con 77°C  
Este comportamiento refleja una actividad microbiana extremadamente intensa.

Los volteos se aplicaron posteriormente porque:

- Al superar 70°C existe riesgo de:
  - Muerte de microorganismos beneficiosos
  - Pérdida de nitrógeno por volatilización (amoníaco)
  - Secado rápido del material

Por ello, el volteo del 03/07/25 permitió:

- Redistribuir zonas calientes
- Introducir oxígeno
- Reducir acumulación de calor

Los siguientes volteos (09/07, 21/07, 28/07) se aplicaron para:

- Mantener oxigenación
- Evitar compactación
- Favorecer la transición hacia maduración

Repetición 2 (R2)

Volteos realizados en:

21/06/25

28/06/25

03/07/25

09/07/25

16/07/25

21/07/25

28/07/25

Nota

En esta repetición la temperatura alcanzo 74°C (26/06/25), por lo cual el manejo fue más intensivo

Se aplicaron mas volteos debido a que:

- El estiércol elevo fuertemente el metabolismo microbiano
- Se requería mayor oxigeno para sostener la descomposición anaeróbica
- Se evito la formación de condiciones anaeróbicas

Repetición 3(R3)

Volteos realizados en:

- 23/06/25
- 27/06/25
- 03/07/25
- 10/07/25
- 25/07/25
- 30/07/25

En R3 se registro un pico de temperatura de 70°C (21/06/25)

Los volteos se realizaron en fechas tempranas porque:

- Existía riesgo de sobrecalentamiento
- Se necesitaba redistribuir humedad y oxígeno
- Se busca reducir la temperatura para estabilizar el proceso.

#### Justificación

En este tratamiento, esto fue fundamental porque el estiércol aceleró el proceso, generando temperaturas extremas (70-77°C)

En términos cinéticos, el aumento de temperatura incrementa la velocidad de degradación, pero al exceder rangos óptimos puede provocar inhibición biológica, por lo que el volteo fue un mecanismo necesario para regular el sistema

### **7.1. Control de Humedad**

Durante todo el proceso se realizó inspección constante de humedad:

- Cuando el material se observó seco, se aplicó mediante regadera
- Se buscó mantener un rango adecuado para actividad microbiana

Los datos muestran que la humedad descendió progresivamente:

- R1: 70%--28%
- R2: 64%---28%
- R3: 68%---28%

Este descenso fue normal debido a:

- Evaporación por altas temperaturas
- Pérdidas graduales de agua por metabolismo microbiano
- Fase de maduración

## Etapa 8: Seguimiento del proceso

Durante todo el proceso se llevó una bitácora registrando:

- Temperatura
- Humedad
- pH
- Observaciones del estado del material

Este seguimiento permitió evaluar la evolución desde el día 1 hasta la maduración

## Etapa 9: Etapas del compostaje con tiempos específicos (T4):

**Tabla 3.** Etapas del compostaje con tiempos específicos (T-4)

REPETICIÓN	FASE	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN APROX.	OBSERVACIÓN
R1	Fase mesófila / termófila	14/6/2025	21/7/2025	38 días	Temperaturas elevadas (máx. 77 °C) por alto N del estiércol.
R1	Maduración	22/7/2025	8/8/2025	17 días	Descenso progresivo de temperatura y estabilización.
R2	Fase mesófila / termófila	14/6/2025	21/7/2025	38 días	Actividad microbiana intensa (máx. 74 °C).
R2	Maduración	22/7/2025	8/8/2025	17 días	pH cercano a neutro y humedad disminuye.
R3	Fase mesófila / termófila	14/6/2025	21/7/2025	38 días	Alta degradación inicial (máx. 70 °C).

R3	Maduración	22/7/2025	8/8/2025	17 días	Material estabilizado y listo para análisis.
----	------------	-----------	----------	---------	--

### Tiempo total del proceso

Desde 14/06/25 =56 días.

Características observadas en maduración

A medida que avanzó el proceso, se observó una disminución progresiva de la temperatura, indicando la transición de fase de maduración.

El material presentó

- Temperatura cercana a la ambiental.
- Color oscuro homogéneo.
- Olor a tierra (sin olores desagradables).
- Textura fina y desintegrada.

Etapa 10: Recolección y preparación de muestras (producto final)

El compost fue recolectado manualmente de cada pila.

Se colocó en bolsas identificados por repetición.

Se homogenizó y almacenó evitando contaminación.

### 3.7. Enfoque de la investigación

La investigación se desarrolló siguiendo ciertos enfoques específicos, los cuales se detallaron a continuación junto con las razones para su elección:

#### 3.7.1. Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo se caracterizó por la recopilación y análisis de datos numéricos y estos relacionados con diversas variables, en este caso, las variables consideradas incluyen diámetro, la altura, la tasa de mortalidad y la sobrevivencia, este enfoque tuvo como finalidad obtener conocimientos fundamentales y seleccionar el modelo más adecuado para interpretar la realidad de manera objetiva, sustentado en la recopilación y la exploración de datos concretos.

### **3.8. Variables para evaluar**

### 3.8.1. Variable dependiente

- **Calidad del compost**

La calidad del compost será la variable dependiente del estudio y se refiere al estado final del material orgánico luego del proceso de descomposición. Se evaluará mediante indicadores:

**Físicos:**

**-Color:** Se realizará una evaluación visual del color del compost al final del proceso, un compost de buena calidad debe presentar un color café oscuro o negro, señal de una adecuada humificación.

**-Textura:** Se evaluará mediante observación y tacto, buscando una textura suelta, homogénea y sin restos visibles de material sin descomponer.

**-Olor:** Se hará una evaluación sensorial. Un compost maduro debe tener un olor a tierra fresca y sin aromas desagradables como amoníaco o putrefacción, que indicarían inmadurez o problemas en el proceso.

**-Temperatura:** La temperatura interna del montón de compost, variable física fundamental, será monitoreada periódicamente con termómetros para asegurar que durante la fase termofílica se mantenga entre 45 °C y 65 °C, garantizando así una descomposición eficiente y la eliminación de patógenos para obtener un compost de calidad.

**Químicos:**

**-pH:** Se medirá usando un potenciómetro o medidor de pH portátil. Para ello, se preparará una suspensión mezclando una muestra del compost con agua destilada en proporción 1:5 (una parte de compost por cinco de agua). El pH ideal para compost maduro está entre 6 y 8.

**-Relación carbono-nitrógeno (C/N): Se distinguirán dos etapas clave:**

- a. C/N inicial: Se ajustará la mezcla de residuos para mantener una relación inicial de carbono a nitrógeno entre 25:1 y 30:1, condición óptima para un proceso de descomposición eficiente y sin malos olores.
- b. C/N final: La relación C/N del compost terminado se medirá para evaluar su madurez. Un valor entre 10:1 y 15:1 indicará que el compost está estabilizado y listo para su uso.

**-Contenido nutricional:** Se analizarán mediante técnicas de laboratorio especializadas para cuantificar la concentración de nutrientes con lo cual se determinará el valor fertilizante del compost.

### **3.8.2. Variables independientes**

## **4. Proporciones de residuos orgánicos**

Esta variable considera las diferentes combinaciones entre residuos del mercado (restos vegetales ricos en carbono) y residuos del rastro (restos de origen animal ricos en nitrógeno). Las proporciones utilizadas afectan directamente la relación C/N inicial del compost, la cual es clave para una descomposición eficiente. Se buscará mantener un equilibrio entre 25:1 y 30:1 para asegurar una buena actividad microbiana sin generar malos olores ni pérdidas de nutrientes.

## **5. Métodos de compostaje**

Se evaluarán diferentes técnicas para la elaboración del compost, como el método tradicional y el método bocashi. Cada uno varía en su manejo, tipo de microorganismos involucrados y velocidad del proceso, esta variable permitirá comparar cuál técnica genera un compost de mejor calidad en menos tiempo y bajo las condiciones locales disponibles.

## 6. Tiempo de compostaje

El tiempo que tarda en completarse el proceso de compostaje también será analizado. Este puede variar según el método usado, los materiales, y las condiciones de manejo. Se harán observaciones periódicas para identificar cuándo el compost alcanza su madurez, generalmente entre 60 a 90 días, dependiendo de las prácticas aplicadas.

## 7. Condiciones ambientales del compostaje

Incluyen temperatura interna del montón, humedad del material y aireación (frecuencia de volteo). Estas condiciones determinan la actividad de los microorganismos descomponedores, responsables de transformar la materia orgánica en compost. Una buena aireación y control de humedad favorecen el proceso, mientras que una temperatura adecuada (entre 45 °C y 65 °C en la fase termofílica) ayuda a eliminar patógenos y semillas indeseadas, garantizando un compost seguro y de calidad.

### 3.8.3. Descripción de tratamientos evaluados

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	COMPOSICIÓN (%)
<b>T1: Compost tradicional</b>	T1- R1	10% Viruta de madera + 5% aserrín + 15% cascarilla de café + 70% residuos vegetales (de mercado).
	T1-R2	
	T1-R3	
<b>T2: Bocashi</b>	T2-R1	1.45% Cepas de microorganismos + 17.8% de cascarilla de café + 15.7% estiércol de vaca + 16% huerta picada + 16.5% residuos vegetales + 16.55% tierra + Levadura
	T2-R2	
	T2-R3	
<b>T3: Lombricompost</b>	T3-R1	32% estiércol precompostado + 39% residuos vegetales + 24% pulpa de café + cartón.
	T3-R2	
	T3-R3	
<b>T4 : Compost + estiércol de vaca.</b>	T4-R1	13% Viruta de madera + 9% aserrín + 13% cascarilla de café + 39% residuos vegetales (de mercado) +26 % estiércol.
	T4-R2	
	T4-R3	

**Tabla 4** Descripción de tratamientos.

**3.9. Composición química y relación C/N de los materiales utilizados por cada tratamiento.**

**Tabla 5.** Composición química y relación C/N inicial de Compost Tradicional (T1).

<b>MATERIAL</b>	<b>% EN LA MEZCLA</b>	<b>CARBONO (%)</b>	<b>NITROGENO (%)</b>	<b>REL C/N</b>
Viruta de madera	10%	45%	0.3%	150
Aserrín	5%	40%	0.10%	400
Cascarilla de café	15%	50.3%	0.39%	129
Residuos vegetales	70%	40.96%	1.96%	20.9
<b>RELACIÓN C/N = 29:1</b>				

**Fuente:** Díaz Campos & Salazar, (2020) y Díaz Pérez, (2025).

**Tabla 6.** Composición química y relación C/N inicial de Bocashi (T2).

MATERIAL	% EN LA MEZCLA	CARBONO (%)	NITROGENO (%)	REL C/N
Cascarilla de café	17.80%	50.3%	0.39%	129
Estiércol de vaca	15.70%	31%	1.70%	18
Huerta picada	16.00%	45%	2.0%	22.5
Residuos vegetales	16.50%	40.96%	1.96%	20.9
Tierra	16.55%	5%	0.25%	20
Cepas de microorganismos	1.45%	40.96%	1.96%	20.9
<b>RELACIÓN C/N = 21.2:1</b>				

**Fuentes:** Catalán, (2018); Campos & Salazar, (2020) y Jiménez, Merchán, & Tigre, (2021)

**Tabla 7.** Composición química y relación C/N inicial de Lombricompostaje (T3).

MATERIAL	% EN LA MEZCLA	CARBONO (%)	NITROGENO (%)	REL C/N
Estiércol precompostado	32%	31%	1.70%	18
Residuos vegetales	35.40%	41%	1.96%	20.9
Pulpa de café	24%	40.96%	1.96%	20.9
Cartón (Papel)	8.60%	49.15%	0.05%	983
<b>RELACIÓN C/N = 22.5:1</b>				

**Fuentes:** Catalán, (2018)

**Tabla 8.** Composición química y relación C/N inicial de Compost + Estiércol.

<b>MATERIAL</b>	<b>% EN LA MEZCLA</b>	<b>CARBONO (%)</b>	<b>NITROGENO (%)</b>	<b>REL C/N</b>
Residuos vegetales	39%	41%	1.96%	20.9
Estiércol de vaca	26%	31%	1.70%	18
Viruta de madera	13%	45%	0.3%	150
Cascarilla de café	13%	50.3%	0.39%	129
Aserrín	9%	40%	0.10%	400
<b>RELACIÓN C/N = 30:1</b>				

**Fuente:** Campos & Salazar, (2020) y Díaz Pérez, (2025).

### **3.10. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de las variables evaluadas fueron procesados mediante estadística descriptiva, utilizando el programa de Microsoft Excel, se elaboraron gráficos para visualizar el comportamiento de las variables durante el proceso experimental, permitiendo analizar tendencias, variaciones y comparaciones entre los tratamientos, el análisis se centró en las interpretaciones de los valores registrados a través de representaciones gráficas, facilitando el comportamiento térmico.

### **3.11. Análisis económico**

Como parte del estudio se propuso realizar un análisis económico comparativo de cuatro métodos de tratamiento de residuos orgánicos: compost tradicional, Bocashi, lombricompostaje y compost + estiércol dado que el producto final no sería comercializado.

Se previó que este análisis permitiría identificar cuál de los tres tratamientos representó una opción más eficiente y sostenible en función de su costo y de los beneficios indirectos que pudo aportar al medio ambiente y a la producción agrícola.

$$\frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Costos de inversión}} = \text{Valor de costos-beneficio}$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización fisicoquímica de materias primas.

