

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Producción de compost con residuos domésticos orgánicos
utilizando compostera de doble tambor con reflectores solares
a condiciones de 3533 msnm**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Noe Calsina Rosa

Ruth Fiorela Mamani Huanca

Mary Rosalinda Alvarez Tapara

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, febrero de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“PRODUCCIÓN DE COMPOST CON RESIDUOS DOMÉSTICOS ORGÁNICOS UTILIZANDO COMPOSTERA DE DOBLE TAMBOR CON REFLECTORES SOLARES A CONDICIONES DE 3533 msnm”** de los autores **Noe Calcina Rosa, Ruth Fiorela Mamani Huanca** y **Mary Rosalinda Alvarez Tapara** tiene un índice de similitud de 7% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca a los 13 días del mes de febrero del año 2025.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 11 día(s) del mes de febrero del año 2025 siendo las 10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Msc. Miguel Ángel Sacedo Enriquez el (la) secretario(a): Ing. Verónica Haydee

Pari Mamani y los demás miembros: Mg. Franclyn Clard Zapana

Yvira Msc. Loayda Abigail Bondoni Turpo y el (la) asesor(a) Mtra. Juan Eduardo Vigo

Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Producción de compost con residuos domésticos orgánicos utilizando compostera de doble tambor con reflectores solares a condiciones de 3593 msnm"

del(los) bachiller(es): a) Noe Balsina Rosa

b) Ruth Fiorela Mamani Huanca

c) Mary Rosalinda Alvarez Tapara

..... conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Noe Balsina Rosa

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Ruth Fiorela Mamani Huanca

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c): Mary Rosalinda Alvarez Tapara

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor/a

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (c)

AGRADECIMIENTO

Noe Calsina Rosa

Con gratitud reconozco, ante todo, la guía y misericordia de Dios, sostén de mi vida y de cada paso en este trayecto académico. A mis padres, **Manuel Calsina Sierra** y **Milka Rosa Triveño**, les debo el ejemplo de perseverancia, el amor que alienta y los sacrificios silenciosos que allanaron mi camino. Su confianza inquebrantable ha sido mi mayor inspiración y la base de todo logro alcanzado.

Ruth Fiorela Mamani Huanca

Agradezco a Dios por la vida, la fortaleza y la sabiduría que me permitieron culminar esta etapa. A mi madre, **Rebeca Huanca Quinto** y **Fermín Santos Mamani Apaza**, mi admiración por su entrega incansable y su apoyo sin límites; a mi padre, mi reconocimiento por el respaldo económico que hizo posible concentrarme plenamente en mis estudios. Extiendo, asimismo, un sincero agradecimiento a mis amigos de la iglesia: sus oraciones y palabras de ánimo fortalecieron mi espíritu y contribuyeron de forma decisiva a este logro.

Mary Rosalinda Alvarez Tapara

Mi gratitud se dirige, a Dios, quien iluminó cada decisión y me infundió valor para avanzar. A mis padres, **Agripino Alvarez Olarte** e **Inés R. Tapara Llave**, les agradezco el apoyo constante, los esfuerzos invisibles y la fe que depositaron en mí. Finalmente, a mi familia y amigos, gracias por recordarme que los inicios pueden ser modestos, pero la perseverancia convierte el esfuerzo y las pruebas en prosperidad: ustedes avivaron mi confianza y me animaron a perseguir mis sueños.

Lista de Contenido

AGRADECIMIENTO	iv
Resumen.....	9
Abstract.....	10
1. Introducción	11
2. Materiales y Métodos	12
2.1. Diseño de la investigación	12
2.2. Proceso y evaluación de la investigación.....	13
2.3. Instalación de compostera circular rotatoria.....	16
3. Resultados.....	18
3.1. Comportamiento de la temperatura	18
3.2. Comportamiento del potencial de hidrógeno.....	19
3.3. Comportamiento de la Humedad.....	21
3.4. Análisis químico del compostaje.....	22
4. Discusiones	25
5. Conclusión	28
Lista de Referencias	29

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Descripción de la caracterización de los residuos orgánicos compostados.....</i>	<i>14</i>
Tabla 2. <i>Parámetros Fisicoquímicos Óptimos de Residuos Compostables</i>	<i>15</i>
Tabla 3. <i>Fases de compostaje en relación a valores de parámetros</i>	<i>19</i>
Tabla 4. <i>Calidad de compost final producida en comparación con la normativa chilena.....</i>	<i>23</i>

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Diseño de la compostera con el aislante térmico y de los reflectores de aluminio</i>	13
Figura 2. <i>Vista de posición de composteras cilíndricas en área de estudio</i>	17
Figura 3. <i>Comportamiento de la temperatura de la compostera (CCR), y la temperatura ambiental (T.AMB)</i>	18
Figura 4. <i>Comportamiento del potencial de hidrogeno</i>	20
Figura 5. <i>Comportamiento de Temperatura en las tres composteras</i>	22
Figura 6. <i>Construcción de las composteras</i>	35
Figura 7. <i>Instalación de las composteras de doble tambor</i>	35
Figura 8. <i>Segregación de residuos verdes y residuos marrones</i>	36
Figura 9. <i>Volteo de compostaje</i>	36
Figura 10. <i>Proceso de elaboración de compost</i>	37
Figura 11. <i>Producto final de compost</i>	37

Lista de Anexos

Anexo 1. Evidencia de la sumisión de artículo en una revista de prestigio	33
Anexo 2. Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.....	34
Anexo 3. Panel Fotográfico	35

Producción de compost con residuos domésticos orgánicos utilizando compostera de doble tambor con reflectores solares a condiciones de 3533 msnm

Resumen

El inadecuado manejo de residuos sólidos orgánicos en zonas altoandinas plantea un desafío ambiental significativos. Este estudio evaluó la eficiencia del compostaje de residuos sólidos orgánicos domiciliarios mediante un sistema de doble tambor con reflectores solares en condiciones altoandinas. Se implementaron tres tratamientos con dos repeticiones cada uno, utilizando tres composteras con dos compartimentos cada una. El diseño experimental correspondió a un arreglo factorial con un solo factor y tres unidades experimentales (T1, T2 y T3), con tres repeticiones por unidad. Cada unidad experimental contenía 40 kg de material compuesto por 33 kg de residuos orgánicos, 4 kg de estiércol de ovino, 2 kg de hojas secas y 1 kg de residuos de huevo. La calidad del compost fue evaluada mediante ANOVA y la prueba de Tukey en INFOSTAT v.14.0, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Los resultados evidenciaron que la eficiencia térmica de los reflectores solares permitió un incremento sostenido de la temperatura interna, favoreciendo una biodegradación acelerada y uniforme. El compost final presentó parámetros óptimos para uso agrícola, con una relación C/N de 13.65, calcio (3.12%) y magnesio (0.50%), confirmando su viabilidad para mejorar la calidad del suelo. El sistema de compostaje evaluado demostró ser una solución ecoeficiente para la gestión de residuos orgánicos en comunidades rurales con condiciones climáticas y geográficas adversas, optimizando la recuperación de nutrientes esenciales y promoviendo la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: compostera solar; compost; residuos sólidos orgánicos.

Compost production with organic domestic waste using a double drum composer with solar reflectors at 3533 msnm conditions

Abstract

The inadequate management of organic solid waste in high Andean areas poses a significant environmental challenge. Composting emerges as a sustainable alternative for its recovery. This study evaluated the efficiency of composting household organic solid waste using a double drum system with solar reflectors in high Andean conditions. Three treatments were implemented with two repetitions each, using three compost bins with two compartments each. The experimental design corresponded to a factorial arrangement with a single factor and three experimental units (T1, T2 and T3), with three repetitions per unit. Each experimental unit contained 40 kg of material composed of 33 kg of organic waste, 4 kg of sheep manure, 2 kg of dry leaves and 1 kg of egg waste. Compost quality was evaluated using ANOVA and Tukey's test in INFOSTAT v.14.0, with a significance level of $p \leq 0.05$. The results showed that the thermal efficiency of the solar reflectors allowed a sustained increase in internal temperature, favoring accelerated and uniform biodegradation. The final compost presented optimal parameters for agricultural use, with a C/N ratio of 13.65, calcium (3.12%) and magnesium (0.50%), confirming its viability to improve soil quality. The evaluated composting system proves to be an eco-efficient solution for the management of organic waste in rural communities with adverse climatic and geographical conditions, optimizing the recovery of essential nutrients and promoting environmental sustainability.

Keywords: solar composter; compost; organic solid waste.

1. Introducción

La acumulación de residuos sólidos se ha convertido en un desafío ambiental significativo en los países en vías de desarrollo, impulsado por el crecimiento poblacional, el aumento del consumo y una gestión deficiente de los desechos. Dentro de esta problemática, los residuos orgánicos representan una fracción considerable del total, y su inadecuado manejo contribuye a la contaminación ambiental y al incremento de riesgos sanitarios debido a la proliferación de vectores biológicos (Tello, 2024). En el ámbito internacional, la adecuada gestión de estos residuos conlleva retos ecológicos y logísticos, que requieren soluciones que sean sostenibles y propias de cada una de las circunstancias locales.

En lo que respecta a las regiones altoandinas, estos retos se intensifican por las condiciones climáticas que dificultan la descomposición natural de la materia orgánica, especialmente las muy bajas temperaturas. Este factor limita notablemente la aplicación de los métodos de buen compostaje tradicionales, ya que requieren temperaturas favorables para la actividad de los microorganismos implicados, conduciendo más rápidamente a los buenos compostajes. A consecuencia de esto, muchas comunidades de altura no tienen alternativas adecuadas para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, generando efectos negativos en la salud pública y el ambiente (MINAM, 2023).

En vista de este desafío, este estudio plantea la creación y el análisis de un modelo de compostaje concebido para áreas de gran elevación. El modelo se basa en un compostador cilíndrico de doble cámara provisto de espejos solares. La finalidad de esta propuesta es sacar partido de la elevada incidencia solar que se da en los Andes, que puede llegar a los 6 y 8.8 kWh/m²/día incluso en la estación invernal (SENAMHI, 2024). Así, se busca aumentar la temperatura interna del sistema y optimizar el proceso de compostaje. Investigaciones anteriores han puesto de manifiesto que el uso de espejos solares en los sistemas de compostaje puede ser una herramienta útil para minimizar los problemas de temperatura en zonas frías (Vigo, 2020; Espinoza-Canaza y Barrena, 2019).

El objetivo general de esta investigación se centra en la creación de un método ecológico para tratar los desechos orgánicos en los Andes, ya que los métodos típicos no funcionan bien allí. Los objetivos concretos son: identificar los tipos de residuos que se producen en los hogares de estas áreas, medir el desempeño térmico y biológico del nuevo modelo, contrastar su eficacia con la de otros sistemas y estudiar si es rentable. Este proyecto enmarca en el impulso a tecnologías limpias y de bajo costo, promoviendo el uso de energías renovables y contribuyendo a la economía circular y al desarrollo sostenible en comunidades rurales de alta montaña.

2. Materiales y Métodos

El presente estudio se desarrolló en el Centro Poblado de Ocongate, situado en el distrito del mismo nombre, perteneciente a la provincia de Quispicanchi, en el departamento de Cusco. Esta localidad se encuentra a una altitud promedio de 3540 msnm. La elección de esta ubicación se fundamenta por condiciones de las zonas altoandinas. La ejecución del experimento se llevó a cabo entre los meses de septiembre y octubre de 2024, periodo caracterizado por bajas temperaturas y precipitaciones pluviales en la zona, según lo reportado por (SENAMHI, 2024). El área destinada para el experimento tuvo dimensiones de 3.10 × 2.20 m, con una superficie total de 6.82 m². Además, se estableció una distancia de 80 cm entre cada compostera para minimizar la interferencia de sombras y asegurar condiciones homogéneas en el proceso de compostaje.