En la Tabla 2 caracterización fisicoquímica de las materias primas empeladas en los cuatro tratamientos reveló que cada uno de los componentes tenía condiciones iniciales distintas, lo cual influye en la efectividad del compostaje; por ejemplo, en T1 y T4, los residuos de origen vegetal y frutal mostraron temperaturas relativamente elevadas (45 – 60 °C) al comienzo; esto concuerda con lo que Acosta Castellanos, Pacheco García, Cuéllar, & Díaz Pita, (2019), mencionan ellos que eestos niveles son ventajosos para dar inicio a la actividad microbiana y producir procesos termófilos cuando se combinan con otros materiales. La cascarilla y la pulpa de café, en cambio, mostraban temperaturas menores (25 – 30 °C), lo que demuestra que estos elementos proporcionan nutrientes y carbonos fundamentales, aunque no producen calor significativo por sí solos; esta circunstancia concuerda con nuestras observaciones iniciales y ayuda a equilibrar la mezcla de materias primas.

Con respecto a la humedad inicial y el pH, nuestros datos indica que los residuos de frutas y verduras tenían una humedad del 50 – 55 % y un pH próximo a 6 – 6.5, lo cual concuerda con lo informado por HANNA instrumentos, (2021). Esto sugiere que estos niveels son ideales tanto para la actividad de los microorganismos aerobios como para la estabilidad de la materia orgánica, corroborando que nuestras materias primas están dentro de los límites sugeridos. En tanto, la pulps y cascarilla de café, que tienen un pH más ácido (5.5), y el aserrín o viruta, que poseen una humedad baja (35 – 35 %), equilibran la mezclz evitando que haya demasiada acidez o humedad. Esto concuerda con lo sugerido en los estudios, lo cual confirma que nuestros componentes iniciales son adecuados.

**Tabla 9.** Matriz de caracterización de materias primas utilizadas para la elaboración de los abonos.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>TEMPERATURA (° C)</b>	<b>PH</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
<b>COMPOST TRADICIONAL (T1)</b>	Residuos vegetales / Frutales	45 - 55	6.5	50 - 55
	Cascarilla de café	25 - 28	5.5	50 - 55
	Pulpa de café	25 - 28	5.5	50 - 55
	Aserrín	20 - 25	6	25 - 30
<b>BOCASHI (T2)</b>	Residuos vegetales / Frutales	35 - 45	6.5	50 - 55
	Tierra	20 -25	6.5	30 - 40
	Cascarilla de café / Pulpa de café	25 -28	5.5	50 - 55
<b>LOMBRICOMPOST (T3)</b>	Residuos vegetales / Frutales	25 - 30	6	60 - 65
	Estiércol precompostado	25 - 30	6.5	60 - 65
	Pulpa de café	25 - 30	6.5	55 - 60
<b>COMPOST + ESTIÉRCOL (T4)</b>	Residuos vegetales / Frutales	50 - 60	6.5	50 - 55
	Estiércol fresco	50 - 60	7	55 - 60
	Cascarilla / pulpa de café	25 - 30	5.5	25 - 30
	Aserrín / Viruta	20 - 30	6	30 - 35

**Fuente:** Schuldt, (2022).

## **4.2. Caracterización fisicoquímica de abonos orgánicos elaborados a partir de residuos del mercado y rastro municipal**

### **4.2.1. Temperatura**

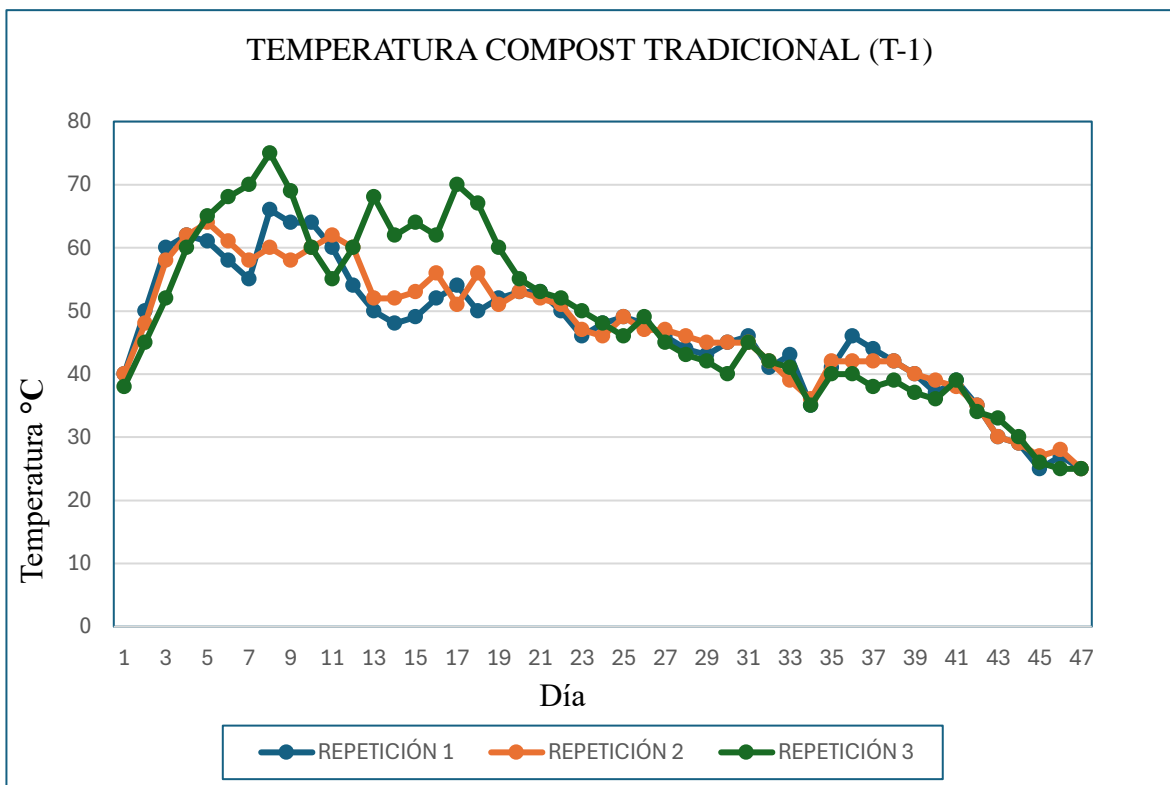
La evolución térmica del tratamiento de compost tradicional presentó una conducta progresiva y similar a lo largo de las tres repeticiones, lo que demuestra la uniformidad en el proceso biológico; se notó desde el comienzo un aumento rápido de la temperatura, que superó los 50 °C en las primeras jornadas, comenzando con cifras cercanas a los 38 – 48 °C. Este incremento inicial señala que los microorganismos degradadores que se encuentran en los residuos orgánicos se activaron rápidamente, lo cual está relacionado con la oxidación de compuestos que son sencillos de biodegradar, como azúcares y proteínas. La respiración de los microorganismos libera energía en forma de calor, lo cual es propio del comienzo del proceso anaeróbico de compostaje, lo cual está respaldado por la FAO, (2013), que señala que durante los primeros días de compostaje aeróbico, el aumento de temperatura se debe a la actividad metabólica de los microorganismos que descomponen compuestos solubles y emiten calor.

Posteriormente, las tres repeticiones alcanzaron la fase termófila, con temperaturas más elevadas que variaron entre 64 °C y 70°C. La continuidad de valores superiores a 55°C sugiere que hubo un proceso aeróbico activo de descomposición, con condiciones sanitizantes dentro de la pila, pues es dentro de este rango térmico donde se inactivan las semillas no deseadas y los microorganismos patógenos, en este período predominan los microorganismos termófilos, que tienen la capacidad de descomponer material orgánico más complicado, lo que incrementa la mineralización del carbono disponible; de acuerdo con Jain, (2019), las temperaturas que superan los 55 °C durante la fase termófila son cruciales para descomponer compuestos resistentes y sanitizar el material, corroborando así que los valores registrados en nuestro estudio concuerdan con procesos aeróbicos de compostaje activos.

Aunque un de las repeticiones mostró un pico ligeramente más alto, la forma general de las curvas fue semejante en las tres pilas, con incrementos y descensos en intervalos comparables, esto indica que la composición del sustrato fue el principal factor que

determinó la dinámica térmica, más que diferencias entre unidades experimentales, evidenciando la estabilidad del proceso. Lalremruati & Devi, (2021) respaldan esto al señalar que la coherencia entre curvas de temperatura refleja la homogeneidad en la biodegradabilidad del material orgánico, demostrando que repeticiones con sustrato homogéneo muestran patrones térmicos muy similares, lo que coincide con nuestros resultados.

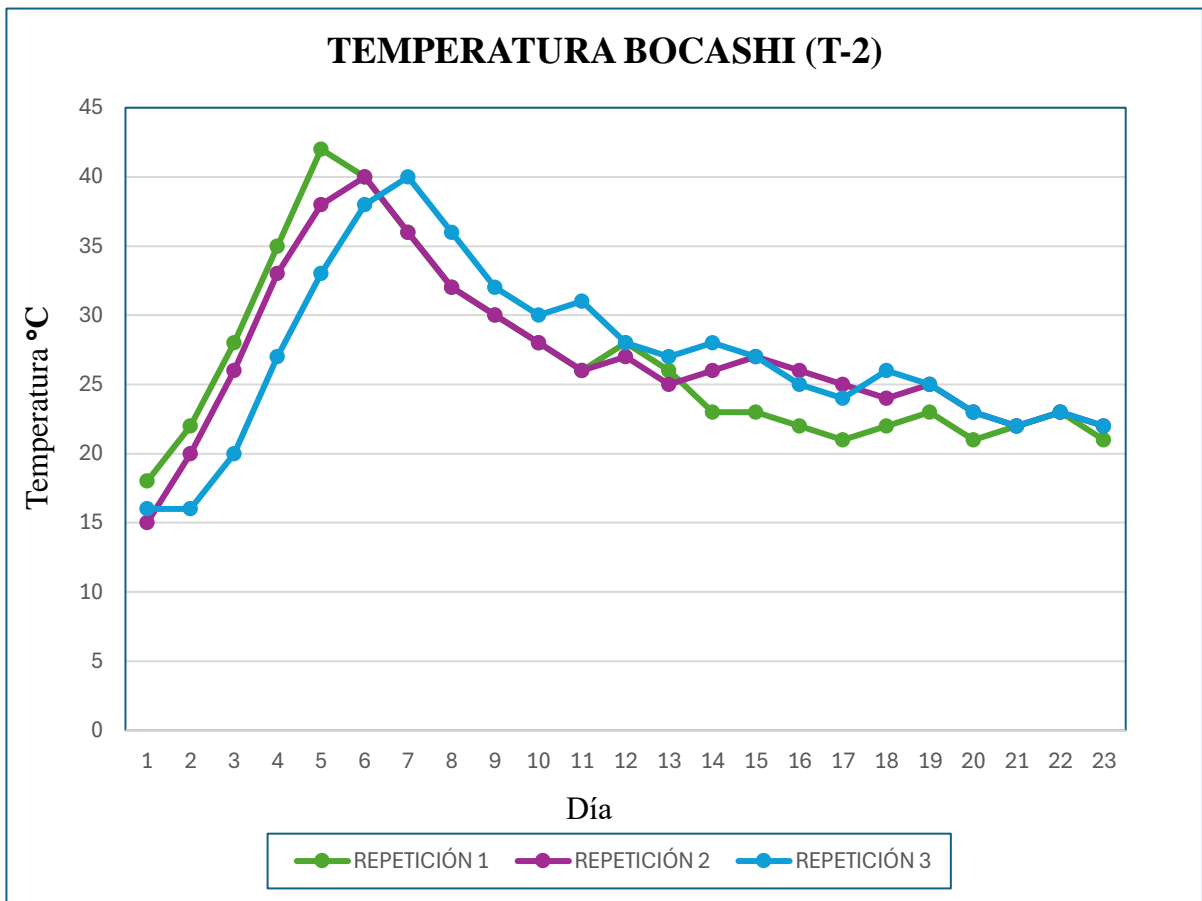
Se notaron oscilaciones moderadas durante la fase intermedia, las cuales estaban vinculadas al uso gradual del material que se degrada con facilidad y a la redistribución de oxígeno en el interior de la pila, sin embargo, estas variaciones no afectaron la continuidad del proceso, después, la temperatura bajó poco a poco hasta acercarse al entorno, lo que señalaba la etapa de enfriamiento debido a una disminución en la actividad metabólica y finalmente, se estabilizó, lo que corresponde a la fase de maduración en la cual predominan los procesos de humificación del material orgánico. En esta etapa final, se notaron también propiedades físicas del compost que resultaron satisfactorios; el compost tenía un olor particular a tierra húmeda, color marrón oscuro y una textura uniforme y quebradiza, características que suelen asociarse a un compost



**Figura 4.** Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 1 (Compostaje tradicional) elaborado con residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

En tratamiento bocashi (**T2**), los primeros días mostró un incremento acelerado de la temperatura, desde aproximadamente 15-18 °C hasta llegar a cifras cercanas a 38 – 42 °C, los máximos se alcanzaron antes del cumplimiento de la primera semana. Esta conducta se relaciona con el comienzo del proceso de fermentación propio del bocashi, en el cual los microorganismos emplean compuestos solubles y producen calor de forma moderada, sin llegar a temperaturas termófilas altas como sucede en el compostaje convencional; esta conducta térmica coincide con lo reportado en investigaciones anteriores sobre los procesos del bocashi, un ejemplo de esto se encuentra en la investigación de Mosquera, y otros, (2016), donde se encontró que la temperatura alcanzó los 40 °C durante los primeros diez días de producción del bocashi, lo cual estaba relacionado con la fermentación activa; después, a medida que disminuía la actividad microbiológica, la temperatura bajó hasta el nivel ambiente.

Las tres repeticiones tuvieron curvas térmicas similares y alcanzaron los picos en intervalos de tiempo cercanos, lo cual muestra que el proceso es homogéneo y evidencia la actividad de levaduras y bacterias fermentativas, las cuales estabilizan rápidamente el material y limitan la subida máxima de temperatura, la cual en la segunda semana se estabilizó a temperatura ambiente; esto señala que los compuestos fermentables se habían terminado y que el fertilizante había alcanzado su estabilidad, característica del bocashi, es el resultado de un proceso de fermentación controlada y breve, lo cual está respaldado por Bajo, (2021). Durante esta etapa final también se observaron características físicas propias de un bocashi bien elaborado, presentando un olor agradable a fermentación similar a levadura o tierra, color café oscuro y una textura suelta y homogénea, lo que indica que el material alcanzó un estado adeado de estabilidad y madurez para su uso como abono orgánico.



**Figura 5.** Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 2 (Bocashi) elaborado con residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

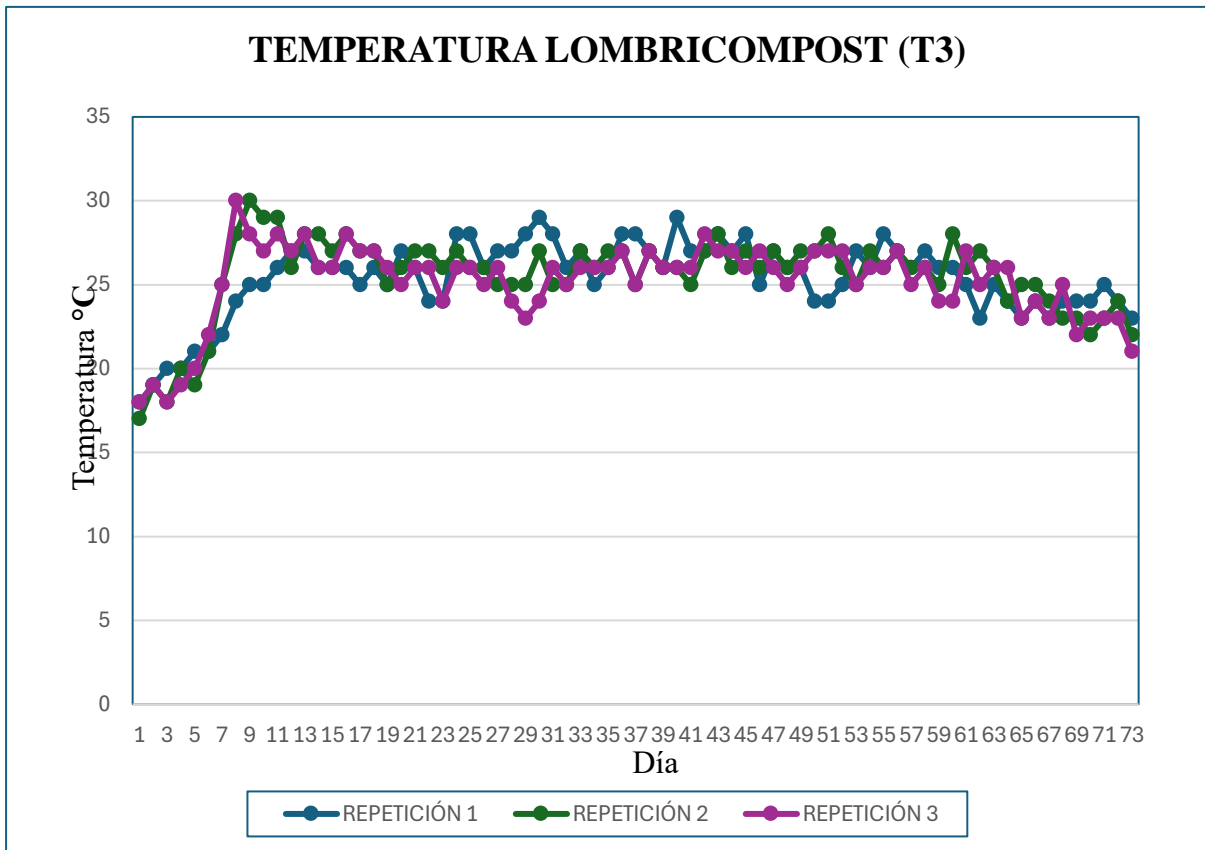
La evolución de la temperatura en el tratamiento de lombricompost presentó un comportamiento mesófilo durante todo el periodo de monitoreo, las tres repeticiones revelaron gráficas muy parecidas, con aumentos y descensos en los mismos periodos de tiempo, esto demuestra que el proceso es uniforme y que el sustrato es homogéneo, esta coincidencia señala que la actividad biológica estuvo regulada por el metabolismo conjunto de lombrices y microorganismos.

El sistema no desarrolló una fase termófila destacada, a diferencia del compostaje aeróbico, la degradación de compuestos que se biogradan con facilidad es la responsable del ligero incremento térmico inicial, a pesar de ello, la temperatura permaneció en niveles moderados gracias a las lombrices, que rompen el material y contribuyen a la disipación del calor

metabólico, investigaciones sobre Lombricompostaje han registrado esta conducta, la cual señala que la presencia de las lombrices controla la acumulación de calor y mantiene el proceso en condiciones mesófilas Osorio Torres & Rodolfo, (2022).

La temperatura se estabilizó del todo en el entorno hacia el cierre de la observación, lo que significó que el material degradable se había agotado y que los residuos orgánicos estaban pasando a un estado estable, este comportamiento térmico es típico de un material que está biológicamente estabilizado, en el cual la actividad metabólica se reduce debido a la escasez de sustrato disponible. Asimismo, al final del proceso se observaron características físicas adecuadas del lombricompost, presentando un olor agradable a tierra húmeda; color café oscuro y una textura fina, suelta y granulada, rasgos que indican un material bien humificado y apto para su aplicación como abono orgánico.

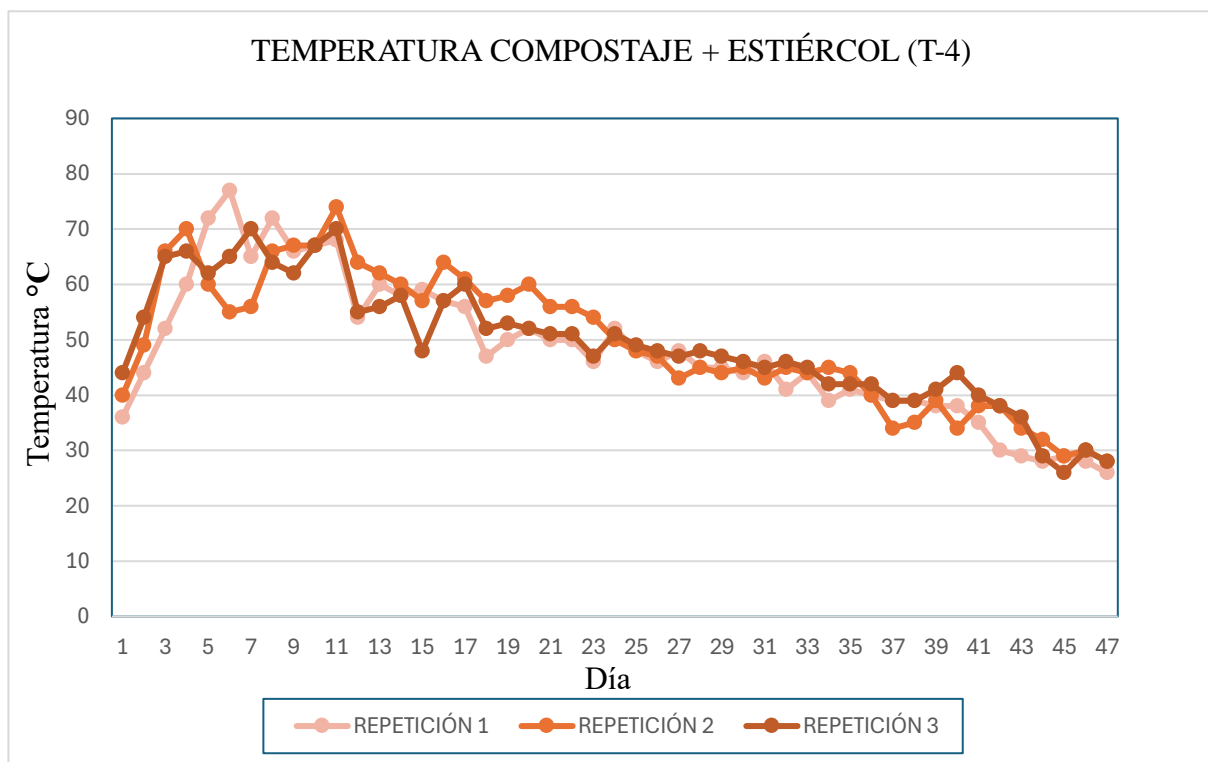
En conjunto, la ausencia de fase termófila, la estabilidad térmica prolongada y la similitud entre repeticiones confirman que el proceso se desarrolló conforme al comportamiento esperado para el Lombricompostaje, donde la transformación de la materia orgánica ocurre por degradación biológica gradual y no por oxidación rápida.



**Figura 6.** Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 3 (Lombricompost) elaborado a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

Se vio una conducta apropiada de la dinámica térmica, con curvas parecidas entre las repeticiones, lo que muestra que el proceso es uniforme a nivel operativo, no obstante, el estiércol (T4) mostró temperaturas máximas más altas y prolongadas en comparación con el compost tradicional (T1), debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno y compuestos fácilmente biodegradables aportados por el estiércol, este aporte favorece la respiración de microorganismos y la liberación de calor metabólico, lo que hace más intensa la fase termófila, este comportamiento se ha observado en procesos de compostaje con residuos animales, en los cuales una disminución de la C/N acelera el proceso de degradación de materia orgánica FAO, (2025).

Posteriormente, entre el día 15 y el 30 más o menos, la temperatura empezó a descender de manera gradual hasta situarse entre los 40 y los 50 °C, permaneciendo todavía en el rango biológicamente activo, esta disminución progresiva señala el uso de compuestos más biodegradables y la transformación hacia la descomposición de fracciones más intrincadas como lo son la hemicelulosa y la celulosa, se ha informado a través de estudios hechos con mezclas de estiércoles animales (Acosta Vidaurre, 2019). Al finalizar el proceso también se observaron características físicas adecuadas del material, presentando un olor agradable a tierra, color café oscuro y una textura suelta y homogénea, lo que indica que el abono alcanzó un buen nivel de estabilidad y madurez.



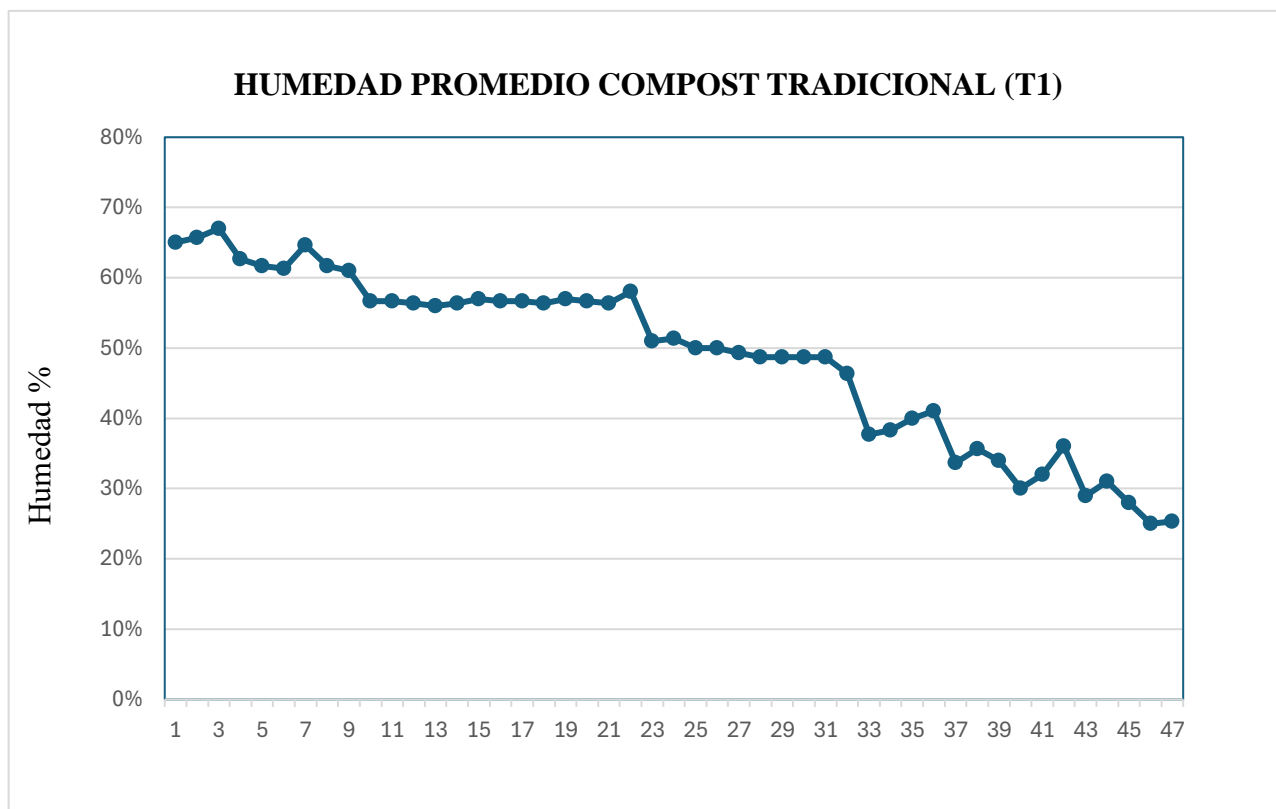
**Figura 7.** Comportamiento de la temperatura diaria del Tratamiento 4 (Compost + Estiércol) elaborado a partir de residuos del mercado y del rastro municipal.

#### 4.2.2. Humedad

La gráfica de humedad media del compost tradicional muestra que el contenido de agua se reduce lentamente durante todo el proceso, comenzando con cifras superiores al 60% y disminuyendo hasta cerca del 25 – 30 % en la fase final. En el compostaje aeróbico, es habitual este comportamiento, ya que el calor producido por la actividad de los microorganismos propicia que el agua del material se evapore, este mismo patrón ha sido registrado en investigaciones recientes; por ejemplo, el trabajo Jain & Kalamdhad, (2019), se reporta que el contenido de humedad disminuye conforme avanza el proceso debido a la degradación activa y a la pérdida de agua por evaporación.