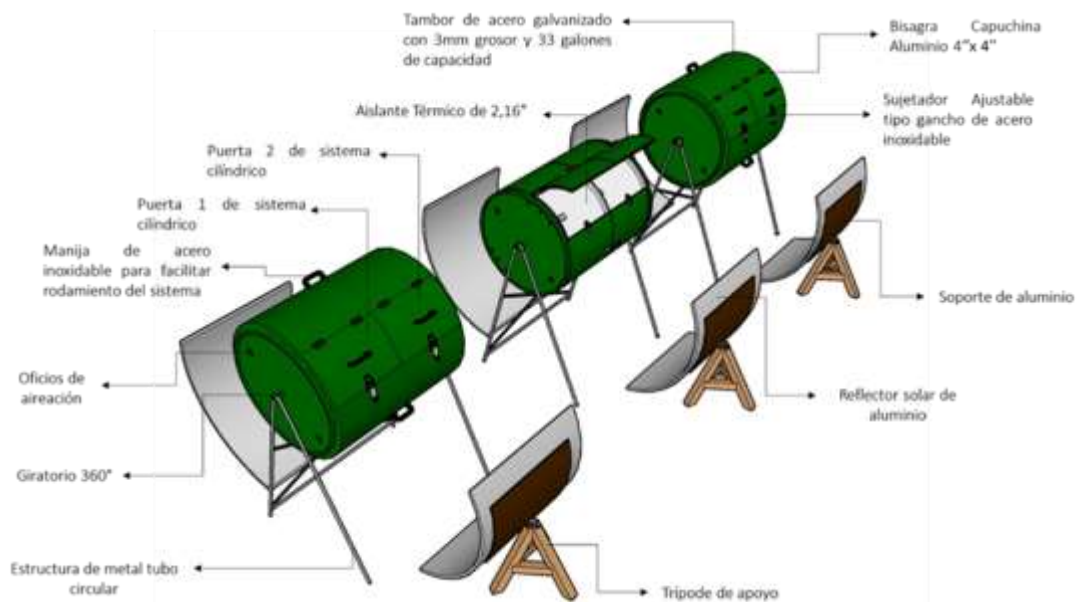
2.1. Diseño de la investigación

Como se observa en la **Figura 1**, Se llevaron a cabo tres tratamientos, cada uno con dos repeticiones, utilizando composteras equipadas con reflectores solares. En total, se dispusieron tres composteras, cada una con dos compartimentos. El diseño

experimental correspondió a un arreglo factorial con un solo factor y tres unidades experimentales, denominadas Tambor 1 (T1), Tambor 2 (T2) y Tambor 3 (T3), con tres repeticiones por unidad experimental. Cada unidad experimental se conformó con 43 kg de material, distribuidos de la siguiente manera: 35.5 kg de residuos orgánicos, 4.0 kg de estiércol de bovino, 2.0 kg de hojas secas y 1.0 kg de residuos de huevo. Para evaluar la calidad del compost obtenido, se aplicó un análisis estadístico mediante ANOVA y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, utilizando el software INFOSTAT v.14.0. Se consideró un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ para la interpretación de los resultados.

Figura 1

Descripción de la caracterización de los residuos orgánicos compostados



2.2. Proceso y evaluación de la investigación

El proceso de compostaje se inició con la recolección de residuos sólidos orgánicos (RSO) provenientes del mercado local. Estos residuos fueron transportados al área experimental, donde se sometieron a un proceso de acondicionamiento y deshumidificación, dejándolos en reposo durante dos días para reducir su contenido de

humedad inicial. Posteriormente, los RSO fueron procesados manualmente para reducir el tamaño de partícula a un rango de 5 a 7 cm, optimizando así su degradabilidad. Luego de este proceso, el material fue pesado y distribuido en las composteras. En cada compostera se incorporaron 43 kg de material orgánico, con la siguiente composición vista la **Tabla 1**.

Tabla 1

Descripción de la caracterización de los residuos orgánicos compostados

Materia	C/ N	Peso (kg)	Según Referencia C/N	Referencia
Residuo de cascara de papa	45	20.0	20-49	Ryan (2010)
Restos Vegetales	12	15.5	4-20.	Cooperband (2000)
Estiércol de Bovino	25	4.0	2-56	Munroe (2018)
Hojas Secas	45	2.0	2 -80	Munroe (2018)
Residuos de Huevo	3	1.0	1-4.	Zurbrügg (2005)

Se utilizó 35.5 kg de residuos orgánicos, 4.0 kg de estiércol de ovino y 2.0 kg de hojas secas. Los materiales fueron dispuestos en capas delgadas de 5 a 10 cm, de manera intercalada, favoreciendo la aireación y facilitando el proceso de descomposición. La relación carbono/nitrógeno (C/N) inicial fue de 30:1, dentro del rango óptimo recomendado de 25 a 35, según Bohórquez (2013). Esta relación es un factor determinante en la velocidad del proceso de compostaje y en la minimización de la pérdida de amoníaco durante la descomposición. Para garantizar un adecuado suministro de oxígeno y una correcta homogenización del material, se realizaron volteos y procesos de aeración cada cuatro días. Además, se monitoreó y ajustó la humedad del compost para mantenerla dentro del intervalo óptimo de 40 % a 60 %, favoreciendo así la actividad microbiana y la eficiencia del proceso de compostaje.

Para el monitoreo de la humedad y el pH del compost, se utilizó un medidor digital Smart Sensor PH-328, el cual permitió obtener mediciones precisas de estos parámetros a lo largo del proceso. La temperatura del compostaje fue registrada mediante sensores Arduino NTC, programados para realizar mediciones con un intervalo de dos minutos, garantizando un seguimiento continuo de la dinámica térmica del sistema. Al finalizar el proceso de compostaje, se tomaron muestras representativas del material para la determinación de sus características fisicoquímicas. Para ello, se recolectó 1 kg de compost por tambor, obteniendo un total de tres muestras. Estas fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se llevaron a cabo los análisis, la **Tabla 2** presenta los parámetros físico-químicos analizados en el compost, junto con los métodos empleados para su determinación, destacando técnicas como potenciometría, conductimetría, espectrofotometría de absorción atómica y métodos clásicos como Walkley y Black o micro-Kjeldahl. Estos procedimientos permiten evaluar la calidad del compost en términos de pH, conductividad, contenido de nutrientes esenciales y metales.

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos óptimos de residuos compostables

Parámetro	Método
pH	pH en extracto - Potenciometría
C.E dS/m	Conductividad eléctrica en extracto - Conductímetro
M.O (%)	Determinación del carbono orgánico por el método Walkley y Black o del Dicromato de potasio.
N (%)	Nitrógeno total - método micro-Kjeldahl
P ₂ O ₅ (%)	Fosforo - Método Olsen
K ₂ O (%)	Potasio total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
CaO (%)	Calcio total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)

MgO (%)	Magnesio total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
Hd (%)	Fraccionamiento secuencial por solubilidad en pH
Na (%)	Sodio - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
Cu	Cobre total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
Mn	Manganeso total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
Fe	Hierro total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
Zn	Zinc total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
B	Boro total - Espectrofotometría UV visible (método de la curcumina)
Cr	Cromo total - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
Cd	Cadmio - Espectrofotometría de absorción atómica (digestión nitroperclorica)
C/N (%)	Proporción

Principalmente de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), la relación carbono/nitrógeno (C/N) y el contenido de materia orgánica. Adicionalmente, los datos de temperatura ambiental y radiación solar fueron obtenidos a partir de los registros proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2023), con el propósito de evaluar su influencia en el proceso de compostaje.