De igual manera, el artículo de Wang, Pin, Ai, Cao, & Liu, (2015), describe que uno de los principales procesos que disminuyen la humedad es la conversión del agua de estado líquido a gaseoso, fenómeno que se vuelve más intenso a medida que la temperatura dentro de la pila sube, lo cual, esta propuesta concuerda con la tendencia que se ha observado en esta gráfica.

Finalmente, la disminución hasta porcentajes próximos al 25 – 30% durante la etapa de maduración indica que la actividad microbiana se ha reducido y el material se ha estabilizado más, lo cual concuerda con la fase final del proceso, en la que se consumen los compuestos fácilmente degradables y disminuye la producción de calor; por lo que la evidencia científica citada respalda que la tendencia descendente observada corresponde a la dinámica normal de un compostaje desarrollado bajo condiciones biológicas adecuadas, confirmando que la pérdida gradual de humedad es resultado directo de la actividad microbiana y del incremento térmico propio del proceso.

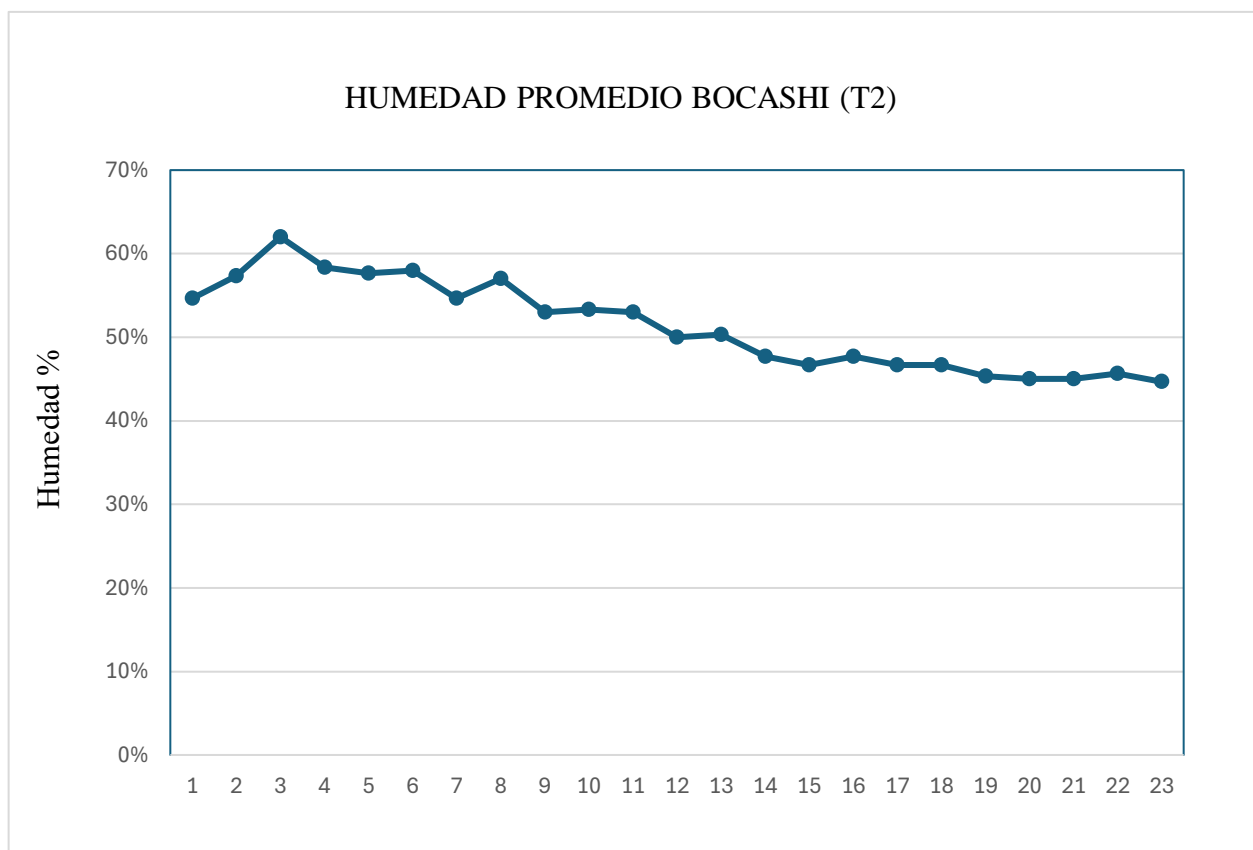


**Figura 8.** Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 1 (Compost tradicional) a partir de residuos del rastro y del mercado municipal de Comayagua.

La representación gráfica de la humedad promedio del bocashi (T2) revela una reducción progresiva del contenido de agua durante todo el proceso, comenzando con porcentajes de entre 55 % y 62 % y bajando hasta cerca del 44 – 46 % al final, esta variación moderada es coherente con la naturaleza del Bocashi, el cual corresponde a un abono orgánico obtenido mediante un proceso de fermentación aeróbica controlada y de corta duración.

En este contexto, Vizcarra & Eliseo, (2021) señalan que, cuando no se adiciona agua durante el proceso, el contenido de humedad disminuye progresivamente como consecuencia del aumento térmico interno y de la evaporación inducida por la actividad microbiana; este comportamiento respalda la tendencia descendente observada en el Bocashi, donde la pérdida de humedad ocurre de manera gradual conforme avanza la fermentación.

Este tratamiento (T2) muestra un comportamiento técnicamente adecuado y coherente con la dinámica propia de los procesos de fermentación aeróbica controlada; la disminución gradual del contenido de agua, sin descensos bruscos ni valores críticos, lo cual indica que el material mantuvo condiciones óptimas para la actividad microbiana durante todo el proceso.

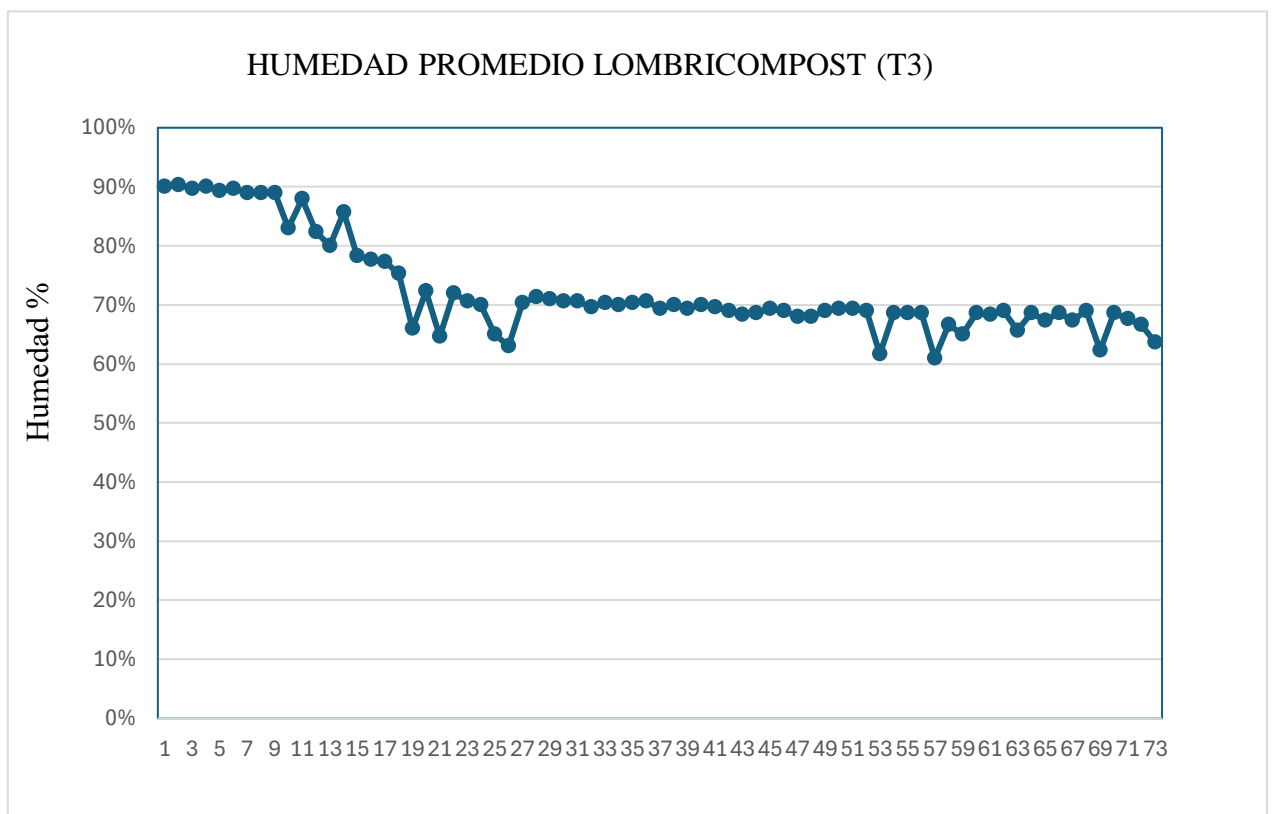


**Figura 9.** Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 2 (Bocashi) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

En el proceso de Lombricompostaje, la humedad es uno de los factores ambientales más importantes que influye directamente en la actividad de las lombrices y en la calidad del material final, niveles de humedad adecuados facilitan la respiración de las lombrices, la movilidad dentro del sustrato y la actividad microbiana que degrada la materia orgánica; estudios especializados han señalado que una humedad óptima para Lombricompostaje suele

estar en el rango de 50 % a 90 %, con valores cercanos a 60 – 80 % considerandos ideales para mantener condiciones aeróbicas y activar el proceso biológico sin que se vuelva anaeróbico, lo cual coincide con los porcentajes observados en este tratamiento (la mayoría de promedios entre 64 – 69 %) y permite un ambiente favorable para lombriz y los microorganismos asociados, Dominguez & Pérez - Díaz, (2023), además, investigaciones experimentales que han estudiado el Lombricompostaje con varios sustratos orgánicos han notado que la humedad afecta tanto la dinámica de crecimiento de las lombrices como la calidad del producto final.

A medida que avanzó el proceso, se observó una disminución pronunciada de la humedad hasta estabilizarse en un rango aproximado de 60 – 70 %, lo que refleja una transición hacia fases más maduras del lombricompostaje; Wang, (2015), señala que esta disminución gradual se debe a la evaporación controlada potenciada por la actividad metabólica de las lombrices y microorganismos, sin comprometer la estabilidad del sustrato.

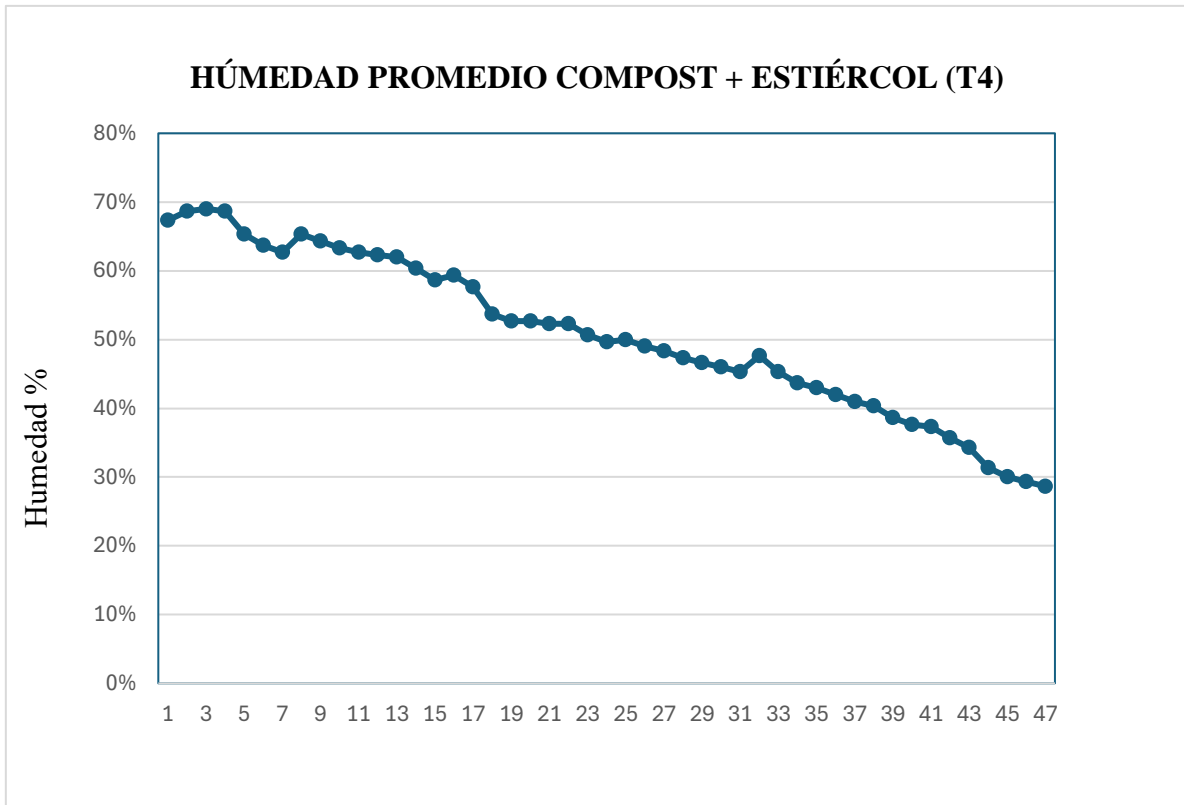


**Figura 10.** Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 3 (Lombricompost) a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua.