2.3. Instalación de compostera circular rotatoria

El diseño de la compostera fue elaborado utilizando melamina, con dimensiones de 60 cm de diámetro y 70 cm de longitud. La estructura interna se dividió en cámaras separadas por 35 cm, las cuales fueron revestidas con polietileno de alta densidad (HDPE). Este material fue seleccionado debido a sus propiedades de aislamiento térmico, con el

objetivo de minimizar las pérdidas de calor provocadas por las bajas temperaturas predominantes en el altiplano peruano. La compostera fue montada sobre una base metálica de acero con una altura de 1.20 m, proporcionando estabilidad estructural y facilitando la manipulación del compost durante el proceso de volteo y aireación. Con el objetivo de mantener un buen ambiente en los compostadores, se preparó un sistema de calor a partir de los paneles solares instalados. Consistía en una plataforma rectangular de aluminio dispuesta en un ángulo más cómodo para la maximización del aprovechamiento de los rayos solares y, así, incrementar la temperatura que se tenía dentro del recipiente de compostaje. El aluminio fue seleccionado debido a sus propiedades térmicas y mecánicas favorables, incluyendo su alta conductividad térmica de $237 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ (Gabriel, 2019), su resistencia a la corrosión por agua, así como su bajo costo, baja densidad, resistencia mecánica, durabilidad y maleabilidad (Calderón y Morillo, 2019). Estas características permitieron una distribución eficiente del calor dentro del sistema, favoreciendo así la descomposición de la materia orgánica en condiciones térmicas óptimas como se observa en la **Figura 2**.

Figura 2

Vista de posición de composteras cilíndricas en área de estudio



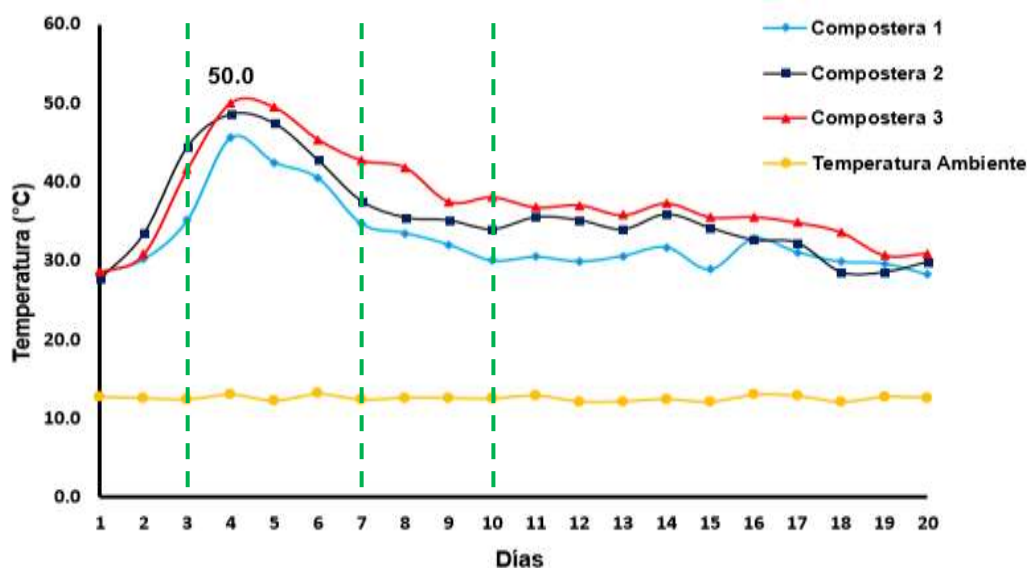
3. Resultados

3.1. Comportamiento de la temperatura

Esta figura 3 representa el sistema de calentamiento solar que se ha propuesto en este estudio e influyó decisivamente en la dinámica térmica durante el proceso de compostaje. En el Cuadro 3 constata que, en la fase mesofílica, se observaron valores de temperatura que aumentaban de forma gradual en las cuatro composteras, alcanzando valores promedios de 82.5 °C; lo que significa que la actividad microbiana inicial fue positiva. En la fase termofílica, se registraron las temperaturas máximas el día 10, con valores de 73.7 °C en la compostera 1, 73.3 °C en la compostera 2 y 74.0 °C en la compostera 3.

Figura 3

Comportamiento de las temperaturas de las tres composteras.



Estos valores reflejan condiciones óptimas para la descomposición de la materia orgánica y la eliminación de patógenos. Posteriormente, tras alcanzar la temperatura máxima, se observó un descenso progresivo hasta 40.5 °C, lo que marcó el retorno a la fase mesofílica. A partir del día 15, la temperatura continuó disminuyendo gradualmente,

señalando la transición a la fase de enfriamiento, en la que la actividad microbiana se reduce y el compost comienza a estabilizarse. Se identificaron diferencias térmicas entre las composteras. La compostera 2 alcanzó temperaturas superiores a 52 °C, mientras que la compostera 1 presentó valores inferiores a 40 °C, a pesar de que los colectores solares tenían dimensiones similares. Esta variabilidad se atribuye a la posición de la compostera 2, la cual, al estar ubicada entre los dos tambores, tuvo una mayor capacidad para retener el calor, favoreciendo así una temperatura más estable durante el proceso.

Tabla 3

Fases de compostaje en relación a valores de parámetros

Fases de Compostaje	Tiempo	Valores de pH	Valores de Temperatura	Valores de Humedad
Fase Mesofílica	4 días	4.8 – 5.2	50 - 59	80
Fase Termófila	10 días	4.9 - 5.2	43 - 79	60 - 61
Fase Enfriamiento	15 días	5.3 – 5.6	60 - 61	49 - 45
Maduración	20 días	5.5 – 5.9	64 - 68	30

3.2. Comportamiento del potencial de hidrógeno

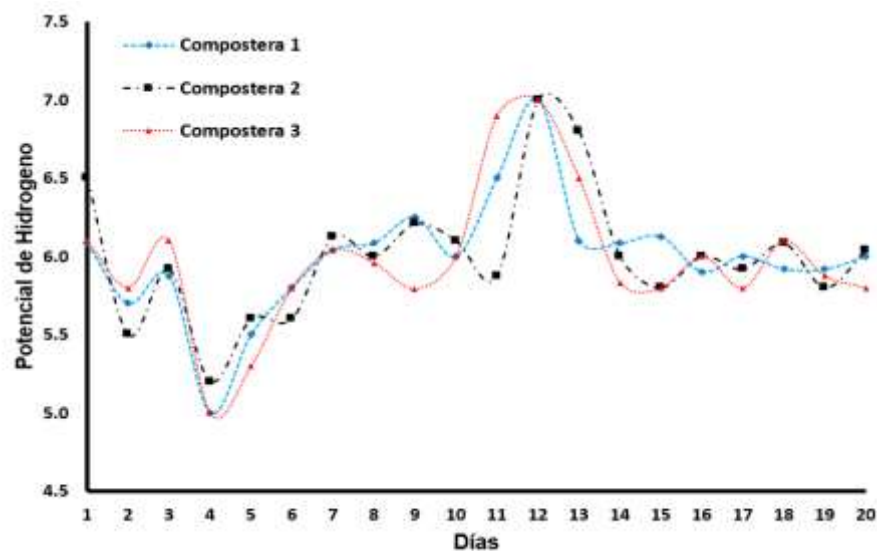
El pH en la mayoría de las composteras se mantuvo entre 6 y 6.5 en la mayoría de ellos como se muestra en la **Figura 4**, a excepción del día 4 donde el pH disminuyó hasta 5 y los días 11, 12 y 13 incrementaron hasta llegar a 7, mientras que en el cuarto día los valores se acercaron más a 7. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por (Juárez-Robles, 2017) y Arrigoni, (2015) y son más altos que el rango especificado por la normativa chilena, que establece un pH ideal para la composta terminada entre 6 y 7. El compostaje comenzó con valores de pH entre 4.5 y 4.7, indicando una ligera alcalinidad inicial. Estos valores se compararon con los reportados por (Chunga, 2014), quien observó niveles bajos de pH en tratamientos con un 15% de hojas secas de pino, atribuyendo este fenómeno a la incorporación de dicho material. (Cantanhede, 1999), documentó un pH de 5.48 en residuos de mercado, similar a los residuos utilizados en este estudio. Durante la

fase termofílica, el pH se incrementó de manera progresiva, puesto que esta etapa de elevado aumento de temperatura se encontraba asociada a una actividad microbiana muy intensa. Aguilar (2020). En la fase de enfriamiento, el pH continuó incrementándose hasta alcanzar altos niveles y se estabilizó durante la etapa de maduración, alcanzando un compost químicamente equilibrado.

Destacando el pH como bioindicador importante para evaluar la calidad del compost e incluyendo investigaciones anteriores. El test de Tukey fue utilizado para poder discriminar subgrupos y ser capaz de mostrar las diferencias entre las composteras analizadas. Los valores medios obtenidos de pH fueron: compostera 1 (C1) 6.50, compostera 2 (C2) 6.68 y compostera 3 (C3) 7.15, por lo que los resultados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de muestras, dado que valora de pH son mayores a ($p < 0.05$) y sugiere, por tanto que los resultados que se extraen de las composteras son homogéneos en el pH permitiendo llegar a la conclusión que las diferencias observadas en cuanto a los valores medios son no significativos desde la óptica estadística.

Figura 4

Comportamiento de potencial de Hidrógeno



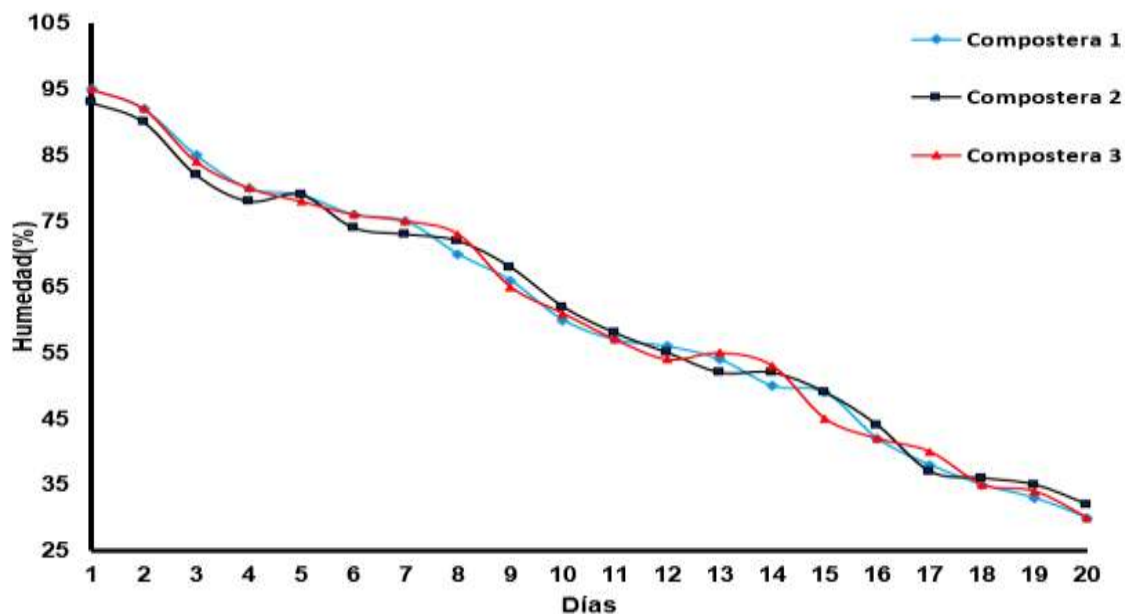
3.3. Comportamiento de la Humedad

La **Figura 5** muestra que el porcentaje de humedad, en el rango de 30 %, de las tres composteras se ajusta a los parámetros establecidos para compost según la NCH2880, 2004. Este indicador es crucial para determinar los criterios de aplicación del compost en la agricultura, ya que el porcentaje de humedad está negativamente correlacionado con varios nutrientes esenciales, como el nitrógeno (N), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) (Bohórquez, 2015). Por esta razón, es fundamental un control adecuado de la humedad, ya que un exceso de esta puede comprometer el peso total del compost y afectar los cálculos de aplicación para optimizar su efectividad en los suelos (Florida, 2019)