En la comparación entre el T1 (Compostaje convencional sin estiércol) y el T4 (Compostaje con estiércol) comenzaron con valores de humedad parecidos, alrededor del 65 – 69 %; no obstante, en el caso del T4 se vio una reducción más gradual y sostenida hasta llegar a cifras cercanas al 30 %, mientras que el T1 mostró oscilaciones más significativas y descensos menos homogéneos. Esta diferencia puede atribuirse a la incorporación de estiércol en el T4, el cual aporta mayor contenido de nitrógeno, humedad intrínseca y carga microbiana activa, factores que intensifican la actividad biológica y favorecen una transición más estable entre las fases del compostaje.

El T4 presentó una disminución constante de la humedad durante la etapa termófila, lo cual se debió al aumento de la temperatura y a la evaporación provocada por el calor metabólico producido por los microorganismos, por otro lado, el T1, que solo tiene residuos vegetales, podría haber mostrado una intensidad microbiana inicial más baja por tener una relación C/N más alta; esto afecta la dinámica térmica y, por lo tanto, la pérdida de agua; este comportamiento ha sido registrado en estudios que han analizado el compostaje con estiércol, como la investigación de Cabascango & Diego, (2023), en este trabajo se señala que las combinaciones con estiércol experimentan temperaturas más altas y una pérdida gradual de humedad a lo largo de la etapa actividad del procedimiento.

Además, investigaciones científicas han evidenciado que la humedad varía en función de la actividad microbiana y la intensidad térmica del sistema, lo cual señala que los tratamientos con más disponibilidad de nitrógeno tienen una descomposición más rápida y una evaporación del agua más constante; un caso es el artículo que se publicó en la revista por Ghanney, (2023), en el que se estudia como la humedad va disminuyendo a medida que progresa el compostaje, debido al aumento de temperatura y a la transformación de la materia orgánica.



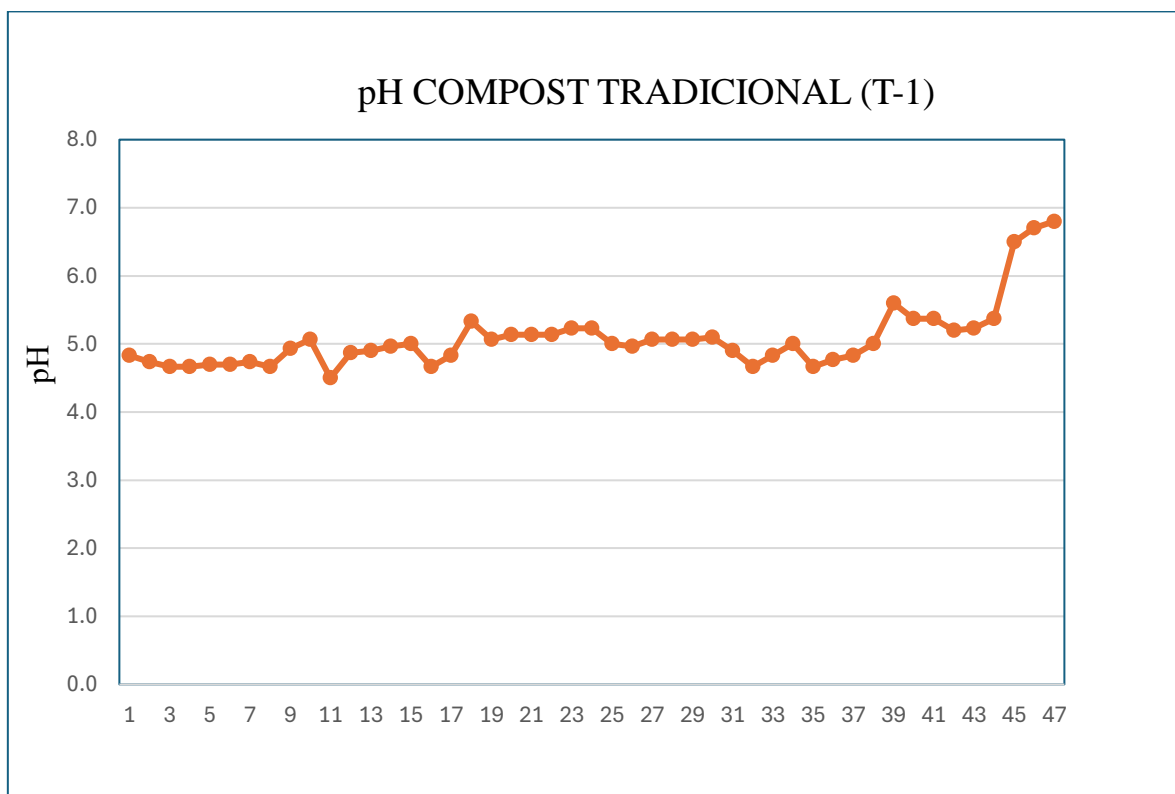
**Figura 11.** Humedad promedio diaria (n=3): Tratamiento 4 (Compost + Estiércol) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

#### 4.2.3. Ph

En el tratamiento T-1 (Compost Tradicional), el pH tuvo una tendencia típica de un proceso de compostaje en desarrollo, comenzando con valores ligeramente ácidos (4.7 – 5.0) a lo largo de los primeros días; esta situación se vincula con la creación de ácidos orgánicos debido a la degradación inicial de compuestos que son fácilmente biodegradables, por ejemplo azúcares y residuos vegetales frescos; esto es común durante la fase temprana del proceso de compostaje y ha sido documentado en investigaciones donde el pH desciende o se mantiene ácido porque se acumulan metabolitos orgánicos producidos por microorganismos mesófilos, como Compostando ciencia Lab., (2013), explica en su estudio sobre el pH en compostaje; el mismo señala que los ácidos orgánicos predominan en las primeras etapas del procedimiento.

Posteriormente, el pH mostró variaciones moderadas en torno a valores de 5.0 – 5.3, las cuales pueden estar vinculadas con un cambio en la actividad microbiana y el comienzo de procesos de mineralización, durante los cuales una parte de los ácidos generados se descompone gradualmente y empieza a aumentar la cantidad de compuestos nitrogenados; en este contexto, Pan, Dam, & Sen, (2011), indican que, a medida que el compostaje avanza, la descomposición de materia orgánica y la conversión del nitrógeno crean condiciones que tienden a incrementar el pH debido a la liberación de amonio y disminución de compuestos ácidos, lo que releja un proceso paulatino de estabilización del material orgánico.

Finalmente, en la etapa final del proceso, se notó un aumento significativo del pH, que llegó a rondar entre 6.5- y 6.8, este es un indicador positivo porque los valores cercanos a neutro suelen estar relacionados con un compost más maduro y estable, donde predominan los procesos de humificación y disminuye el surgimiento de ácidos orgánicos.

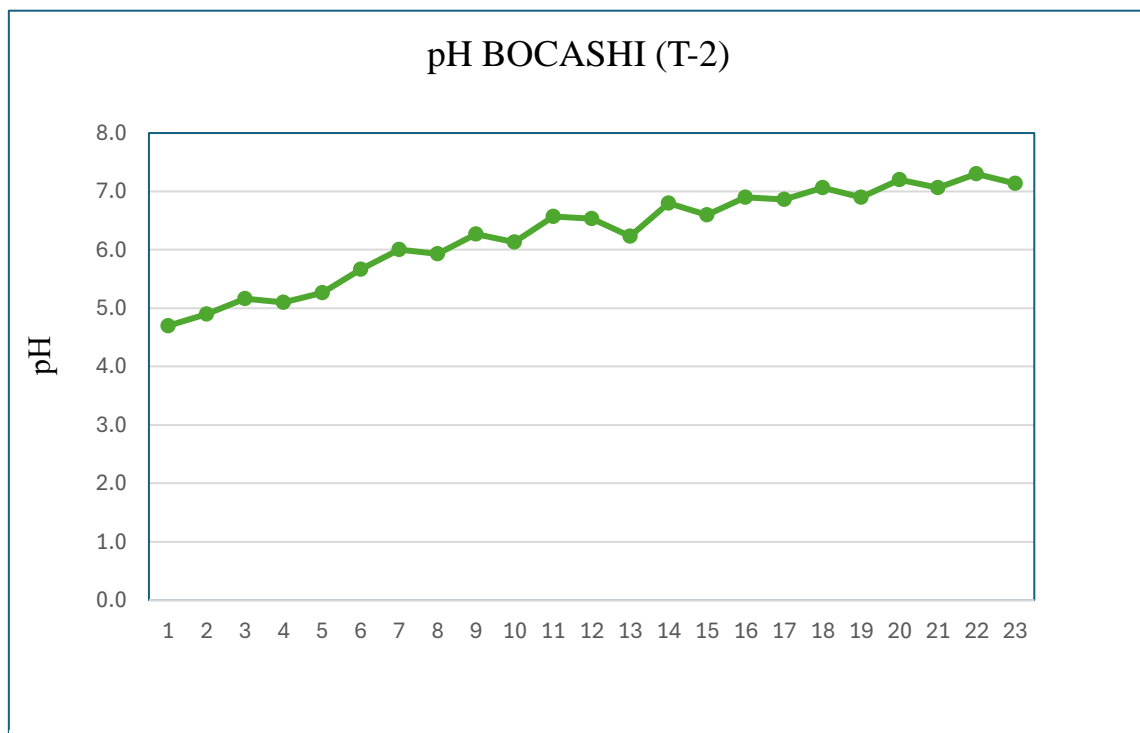


**Figura 12.** pH promedio diario (n=3): Tratamiento 1 (Compost Tradicional) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

En la evolución del pH en el tratamiento T-2, se observó una tendencia secuencial ascendente: comenzó en un estado de acidez notable (4.7) y se estableció en neutralidad (7.1), alrededor del día 23, lo que demuestra de manera indiscutible que hubo una fermentación exitosa; la etapa ácido génica, en la que los microorganismos anaerobios facultativos degradan carbohidratos solubles y producen ácidos orgánicos de cadena corta, es la responsable de esta acidez inicial; este proceso, que Restrepo Rivera, (2007) considera crucial para higienizar el abono al reducir el pH y eliminar patógenos, es fundamental.

Posteriormente, el incremento paulatino hacia valores neutros y ligeramente alcalinos se debe a la degradación de proteínas y la consecuente liberación de amoníaco, fenómeno que, sumado al consumo de los ácidos orgánicos por parte de la microbiota activa, coincide con lo expuesto por Ramos Agüero & Terry Alfonso, (2014) sobre la maduración bioquímica del Bocashi.

Finalmente, el registro de 7.1 al cierre del experimento posiciona al tratamiento dentro de los rangos óptimos de calidad agronómica establecidos por la FAO, (2013), garantizando que el producto final posee una alta estabilidad biológica, una adecuada disponibilidad de nutrientes para la rizósfera y una nula fitotoxicidad para el cultivo de interés.

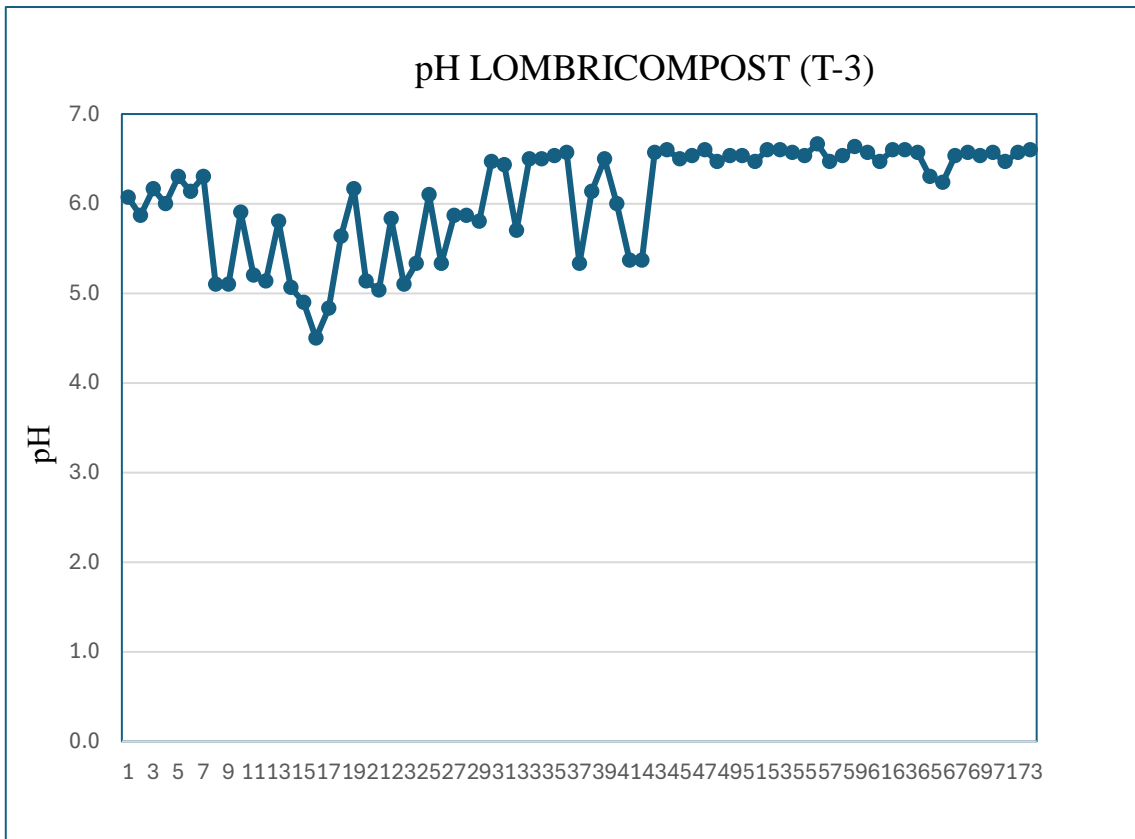


**Figura 13.** pH promedio diario (n=3): Tratamiento 2 (Bocashi) a partir de residuos del mercado y del rastro municipal de Comayagua.

El comportamiento del pH observado en la lombricompostaje (T-3) presenta una dinámica coherente con lo reportado en la literatura científica sobre Vermicompostaje, ya que inicialmente se registra una disminución del pH hasta valores ácidos (4.5-5.5), lo cual coincide con lo señalado por Majlessi, Eslami, & Babaii, (2012), quien indica que esta acidificación se debe a la producción de ácidos orgánicos durante la descomposición microbiana de la materia orgánica.

Evidenciando que los resultados obtenidos en este estudio siguen la misma tendencia descrita en sistemas de Vermicompostaje de residuos orgánicos; asimismo, las fluctuaciones intermedias observadas en la gráfica pueden relacionarse con la actividad microbiana y la transformación continua de compuestos nitrogenados, ya que, como mencionan Gong, Jin, Luo, & Huang, (2024), el pH puede variar debido a la conversión de amonio a nitratos y a la formación de sustancias húmicas y a la estabilización de la materia orgánica.

Lo que explica las oscilaciones registradas en el tratamiento T-3; finalmente la estabilización del pH en valores ligeramente ácidos a neutros hacia el final del proceso coincide con los reportado por Pigatin & Oliveira, (2016), quienes indican que un pH cercano a la neutralidad es característico de un lombricompostaje maduro debido a la formación de sustancias únicas y la estabilización de la materia.



**Figura 14.** pH promedio diario (n=3): Tratamiento 3 (T-3) a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua.

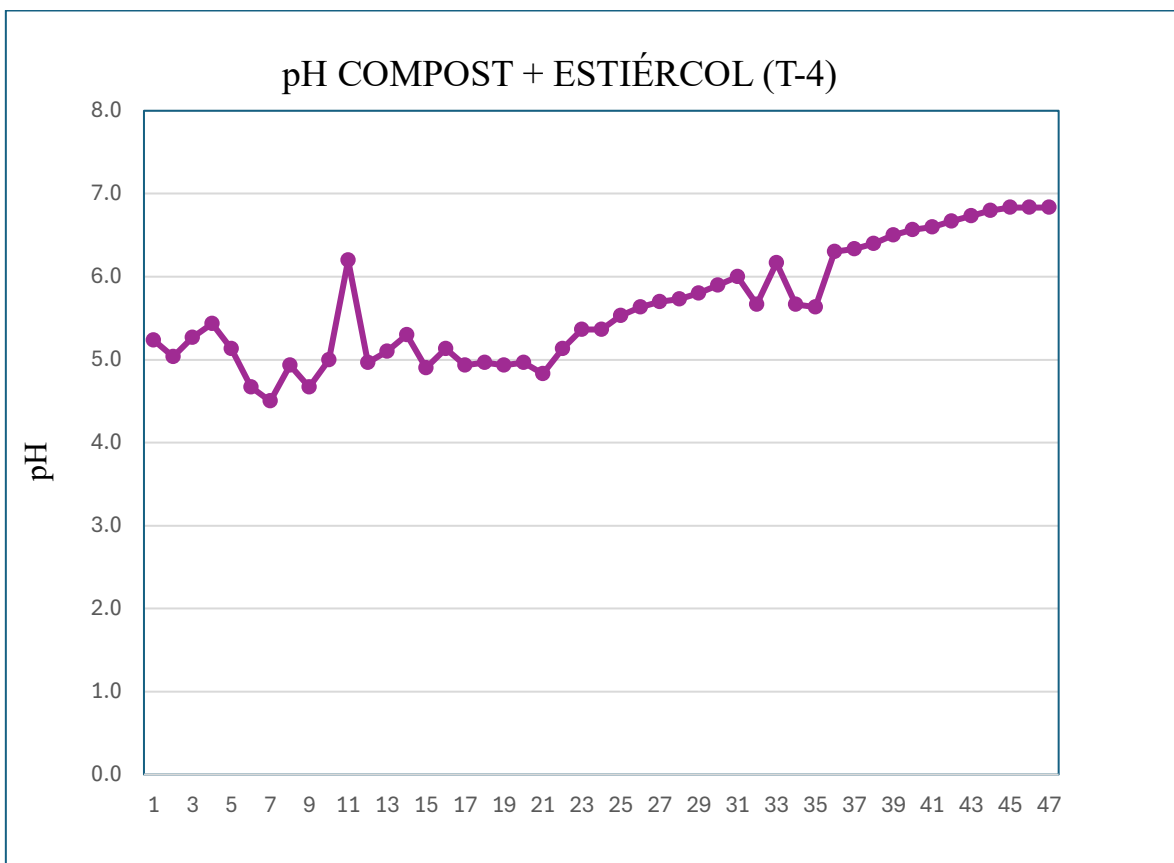
El comportamiento del pH observado en el tratamiento de compost + estiércol (T-4), muestra una evolución característica del proceso de compostaje aeróbico; en la gráfica se evidencia una fase inicial con valores ligeramente ácidos (4.5-5.5), seguida de un incremento progresivo hasta alcanzar valores cercanos a la neutralidad (6.8-6.9) en la etapa final. Esta tendencia indica un desarrollo adecuado del proceso y coincide con lo reportado en la literatura.

En la fase inicial, la acidez que se nota es consecuencia de que los compuestos biodegradables se descomponen rápidamente, generando así ácidos orgánicos; en este sentido, Román, Martínez, & Pantoja, (2013) indican en su manual de compostaje que el pH tiende a reducirse en los primeros momentos del proceso por la producción de ácidos orgánicos que se generan a causa de la actividad de microorganismos; esta conducta es consistente con los valores iniciales que se han registrado en el actual estudio.

Más adelante el aumento gradual del pH que se ve en la gráfica está relacionado con el cambio hacia la fase termofílica, durante la cual tiene lugar una fuerte degradación de compuestos nitrogenados; según Bernal, Alburquerque, & Moral, (2009), en esta fase se

genera amoníaco debido a la mineralización del nitrógeno orgánico, lo que causa un incremento en el pH. Esta conducta es consistente con lo que se ha observado en el presente estudio, en el cual el pH crece de manera continua a medida que progresa el proceso.

Asimismo, FAO, (2013) señala que el pH en el compostaje sigue un patrón típico: una fase ácida, seguida de un incremento hacia valores neutros o ligeramente alcalinos debido a la degradación de proteínas y la liberación de amoníaco, comportamiento que se observa claramente en la gráfica analizada; de igual forma afirma que en las etapas finales del proceso los valores de PH cercanos a la neutralidad indican un adecuado grado de estabilización de compost, ya que un compost maduro presenta valores de PH entre 6.0 y 7.5 rango considerado óptimo para su aplicación agrícola en ese sentido los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de los parámetros adecuados, lo que sugiere una buena calidad de producto final



**Figura 15.** pH promedio diario (n=3): Tratamiento 3 (T-3) a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua.

**Tabla 10** Materiales y cantidades para la elaboración de abonos.

ÁBONOS	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD
<b>COMPOST TRADICIONAL (T1)</b>	Viruta de madera	125.7	Libras
	Aserrín	62.8	Libras
	Cascarilla de café	188.5	Libras
	Frutas	439.75	Libras
	Verduras	439.75	Libras
	Cepas de microorganismos	2	Litros
		<b>1256.5 Lbr. - 5.70 q. – 570 Kilogramos</b>	
<b>BOCASHI (T2)</b>	Cascarilla de café	220.46	Libras
	Estiércol	220.46	Libras
	Huerta picada	220.46	Libras
	Materia vegetal	220.46	Libras
	Tierra	220.46	Libras
	Cepas de microorganismos	2	Litros
		<b>1102.3 Lbr. - 4.99 q. - 499.99 Kilogramos</b>	
<b>LOMBRICOMPOST (T3)</b>	Estiércol	19.84	Libras
	Frutas y verduras	24.25	Libras
	Pulpa de café	15.43	Libras
		<b>59.52 Lbr. (5 alimentaciones) - 1.34 q. - 134.99 Kilogramos</b>	
<b>COMPOST + ESTIÉRCOL (T4)</b>	Viruta de madera	220.46	Libras
	aserrín	154.32	Libras
	Cascarilla de café	220.46	Libras
	Estiércol	440.92	Libras
	Frutas	330.69	Libras
	Verduras	330.69	Libras
	Cepas de microorganismos	2	Litros
		<b>1697.54 Lbr. - 7.69 q. - 799.69 Kilogramos</b>	

**Tabla 11.** Matriz de caracterización de materias primas utilizadas para la elaboración de los abonos.

<b>Residuo Orgánico</b>	<b>Ejemplo específico</b>	<b>Relación C/N aproximada</b>	<b>Temperatura óptima de descomposición (°C)</b>	<b>Humedad recomendada (%)</b>	<b>pH inicial aproximado</b>
Residuos frutales	Cáscara de banano	25 – 35	40 – 55	50 – 60	5.5 – 6.0
Residuos frutales	Cáscara de papaya	20 – 30	40 – 55	50 – 60	5.5 – 6.0
Residuos frutales	Cáscara de piña	30 – 40	40 – 55	50 – 60	4.5 – 5.5
Residuos frutales	Cáscara de naranja	30 – 40	40 – 55	50 – 60	4.0 – 5.0
Residuos vegetales	Tomate	25 – 30	40 – 55	50 – 60	5.5 – 6.5
Residuos vegetales	Repollo	25 – 35	40 – 55	50 – 60	5.5 – 6.5
Residuos vegetales	Lechuga	20 – 30	40 – 55	50 – 60	6.0 – 6.5
Residuos vegetales	Pepino	20 – 30	40 – 55	50 – 60	6.0 – 6.5
Residuos vegetales	Cáscaras de yuca	30 – 40	40 – 55	50 – 60	5.5 – 6.5
Residuos vegetales	Restos de zanahoria	20 – 30	40 – 55	50 – 60	6.0 – 6.5
Residuos vegetales	Hojas de repollo	25 – 35	40 – 55	50 – 60	6.0 – 6.5
Residuos agrícolas	Hojas o tusa de elote	60 – 80	45 – 60	50 – 55	6.0 – 7.0
Residuos agrícolas	Hojas secas	40 – 80	40 – 55	40 – 50	6.0 – 7.0
Residuo agroindustrial	Pulpa de café	20 – 30	40 – 55	50 – 60	5.0 – 5.5
Residuo agroindustrial	Cascarilla de café	35 – 45	35 – 50	45 – 55	5.0 – 5.5
Residuo lignocelulósico	Aserrín	300 – 500	30 – 40	30 – 40	5.5 – 6.5
Residuo pecuario	Estiércol bovino	15 – 20	50 – 65	55 – 65	6.5 – 7.5

### 4.3. Análisis Nutricional de los resultados obtenidos

**Tabla 12** Análisis nutricional de abonos elaborados a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua.

ANÁLISIS QUÍMICO Y NUTRICIONAL						
%						
TRATAMIENTO	MO	N	P	K	REL C/N	pH
<b>T1 - Compost Tradicional</b>	10.3	0.156	0.01	0.7	11.6:1	7.77
<b>T2 - Bocashi</b>	7	0.214	0.01	0.9	11.6:1	7.70
<b>T3 - Lombricompost</b>	9.4	0.689	0.13	1.5	11.5:1	7.62
<b>T4 - Compost + Estiércol</b>	14.3	0.087	0.12	0.7	11.6:1	7.41

De manera general, los tratamientos evaluados presentaron características nutricionales que permiten clasificarlos como abonos orgánicos estabilizados, principalmente por su adecuada relación C/N y su contenido de macronutrientes esenciales.

En cuanto al nitrógeno (N), el tratamiento con mayor concentración fue el lombricompost (T3) con 0.689%, superando ampliamente el resto; este comportamiento es coherente con el proceso de lombricompostaje, el cual favorece la mineralización y la concentración del nitrógeno disponible; el compost tradicional (T1) y el bocashi (T2) lo siguen con 0.156% y 0.214%, respectivamente, mientras que el compost + estiércol (T4), con un valor de solo de 0.087% fue el que mostró la cifra más baja, a pesar de que este último exhibió una concentración menor, se puede vincular esta circunstancia con la pérdida de nitrógeno en la etapa termofílica, en particular por volatilización.

El lombricompost (T3) tuvo el contenido más alto de fósforo (P), con un 0.13% y después le siguió el compost + estiércol (T4) con un 0.12%; por otro lado, los valores de 0.01% observados en el compost tradicional (T1) y el bocashi (T2) lo cual puede atribuirse a procesos de inmovilización o menor mineralización del fósforo durante la degradación.

Respecto al potasio (K), el lombricompost (T3) sobresalió con un 1.5%, seguido por el bocashi (T2) con un 0.9%; por otro lado, tanto el T1 como el T2 mostraron cifras parecidas (0.7%), estos hallazgos sugieren que el lombricompostaje permite un incremento en la disponibilidad de potasio en el producto final. hecho significativo es que todos los tratamientos mostraron una relación C/N bastante parecida (11.5:1 . 11.6:1), lo que demuestra un nivel de madurez y estabilidad apropiado, dado que el material puede ser utilizado en la tierra sin peligro de inmovilización del nitrógeno, se lo considera ideal para compostajes finalizados.

En cuanto al Ph, todos los tratamientos presentaron valores ligeramente alcalinos, oscilando entre 7.41 y 7.77, lo cual indica que los abonos se encuentran dentro de un rango adecuado para su aplicación agrícola; el compost tradicional (T1) registró el valor más alto (7.77), seguido del bocashi (T2) con 7.70 y el lombricompost /T3) con 7.62; mientras que el compost + estiércol (T4) mostró el valor más bajo (7.41), aunque igualmente dentro de un cercano a la neutralidad. Estos resultados evidencian que los procesos de degradación orgánica alcanzaron una fase de estabilización, ya que durante el compostaje es común que el pH aumente en la etapa termofílica debido a la liberación de amoníaco producto de la descomposición de compuestos nitrogenados; posteriormente, al avanzar hacia la fase de maduración, el pH tiende a estabilizarse alrededor de valores neutros o ligeramente alcalinos, como los observados en el presente estudio.