Los valores de humedad durante el compostaje oscilaron entre 30.0% y 36.0%, debido al contenido de residuos orgánicos frescos en la mezcla Cantanhede, (1999). Aunque la FAO y la OPS recomiendan hasta un 50% para un compostaje eficiente, los resultados muestran condiciones homogéneas entre las pilas evaluadas. Según la norma NCH2880, 2004, los valores de humedad entre 25% y 40% cumplen con los parámetros para compost de Clase B. Un exceso de humedad puede reducir nutrientes esenciales como nitrógeno (N), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) (Bohórquez, 2015).. Por ello, un control adecuado es crucial para garantizar su efectividad en la mejora de suelos agrícolas (Florida, 2019). La prueba de Tukey detectó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los valores medios de humedad (Hd) entre las composteras evaluadas. Los valores medios registrados fueron 48.13 para la compostera 1 (C1), 49.26 para la compostera 2 (C2), y 51.81 para la compostera 3 (C3), siendo esta última la que presentó un nivel significativamente mayor de Hd. Estos resultados confirman variaciones significativas entre los tratamientos, reflejando diferencias en las características de humedad entre las composteras analizadas.

Figura 5

Comportamiento de la humedad del compost (CCR)



3.4. Análisis químico del compostaje

Los valores de conductividad eléctrica (CE) de las muestras analizadas cumplieron con la normativa (NCH2880), con valores inferiores a 8 dS/m, clasificándolas como compost de calidad media (Clase B) y aptas para uso agrícola. Sin embargo, los valores elevados de CE pueden limitar su aplicación en cultivos sensibles a la salinidad. El análisis estadístico (prueba de Tukey, $p < 0.05$) mostró diferencias significativas entre las composteras. C1 y C2 registraron valores de 7.33 y 8.68 dS/m, mientras que C3 alcanzó 9.50 dS/m, superando el umbral normativo (**Tabla 4**). Estos resultados indican variaciones en la acumulación de sales durante el proceso de compostaje.

Tabla 3*Calidad de compost final producida en comparación con la normativa chilena*

Indicador	CLASE A	CLASE B	P1		P2		P3	
pH	5-7.5	<5 y >7.6	6.50	A	7.37	A	6.68	A
C.E dS/m	<3	≤8	9.50	B	8.40	B	7.33	B
M.O (%)	>45%	25-45%	40.70	A	42.60	A	49.30	A
N (%)	>0,8%		2,26	A	2.74	A	2.52	A
P ₂ O ₅ (%)	>1%		1.43	A	2.02	A	1.75	A
K ₂ O (%)	>1%		1.81	A	2.05	A	1.36	A
CaO (%)	>1%		3.77	A	4.64	A	3.12	A
MgO (%)	>1%		1.54	A	1.97	A	1.50	A
Hd (%)	<25%	25-40%	30.00	B	38,00	B	36.00	B
Na (%)			0.54		0.73		0.55	
Cu (ppm)	<100	100-1000	153,00	B	160.00	B	140.00	B
Mn			224.00		244.00		225.00	
Fe			7574.00		7213.00		7575.00	
Zn (ppm)	<100	200-2000	569.00	B	550.00	B	570.00	B
B			25.00		28.00		23.00	
C/N (%)	≤25	≤30	26.73	B	27.94	B	26.62	B

La materia orgánica (MO) evaluada mostró un alto grado de descomposición, lo que garantiza estabilidad y mineralización lenta. (Hernández Muñoz, 2000) y (Florida, 2019). Este compost contribuye a la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo y favorece la biodiversidad del ecosistema. (FAO, 2013). Los valores de MO cumplen con los estándares de Clase A según la NCH2880, son consistentes con estudios previos en residuos agrícolas y pecuarios. El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) evidenció diferencias significativas entre las composteras. Los valores medios de MO fueron 59.38 en la compostera 1 (C1), 60.70 en la compostera 2 (C2) y 61.76 en la compostera 3 (C3), siendo esta última la de mayor contenido de MO. Estas variaciones reflejan diferencias en las características de la materia orgánica entre los tratamientos evaluados.

En cuanto al nitrógeno (N), un macronutriente esencial, los resultados superaron el 1% exigido por la (FAO, 2013) y la NCH2880. para compost de Clase A. Los valores registrados coinciden con estudios como el de Florida (2019), que reportó un promedio de 1.43% de Nitrógeno, (Florida, 2019), (La Cruz, 2019) y (Garrido, 2023), Los valores obtenidos (2.26% en C1, 2.52% en C2 y 2.62% en C3) se encuentran dentro del rango reportado en estudios previos (0.98% - 1.43%). El análisis de Tukey ($p < 0.05$) no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las composteras, lo que indica una distribución homogénea del nitrógeno y un desempeño consistente del compost evaluado.

El fósforo (P) es un indicador clave de la calidad del compost (FAO, 2013). esencial en la fotosíntesis y transferencia de energía. Según la (NTC5167), n compost de calidad debe contener más del 1% de P, con un rango aceptable de 0.30% a 1.80% (OMS, 2005). En este estudio, los valores obtenidos (1.27% - 1.57%) similares a los reportados por (Dalzell, 1987) y (Florida, 2019), cumplen con los estándares de Clase A, comparables a compost de pulpa de café (1.58%) confirma su alta calidad y aptitud para mejorar suelos agrícolas (Florida, 2019). Asimismo, todas las pilas analizadas superaron el 1% de calcio (Ca), clasificándose como Clase A. Estos valores son significativamente mayores a los reportados por (Bettendor, 2014) , quien encontró medias de 0,273 % de Ca, y (Bohórquez, 2015) con una media de 0. Es importante destacar que, según (La Cruz, 2019), Investigaciones sugieren que la combinación de residuos urbanos con aserrín y poda podría aumentar el Ca a 4.5% - 5.5%. Así mismo, (Florida, 2019) menciona que el uso de aditivos como pulpa de café y escobajo de palma podría elevarlo a 3.15% y 2.90%, respectivamente, destacando estrategias para optimizar la calidad del compost.

El magnesio (Mg), esencial para la fotosíntesis y el metabolismo vegetal (Aguirre, 2023) cumplió con los estándares de la norma NCH2880, que establece un mínimo del 1% para compost de calidad. Los valores obtenidos fueron consistentes con estudios previos sobre compost de residuos orgánicos (Florida, 2019). El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las composteras, con

valores medios de 0.41% en todas ellas, indicando una distribución homogénea de Mg en el compost evaluado.