Los valores de (MO) obtenidos en los tratamientos (7% - 14.3%) se encuentran dentro de los rangos reportados para compost estabilizados, considerando que durante el proceso de compostaje ocurre una reducción progresiva del carbono orgánico debido a la mineralización microbiana y su liberación como CO<sub>2</sub>, lo que provoca una disminución de la MO a medida que el material madura, así mismo, el manual de compostaje de la FAO, 2013, establece que los compost maduros presentan contenidos variables de MO debido a la transformación del carbono en compuestos húmicos más estables, indicando que valores moderados no implican baja calidad, sino mayor grado de humificación.

#### **4.4. Análisis costo – beneficio (Por Saco)**

Según la tabla (Tabla 5), la relación entre los beneficios y los costos fue el punto de partida para el análisis económico de los fertilizantes hechos. Se determinó dividiendo lo que se obtuvo por ingresos entre el costo de producción de cada tratamiento. Este indicador permite establecer la rentabilidad del proceso de producción, porque indica cuánto se recupera por cada unidad monetaria invertida; en este análisis, el compost tradicional (T1) mostró la relación costo – beneficio más alto (1.27), lo que implica que se ganan 1.27 Lempiras por cada Lempira invertido. Este resultado está relacionado con su menor costo de producción (L 110), ya que su producción necesita menos insumos y gestión técnica en comparación con otros tratamientos.

Sin embargo, al tener en cuenta el total de nutrientes (N + P + K) que se obtiene del análisis químico de los abonos, se ve que el lombricompost (T3) tuvo la concentración más alta (2.319 %), después el compost + estiércol (T4) y luego (0.866 %). Esto señala que, a pesar de que el compost convencional es el más redituable económicamente, otros tratamientos tienen un valor fertilizante superior por tener un mayor contenido de macronutrientes necesarios para el crecimiento vegetal.

En este contexto, los hallazgos indican que la valoración económica de los fertilizantes orgánicos no tiene que enfocarse solamente en lo que cuesta producirlos y en el dinero que estos generan, sino también en el valor agronómico del producto del producto que se determina por la cantidad de nutrientes que contiene, por ende, abonos como el lombricompost pueden ser más valiosos para los agricultores debido a que su contenido de fósforo, nitrógeno y potasio es mayor y, por lo tanto, favorece más al crecimiento de las plantas y a la fertilidad del terreno.

**Tabla 13** Relación Beneficio – Costo (por saco) de los diferentes abonos elaborados a partir de residuos del mercado y rastro municipal de Comayagua.

<b>TIPO DE ABONO</b>	<b>COSTO DE PRODUCCIÓN (L)</b>	<b>INGRESOS (L)</b>	<b>BENEFICIO NETO (L)</b>	<b>RELACIÓN BENEFICIO - COSTO</b>
Compost tradicional (T1)	110	140	30	1.27
Compost + estiércol (T4)	115	140	25	1.22
Lombricompost (T3)	120	140	20	1.17
Bocashi (T2)	125	140	15	1.12

## CONCLUSIONES

La evolución de diferentes proporciones de residuos orgánicos provenientes del mercado municipal y rastro de Comayagua demostró que es técnica y ambientalmente viable producir compost de alta calidad cuando se mantiene un equilibrio adecuado en la relación carbono/nitrógeno (C/N) y se controlan variables fundamentales como temperatura, humedad y pH. Los tratamientos que incluyeron estiércol mostraron una actividad térmica más potente, llegando a etapas termófilas de más de 55 °C, esto aseguró la higienización del material y una descomposición eficaz de compuestos orgánicos complejos, también se constató que el compost obtenido tiene estabilidad y madurez, pues los valores finales de pH están dentro del rango ideal (6-8) y las relaciones entre C/N oscilan entre 10:1 y 15:1; esto garantiza la capacidad agronómica del compost y su potencial para incrementar la fertilidad de la tierra.

Los métodos de compostaje que se analizaron tuvieron un impacto directo en la biología dinámica y en las propiedades del producto final; el compost tradicional mostró un balance entre la calidad del abono y el tiempo de procesamiento; el bocashi se caracterizó por su pronta estabilización a través de fermentación controlada; el lombricompostaje presentó una transformación biológica progresiva en condiciones mesófilas, produciendo un material muy estable con una presencia adecuada de compuestos húmicos. En cuanto al contenido nutricional, los tratamientos con más residuos nitrogenados mostraron un aumento en el valor fertilizante del producto final, particularmente en la concentración de nitrógeno; esto subraya lo fundamental que es formular adecuadamente las mezclas iniciales.

Desde el punto de vista económico y ecológico, la utilización de residuos del rastro municipal y del mercado representa una opción sostenible para manejar los residuos orgánicos en Comayagua. Todos los métodos mostraron viabilidad técnica bajo las condiciones experimentales del estudio, a pesar de que hay disparidades en términos de

costos operativos, tiempo de elaboración y requerimientos de manejo. Valorar estos residuos posibilita disminuir su disposición inadecuada, mitigar los efectos medioambientales relacionados y convertir un pasivo ambiental en un insumo agrícola de valor productivo, lo cual ayuda a robustecer prácticas de gestión sostenible y economía circular en la zona.

## RECOMENDACIONES

Para medir el impacto del compost en variables como el rendimiento , la mejora de las propiedades químicas y físicas del suelo, el desarrollo radicular y el crecimiento de las plantas, se sugiere examinar los efectos agronómicos del compost obtenido en ensayos de campo, se recomienda utilizarlo en una variedad de cultivos representativos de la zona de Comayagua.

Se recomienda seguir investigando la optimización de proporciones entre los residuos del rastro municipal y los de mercado, incluyendo nuevas combinaciones que faciliten el perfeccionamiento de la relación C/N inicial, el contenido nutricional final y la eficiencia del proceso.

Por último, se resalta la relevancia de seguir llevando a cabo investigaciones en el vivero municipal de Comayagua, dado que este constituye un área estratégica con gran potencial para producir soluciones ambientales a nivel local. La experiencia adquirida en este trabajo demostró qué lugar tiene las condiciones apropiadas para realizar investigaciones aplicadas con el objetivo de valorar residuos y reforzar la sostenibilidad agrícola en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (s.f.). Obtenido de <https://www.fao.org/4/ar127s/ar127s.pdf>
- Gutiérrez, P. (8 de Septiembre de 2022). *Qué es el compost y qué beneficios y utilidades tiene*. Obtenido de [www.elespanol.com](http://www.elespanol.com): [https://www.elespanol.com/enclaves-ods/historias/20220908/compost-beneficios-utilidades/701679945\\_0.html](https://www.elespanol.com/enclaves-ods/historias/20220908/compost-beneficios-utilidades/701679945_0.html)
- Acosta Castellanos, P. M., Pacheco García, B., Cuéllar, L. A., & Díaz Pita, M. (6 de Agosto de 2019). *Análisis de variables físicas y microbiológicas en el proceso de compostaje de biosólidos en pilas menores a un metro cúbico*. Obtenido de [ojs.tdea.edu.co/index.php](http://ojs.tdea.edu.co/index.php):  
<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/576>
- Acosta Vidaurre, R. (2019). *Características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de animales con rastrojo*. Obtenido de [ww.academia.edu/116360044](http://ww.academia.edu/116360044):  
[https://www.academia.edu/116360044/Caracter%C3%ADsticas\\_f%C3%ADsticas\\_q%C3%ADmicas\\_microbiol%C3%B3gicas\\_y\\_efectividad\\_agron%C3%B3mica\\_del\\_abono\\_l%C3%ADquido\\_Biol\\_obtenido\\_por\\_digesti%C3%B3n\\_anaerobia\\_de\\_esti%C3%A9rcol\\_de\\_animales\\_con\\_rastrojo](https://www.academia.edu/116360044/Caracter%C3%ADsticas_f%C3%ADsticas_q%C3%ADmicas_microbiol%C3%B3gicas_y_efectividad_agron%C3%B3mica_del_abono_l%C3%ADquido_Biol_obtenido_por_digesti%C3%B3n_anaerobia_de_esti%C3%A9rcol_de_animales_con_rastrojo)
- Acosta, B. (10 de Julio de 2024). *Bokashi o Bocashi compost: qué es y cómo hacerlo*. Obtenido de [www.ecologiaverde.com](http://www.ecologiaverde.com): [https://www.ecologiaverde.com/bokashi-o-bocashi-compost-que-es-y-como-hacerlo-2102.html#anchor\\_0](https://www.ecologiaverde.com/bokashi-o-bocashi-compost-que-es-y-como-hacerlo-2102.html#anchor_0)
- ANACAFE GUATEMALA. (2025). *PRODUCCIÓN DE LOMBRICOMPOST*. Obtenido de [www.anacafe.org](http://www.anacafe.org): [www.anacafe.org](http://www.anacafe.org)
- Bajo, J. (18 de Abril de 2021). *Optimización del proceso de compostaje Bokashi utilizando microorganismos efectivos-1 en un contenedor inteligente de compostaje*. Obtenido de [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov): <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8073414/?utm>
- BBVA. (10 de Octubre de 2024). *¿Qué es el compost y cuáles son sus fases? El poder del suelo vivo*. Obtenido de [www.bbva.com](http://www.bbva.com):  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/>

- Bernal, M. P., Alburqueque, J. A., & Moral, R. (Noviembre de 2009). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852408009917?via%3Dihub>
- Blanco, I. (17 de Diciembre de 2017). *Compost: ¿Qué es y cuáles son sus beneficios?* Obtenido de [www.deraizchile.cl](http://www.deraizchile.cl): <https://www.deraizchile.cl/blogs/noticias/compost-que-es-y-cuales-son-sus-beneficios>
- Bonilla Padilla, M. (Marzo de 2007). *GUÍA PARA EL MANEJO*. Obtenido de <file:///C:/Users/galle/Downloads/Guia%20de%20Manejo%20de%20Residuos%20de%20Rastros%20COFEPRIS.pdf>
- Cabascango, C., & D. E. (2023). *Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la Granja Experimental ECAA*. Obtenido de <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/42804>
- Campos, J., & Salazar, F. (30 de Julio de 2020). *Compostaje y abonos orgánicos*. Obtenido de <https://www.biopunto.cl/>: <https://www.biopunto.cl/2020/07/30/proceso-compostaje-em/>
- Castro, M. (1 de Febrero de 2021). *Residuos sólidos*. Obtenido de [www.lifeder.com](http://www.lifeder.com): <https://www.lifeder.com/residuos-solidos/>
- Catalán, J. A. (23 de Junio de 2018). *¿CUÁL ES EL MEJOR ESTIÉRCOL?* Obtenido de <https://huertodejose.blogspot.com/>: <https://huertodejose.blogspot.com/2018/06/cual-es-el-mejor-estiercol-para-suelos.html>
- ComeFruta. (6 de Octubre de 2023). *Bocashi, qué es, cómo prepararlo y utilizarlo*. Obtenido de [comefruta.es](http://comefruta.es): <https://comefruta.es/bocashi-que-es-y-como-prepararlo-y-utilizarlo>
- Compost y Reciclaje. (2025). *Compostaje aeróbico: Ventilación y oxigenación para un compost más rápido*. Obtenido de [compostyreciclaje.net](http://compostyreciclaje.net): <https://compostyreciclaje.net/fundamentos-del-compostaje/compostaje-aerobico-ventilacion-oxigenacion-compost-mas-rapido/>

- Compostaje. (12 de Noviembre de 2024). *Investigación experimental*. Obtenido de <https://www.significados.com/investigacion-experimental/>
- Compostando ciencia Lab. (13 de Noviembre de 2013). *El pH durante el compostaje*. Obtenido de <https://www.compostandociencia.com/>  
<https://www.compostandociencia.com/2013/11/ph-en-el-compostaje-html>
- Concepto.es. (2025). *Compost*. Obtenido de [conceptos.es: https://conceptos.es/compost](https://conceptos.es/compost)
- CONCIENCIA ECO. (19 de Julio de 2013). *¿Qué es el compostaje?* Obtenido de [www.concienciaeco.com: https://www.concienciaeco.com/2013/07/19/que-es-el-compostaje/](https://www.concienciaeco.com/)
- Conciencia Verde. (7 de Agosto de 2020). *¿Qué es la composta? (su importancia)*. Obtenido de [concienciaverde.com.mx: https://concienciaverde.com.mx/2020/08/07/que-es-la-composta/](https://concienciaverde.com.mx/)
- Contreras, R. (28 de Agosto de 2022). *Fases del proceso de compostaje: cómo se hace el compost*. Obtenido de [biologia.laguia2000.com: https://biologia.laguia2000.com/microbiologia/fases-del-proceso-de-compostaje-como-se-hace-el-compost](https://biologia.laguia2000.com/)
- Díaz Pérez, A. (26 de Diciembre de 2025). *Compostar con aserrín*. Obtenido de [https://compostfacil.com/: https://compostfacil.com/como-hacer-composta-con-aserrin/](https://compostfacil.com/)
- Díaz Pérez, A. (15 de Septiembre de 2025). *Vermicompostaje: Guía completa para transformar residuos en abono*. Obtenido de [https://compostfacil.com/: https://compostfacil.com/que-es-un-vermicompostaje/](https://compostfacil.com/)
- Dominguez, J., & Pérez - Díaz, D. (2023). *Desarrollo y nuevas perspectivas del*. Obtenido de [jdguez.webs.uvigo.es: https://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2011/12/Desarrollo-y-nuevas-perspectivas-del-Vermicompostaje.pdf?utm\\_source](https://jdguez.webs.uvigo.es/)
- Enciclopedia Online. (3 de Mayo de 2019). *Residuos orgánicos*. Obtenido de [enciclopediaonline.com: https://enciclopediaonline.com/es/residuos-organicos/](https://enciclopediaonline.com/)
- FAO. (2013). *El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura en América Latina*. Obtenido de [openknowledge.fao.org: https://www.fao.org/4/ar127s/ar127s.pdf](https://www.fao.org/)

- FAO. (2013). *MANUALES*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737323/8\\_Elaboracion\\_de\\_Bocashi.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737323/8_Elaboracion_de_Bocashi.pdf)
- FAO. (2025). *El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina*. Obtenido de [www.fao.org](https://www.fao.org/4/ar127s/ar127s.pdf): <https://www.fao.org/4/ar127s/ar127s.pdf>
- FEMASE. (2 de Febrero de 2024). *La gestión de residuos en los mercados de abastos: retos y soluciones*. Obtenido de [sostenibilidadfemase.es](https://sostenibilidadfemase.es/la-gestion-de-residuos-en-los-mercados-de-abastos-retos-y-soluciones/): <https://sostenibilidadfemase.es/la-gestion-de-residuos-en-los-mercados-de-abastos-retos-y-soluciones/>
- Fernandez Marin, L. H. (11 de Julio de 2024). *El significado del compostaje: una guía completa*. Obtenido de [malva.com.es](https://malva.com.es/blog/q-significa-compostaje/): <https://malva.com.es/blog/q-significa-compostaje/>
- Fundació de la Jardineria i el Paisatge. (20 de Abril de 2022). *¿Qué es el vermicompostaje o compostaje con lombrices?* Obtenido de [www.ntjdegardineria.org](https://www.ntjdegardineria.org/guia-de-buenas-practicas-para-los-sistemas-de-vermicompostaje/): <https://www.ntjdegardineria.org/guia-de-buenas-practicas-para-los-sistemas-de-vermicompostaje/>
- Ghanney, P. (2023). *Efectos inducidos por la humedad sobre las fracciones lignocelulósicas y de humificación en paja y estiércol compostados aeróbicamente*. Obtenido de [www.mdpi.com](https://doi.org/10.3390/fermentation9060551): <https://doi.org/10.3390/fermentation9060551>
- Gimeno, J. (2012). *Lombricompost: Explicando el humus de lombriz a detalle*. Obtenido de [ecomaria.com](https://ecomaria.com/blog/lombricompost-humus-lombriz/): <https://ecomaria.com/blog/lombricompost-humus-lombriz/>
- Gobierno de España. (20 de Abril de 2025). *VALORIZACIÓN Y RECICLAJE MATERIAL*. Obtenido de [www.miteco.gob.es](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/tratamientos-biologicos-compostaje.html): <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/tratamientos-biologicos-compostaje.html>
- Gong, X., Jin, L., Luo, M., & Huang, J. (Noviembre de 2024). *Efecto de aditivos minerales y añadidos de bacterias oxidantes de amoníaco sobre las propiedades fisicoquímicas, la retención de nitrógeno y la dinámica microbiana durante el vermicompostaje de estiércol de gallina y residuos verdes*. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/>:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186424003213>

HANNA instrumentos. (2021). *TECNOLOGÍA Y GESTIÓN CONECTADOS*. Obtenido de <https://hannacolombia.com>

Internacional Report. (12 de Marzo de 2025). *El Cambio Climático desafíos globales y respuestas urgentes*. Obtenido de [www.mundo-internationalreport.com](http://www.mundo-internationalreport.com): <https://www.mundo-internationalreport.com/el-cambio-climatico-desafios-globales-y-respuestas-urgentes>

INTERNACO. (2 de Septiembre de 2024). *Parámetros para conocer la calidad del compost*. Obtenido de [internacomedioambiente.es](http://internacomedioambiente.es): <https://internacomedioambiente.es/parametros-para-conocer-la-calidad-del-compost/>

Iruri de Soto, R., & Ensueño, L. (2018). *Evaluación de temperatura, pH, humedad, residuos sólidos orgánicos*. Obtenido de [alicia.concytec.gob.pe](http://alicia.concytec.gob.pe): <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8753>

Jain, & Kalamdhad. (11 de Abril de 2019). *Variación en los indicadores clave durante el compostaje de residuos orgánicos sólidos municipales*. Obtenido de [link.springer.com/article](http://link.springer.com/article): <https://link.springer.com/article/10.1186/s42834-019-0012-9?utm>

Jain, M. S. (11 de Abril de 2019). *Variación en los indicadores clave durante el compostaje de residuos orgánicos sólidos municipales*. Obtenido de [https://link.springer.com/article/10.1186/s42834-019-0012-9?utm\\_](https://link.springer.com/article/10.1186/s42834-019-0012-9?utm_)

jardinesolutions. (2025). *Cómo se elabora el compostaje en los sistemas domésticos*. Obtenido de [jardinesolutions.com](http://jardinesolutions.com).

Jiménez, D., Merchán, J., & Tigre, J. (21 de Octubre de 2021). *Obtención de celulosa bacteriana a base de kombucha por sustitución de té negro por té de cáscara de café*. Obtenido de <https://revistas.ug.edu.ec/i>: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd/es/article/download/1502/3607?inline=1&>

Lalremruati, M., & Devi, A. S. (10 de Agosto de 2021). *Duración del compostaje y cambios en la temperatura, pH y proporción C/N durante el compostaje: Una revisión*.

- Obtenido de arccjournals.com: <https://arccjournals.com/journal/agricultural-reviews/R-2197>
- Lifeder. (2025). *Lombricomposta*. Obtenido de [www.lifeder.com](http://www.lifeder.com): <https://www.lifeder.com/lombricomposta/>
- Majlessi, M., Eslami, A., & Babaii, S. (12 de Diciembre de 2012). *Vermicompostaje de residuos alimentarios: evaluación de la estabilidad y madurez*. Obtenido de <https://link.springer.com/>: <https://link.springer.com/article/10.1186/1735-2746-9-25>
- Mojica, J., Perez, W. H., & Sanchez, E. M. (27 de Mayo de 2025). *Residuos vegetales generados en plazas de mercado: alternativas para su*. Obtenido de <file:///C:/Users/galle/Downloads/Art+01+-+2884.pdf>
- Mosquera, A., Melo, M., Quiroga, C., Diego Avendaño, Barahona, M., Galindo, F., . . . Sosa, d. (22 de Abril de 2016). *Evaluación de fertilización orgánica en caféto (Coffea arabica) con pequeños productores de Santander, Colombia*. Obtenido de <file:///C:/Users/galle/Downloads/4207.htm>
- ONU. (27 de Julio de 2021). *Compostar puede ayudarnos a reducir nuestro impacto en el planeta*. Obtenido de [www.unep.org](http://www.unep.org): <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/compostar-puede-ayudarnos-reducir-nuestro-impacto-en-el-planeta>
- Osorio Torres, & R. J. (2022). *Optimizaciones en la gestión de emisiones de Gei en una empresa de transmisión de energía eléctrica*. Obtenido de [repositorio.lamolina.edu.pe](http://repositorio.lamolina.edu.pe): <https://repositorio.lamolina.edu.pe/>
- Pan, L., Dam, B., & Sen, S. (17 de Noviembre de 2011). *Composting of common organic wastes using microbial inoculants*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/>: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3376866/>
- Pigatin, L., & Oliveira, M. (8 de Febrero de 2016). *Chemical study of vermicomposted agroindustrial wastes*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-016-0117-7>: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-016-0117-7>

- PNUD. (12 de Agosto de 2024). *Comayagua: una ciudad referente en el manejo de desechos sólidos orgánicos*. Obtenido de inncontext.net: <https://inncontext.net/357-comayagua-una-ciudad-referente-en-el-manejo-de-desechos-solidos-organicos/>
- Portal fruticola. (14 de Julio de 2017). *Guía de compostaje del agricultor. Incluye Manual en PDF*. Obtenido de [www.portalfruticola.com](http://www.portalfruticola.com): <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/07/14/guia-de-compostaje-del-agricultor-incluye-manual-en-pdf/>
- PortalFruticola. (18 de Julio de 2018). *Formulación y dosis para preparación de Bocashi, un abono orgánico*. Obtenido de [www.portalfruticola.com](http://www.portalfruticola.com): <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/07/09/formulacion-y-dosis-para-preparacion-de-bocashi-un-abono-organico/>
- Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (Diciembre de 2014). *Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu>: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000400007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007)
- recogidaselectiva. (2025). *¿Qué es el compostaje anaeróbico?* Obtenido de [recogidaselectiva.com](http://recogidaselectiva.com): <https://recogidaselectiva.com/blog/que-es-el-compostaje-anaerobico>
- Repsol. (11 de Septiembre de 2023). *Cómo gestionar de manera eficiente los desechos*. Obtenido de [www.repsol.com](http://www.repsol.com): <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/residuos-organicos/index.cshtml>
- Restrepo Rivera, J. (Enero de 2007). *Manual práctico*. Obtenido de <https://www.semillas.org.co>: <https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/el-abc-de-la-agricultura-organica-y-harina-de-rocas-jairo-restrepo-1.pdf>
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/>: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86a00877-877d-4fa7-8608-32071e1464d8/content>
- Romero, C. (2025). *Compost en pila: Transforma desechos en oro negro según permacultura*. Obtenido de [permaculturaviva.info](http://permaculturaviva.info):

[https://permaculturaviva.info/compost-en-pila-transforma-desechos-en-oro-negro-segun-permacultura/#%C2%BFQu%C3%A9\\_es\\_el\\_compostaje\\_en\\_pila?](https://permaculturaviva.info/compost-en-pila-transforma-desechos-en-oro-negro-segun-permacultura/#%C2%BFQu%C3%A9_es_el_compostaje_en_pila?)

Schuldt, M. (8 de Noviembre de 2022). *Relación Carbono/Nitrógeno en Compostaje*. Obtenido de <https://es.scribd.com/>:

<https://es.scribd.com/document/851295557/relacion-c-n-0>

Soliva, M., & Lopez, M. (Noviembre de 2004). *Calidad del Compost*. Obtenido de [ruralcat.gencat.cat](http://ruralcat.gencat.cat):

[https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/81510/Altres3\\_Calidad+del+compost\\_+influencia+del+tipo+de+material+tratado+y+delas+condiciones+del+proceso..pdf/80b5b931-0521-426b-a733-6be0ac2d3a68](https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/81510/Altres3_Calidad+del+compost_+influencia+del+tipo+de+material+tratado+y+delas+condiciones+del+proceso..pdf/80b5b931-0521-426b-a733-6be0ac2d3a68)

Spiegato. (2025). *¿Qué es el compostaje aeróbico?* Obtenido de [spiegato.com](https://spiegato.com): [https://spiegato.com/es/que-es-el-compostaje-aerobico#google\\_vignette](https://spiegato.com/es/que-es-el-compostaje-aerobico#google_vignette)

Stefan. (14 de Febrero de 2025). *7 Ventajas Ambientales del Compostaje*. Obtenido de [compostechla.com](https://compostechla.com)/blog/7: <https://compostechla.com/blog/7-ventajas-ambientales-compostaje/>

Tito, B. (20 de Octubre de 2021). *Residuos inorgánicos adecuados: ejemplos, reciclables*. Obtenido de [ingenieriaambiental.net](https://ingenieriaambiental.net): <https://ingenieriaambiental.net/residuos-inorganicos/>

Tortosa, G. (18 de Abril de 2013). *Factores que influyen en el proceso de compostaje*. Obtenido de [www.compostandociencia.com](http://www.compostandociencia.com): <https://www.compostandociencia.com/2013/04/factores-influyen-compostaje-html/>

Universidad Europea. (26 de Agosto de 2025). *¿Qué es el compost y qué tipos existen?* Obtenido de <https://universidadeuropea.com/>: <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-compostaje/>

VermiHumus. (2025). *¿Cuál es el proceso de la lombricomposta?* Obtenido de [www.vermihumus.es](http://www.vermihumus.es): <https://www.vermihumus.es/cual-es-el-proceso-de-la-lombricomposta/>

Vizcarra, A., & Eliseo, A. (2021). *Efecto de la humedad en el compostaje sin la aplicación de agua para la obtención de compost – distrito Moquegua*. Obtenido de [repositorio.ucv.edu.pe](https://hdl.handle.net/20.500.12692/88519): <https://hdl.handle.net/20.500.12692/88519>

Wang, Y., Pin, Ai, P., Cao, H., & Liu, Z. (Octubre de 2015). *Predicción de la variación de humedad durante el proceso de compostaje: Una comparación de modelos matemáticos*. Obtenido de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com): [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415008913?utm\\_source=](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415008913?utm_source=)

## ANEXOS

### Anexo 1 Pasos para la elaboración de cepas de microorganismos.

#### ELABORACIÓN DE CEPAS DE MICROORGANISMOS (20 L.)



Seleccionar el recipiente y llenar con agua llovediza (preferiblemente) hasta un nivel medio.



Agregar 5 litros de melaza y 5 kilos de estiércol en una cubeta, luego mezclamos (con una varilla de madera sin recubrimientos ni pintura).



Disolvemos 500 gramos de levadura en agua tibia.



Mezclamos 5 litros de leche o suero fresco con la levadura disuelta en agua.



Se agregó todo a un recipiente plástico de 80 litros, luego lo tapamos de manera parcial y esperamos su activación dentro de 30 minutos.



**Anexo 2** Pesado y recolección de las materias primas.

**RECOLECCIÓN Y PESADO DE LAS MATERIAS PRIMAS**



**Frutas y verduras**



**Estiércol**



**Frutas y verduras**



**Fibra de coco**



**Huerta picada**

## RECOLECCIÓN Y PESADO DE LAS MATERIAS PRIMAS



**Cascarilla de café**



**Aserrín**



**Tierra**

**Anexo 3** Elaboración de los abonos.



#### Anexo 4. Análisis de abonos.



Pesado de muestras



Introducir las muestras al horno



Análisis de materia orgánica



Análisis de materia orgánica



Macronutrientes



Análisis de pH



Macronutrientes