El potasio (K) alcanzó niveles de 1.8% a 1.85% (La Cruz, 2019), superiores a los reportados por (Garrido-Acosta, 2023), clasificándolo como Clase A y adecuado para mejorar suelos agrícolas. La prueba de Tukey mostró que los valores medios de potasio en las composteras (1.43% en C1, 1.75% en C2 y 1.87% en C3) no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), indicando un rendimiento homogéneo. Por otro lado, los niveles de cobre (Cu) se mantuvieron dentro del límite de 100 ppm según la NCH2880, garantizando seguridad ambiental y funcionalidad agrícola (FAO, 2013).

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial para el metabolismo de plantas y animales (FAO, 2013). pero también se clasifica como un metal pesado por su densidad y número atómico (ECA, 2014). El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) mostró diferencias significativas en las concentraciones de Zn entre las composteras. Los valores medios fueron 145 (C1), 153 (C2) y 160 (C3), con la compostera C3 registrando el nivel más alto. Estos resultados evidencian variaciones en la acumulación de zinc entre los tratamientos.

Los valores obtenidos cumplen con las normativas vigentes, reforzando la calidad del compost como enmienda orgánica. Comparaciones con estudios previos, como (Garrido-Acosta, 2023) y (Bohórquez, 2015), confirman su idoneidad para prácticas agrícolas sostenibles. La Tabla 4 detalla el análisis comparativo de indicadores físicos, macronutrientes y micronutrientes en relación.

4. Discusiones

La caracterización inicial de los residuos orgánicos utilizados en este estudio reveló una composición dominada por cáscaras de papa, restos vegetales, hojas secas, estiércol y cáscaras de huevo. Esta mezcla se alinea con los patrones típicos de generación de

residuos en zonas rurales altoandinas, donde la dieta y las actividades agropecuarias inciden directamente en la naturaleza de los desechos orgánicos (Ascázubi, 2016). Tal composición representa una base adecuada para procesos de compostaje debido a su alto contenido de carbono y nitrógeno, elementos esenciales para un equilibrio C/N óptimo, clave en la descomposición aeróbica eficiente. Los datos empíricos recolectados durante el proceso el cual generó prueba empírica a estos párrafos reflejan que aproximadamente el 50 % de la materia orgánica disponible fue realmente recuperada. El porcentaje (50%), además, implica que existe un potencial importante de replicar las prácticas de compostaje doméstico y comunitario, en situaciones análogas a la que han dado lugar a estos párrafos (FAO, 2013). Este porcentaje no solo representa un alto porcentaje de recuperación, sino que además otorgan un gran potencial de replicar las prácticas de compostaje doméstico y comunitario en condiciones similares. Además, es interesante que los residuos comestibles constituyesen entre el 92 % y el 93 % del total recogido. Es un aspecto a destacar, dado que los insumos biodegradables existentes en el territorio tienen un muy fácil potencial de transformación en materia orgánica (Olave, 2017). Esto se debe a que los residuos recolectados, entre ellos tenemos los azúcares y almidones, contribuyen a facilitar el proceso de activación microbiana en las etapas tempranas del proceso de compostaje y a una rápida mineralización del propio contenido de la materia orgánica.

Desde una óptica tecnológica, una compostera de doble tambor con reflectores solares representa una práctica innovadora en función de las condiciones de baja temperatura que presentan zonas altoandinas que podrían dificultar los procesos biológicos de descomposición de los residuos biológicos. La forma cilíndrica y el diseño cerrado favorecieron el control de variables críticas como son la humedad, la temperatura y la oxigenación, que se consideraron homogéneas al interior del sistema (Barrios & Díaz 2023). La integración de reflectores solares determinó un incremento considerable de la temperatura interna, alcanzando temperaturas superiores a los 60 °C en tiempos cortos. Esta temperatura resulta crítica para la fase termofílica de los procesos de compostaje, ya

que ayuda a eliminar agentes patógenos y semillas de malezas, favoreciendo la higienización del producto final (La Cruz 2019). Adicionalmente, el uso de espuma de polietileno como material aislante también favoreció el mantenimiento de la estable temperatura en la compostera. Este material es de bajo coste y fácil de conseguir en contextos rurales, donde la disponibilidad de insumos tecnológicos es reducida (Hincapié 2016). La efectividad del aislamiento quedó perfectamente manifestada en la capacidad del sistema para conservar altas temperaturas durante largos periodos, e incluso en medio de condiciones ambientales desfavorables, constituyendo además un acortamiento del intervalo de composteo en relación con los métodos tradicionales en el exterior.

El seguimiento continuo de los parámetros clave permitió en el mismo sentido evaluar la eficiencia y la calidad del proceso. El pH presentó una evolución coherente con la dinámica del compostaje: valores iniciales ligeramente ácidos debido a la actividad de bacterias mesofílicas productoras de ácidos orgánicos, que luego fueron neutralizados progresivamente hasta estabilizarse en torno a la neutralidad entre los días 15 y 20. Esta transición indica una progresión adecuada del proceso hacia la maduración del compost (Garrido-Acosta, 2023). La humedad se mantuvo en rangos de 36,4 % a 44,3 %, conforme a los estándares establecidos para compost de Clase B según la norma chilena NCH2880 (2004). Dichos niveles son óptimos para la actividad microbiana sin riesgo de lixiviación ni compactación excesiva, dos problemas comunes en sistemas mal gestionados. La respuesta térmica del sistema fue especialmente destacable. El rápido incremento de las temperaturas durante las fases iniciales -gracias al diseño de un sistema de compostado autoaislante térmicamente- permitió no solo una rápida descomposición, sino que también favoreció la biodisponibilidad de nutrientes en el producto final obtenido. Este hecho refuerza la importancia del control térmico en el compostado a grandes altitudes, donde las temperaturas bajas pueden ralentizar e incluso interrumpir el proceso biológico si no se adoptan las medidas correctivas adecuadas.

En términos generales, los resultados obtenidos son válidos ya que prueban la viabilidad técnica del modelo de compostaje propuesto y la posibilidad de su escalabilidad en el ámbito comunitario. Asimismo, la implementación de este tipo de soluciones tecnológicas puede jugar un papel clave en la soberanía alimentaria y la resiliencia medioambiental de las comunidades rurales altoandinas; el compost producido puede mejorar la fertilidad del suelo y contribuir a prácticas agrícolas regenerativas, a la vez que cierra el ciclo de los nutrientes a nivel local. Desde una perspectiva holística, el presente estudio dice que la recuperación de residuos orgánicos a través de tecnologías adaptadas puede convertir un problema ambiental en una oportunidad de desarrollo rural. La relación entre el saber, la adaptación climática y los conocimientos de las comunidades será fundamental para futuras iniciativas que busquen implementar soluciones ecológicas en contextos vulnerables.

5. Conclusión

El análisis de los desechos orgánicos sólidos demostró que más del 92 % consiste en sobras de comida, frutas y sus envoltorios naturales. No hubo variaciones notables estadísticamente entre los tres contenedores, garantizando uniformidad en el material en compostaje. Asimismo, la temperatura observada se ajustó a las etapas del compostaje, divididas en etapa I (días 1-4), etapa II (días 7-10), etapa III (días 10-15) y etapa de estabilización (día 20). El pH exhibió una progresión al alza, partiendo de cifras bajas y elevándose poco a poco, denotando las alteraciones químicas propias del procedimiento.

Los contenedores giratorios son métodos pequeños y eficaces para el compostaje de residuos orgánicos hogareños, perfectos para lugares urbanos de tamaño limitado. No obstante, su capacidad limitada dificulta el procesamiento de grandes volúmenes de residuos. Los indicadores físicos, como la humedad, cumplieron los estándares de Clase B, sin diferencias entre las cámaras. En cuanto a los parámetros químicos, la mayoría se

mantuvo dentro de los rangos de Clase A, excepto el pH, clasificado como Clase B. Se encontraron diferencias significativas en pH, nitrógeno, calcio, potasio, zinc y cobre, lo que indica la necesidad de ajustes para optimizar la calidad y uniformidad del compost.

Lista de Referencias

- Abellan, J., and Palacios, J. (2015). Manual De Compostaje. *Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino*, 2, 11–24.
- Aguilar, G. (2020). *Geidy_Tesis_Licenciatura_2020.pdf*.
- Aguirre, J. (2023). Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producidos en la planta de valorización de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. *Universidad Nacional Agraria de La Selva*, 83. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>
- Ascázubi, Brenes-Peralta, L., and Jiménez-Morales, M. F. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(8), 25. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>
- Bai, X., Schenk, P. M., Yuan, Z., Lant, P. A., and Pratt, S. (2015). Enhanced triacylglyceride extraction from microalgae using free nitrous acid pre-treatment. *Applied Energy*, 154, 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.045>
- Barrios Elena Elsa, B., and Díaz Santiago, A. (2023). Propuesta de diseño de estufas solares sustentables para alimentos endémicos de Colima, México. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*, 15(1), 13. <https://www.researchgate.net/publication/375695224>
- Bettendorf, T., Stoeckl, M., and Otterpohl, R. (2014). Vermicomposting of Municipal Solid Organic Waste and Fecal Matter as part of Terra Preta Sanitation - a Process and Product Assessment. *Terra Preta Sanitation*, August, 9. <https://doi.org/10.13140/2.1.3748.0320>
- Bohórquez, A., Puentes, Y., and Menjivar, J. C. (2015). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 73–81. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398
- Cantanhede. (1999). *Proyecto de investigacion compostificacion de residuos de mercado en lima peru*.
- Chang, J. I., and Chen, Y. J. (2010). Effects of bulking agents on food waste composting.

- Bioresource Technology*, 101(15), 5917–5924.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.042>
- (Chiumenti A., Chiumenti R., Díaz, Savage, Eggerth y Goldstein, 2005). (n.d.). *Modern Composting Technologies. USA: The JG Press. Inc. Díaz, L. F. (2010). Reciclaje y tratamiento biológico de los residuos sólidos Municipales. Quito, Ecuador: Editorial Ecuador.*
- Chunga, E. (2014). *Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la Universidad de Piura.* 1–144.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1781/ING_536.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cooperband, L. R. (2000). Composting: Art and Science of Organic Waste Conversion to a Valuable Soil Resource. *Laboratory Medicine*, 31(5), 283–290.
<https://doi.org/10.1309/W286-LQF1-R2M2-1WNT>
- Dalzell, H. (1987). Carbon pathways in aquatic detrital systems. In *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABA595.pdf
- Díaz, ortiz renato stofanero. (2022). *diseño de un sistema híbrido solar-biogás para dotar de energía térmica a un motor stirling en zonas rurales de lambayeque.* 9, 356–363.
- ECA. (2014). Guía para muestreo de suelos. *Ministerio Del Ambiente*, 38.
http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- Estrada, M., Gayosso, S., Pérez, C., and Villanueva, E. (2024). Caracterización física y química de residuos orgánicos locales con uso potencial como componentes de sustratos hortícolas. *Bioagro*, 36(2), 211–222.
- FAO. (2013). *manual de compostaje del agricultor* (issue may).
- Florida, N. (2019). *Plumas y residuos locales, una alternativa para mejorar la calidad del compost y suelos en el tropico peruano.*
- Garrido-Acosta, L. R., Florida-Rofner, N., Nazar- Cipriano, J., and Rengifo-Rojas, A. (2023). Quality of compost based on urban organic waste in Leoncio Prado-Peru. *Produccion y Limpia*, 18(1), 118–137. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>
- Guazo, R. corona. (2024). *Diseño de tambos rotatorios para el compostaje domiciliario.*
- Hernández Muñoz. (2000). *Optimización De Los Métodos Para Mejorar La Calidad Del Compost De La Fracción Organica De Los Residuos Solidos Urbanos.* 359.
<http://oa.upm.es/613/1/04200011.pdf%0Ahttp://oa.upm.es/613/>
- Hincapie, M. J. A. (2016). *desarrollo de un aislante térmico para tuberías de vapor en la empresa techni foam de méxico juan.* 1–23.
- Keener, H. M., Ekinci, K., Elwell, D. L., and Michel, Jr, F. C. (1991). *Principles of Composting*

- <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/1065657X.2005.10702253?scroll=top>
- La Cruz, hector vladimir. (2019). Calidad de compost de residuos sólidos orgánicos domiciliarios utilizando aserrín de Eucalyptus globulus Labill y restos de poda jardín Chilca - Huancayo. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159–175. http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005&Ing=en&nrm=iso&tIng=en
- MINAM. (2017). Memoria anual ministerio del ambiente (2017). 59. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/04/Memoria-Anual-2017-Ministerio-del-Ambiente.pdf>
- MINAM. (2018). Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM. Guía para la caracterización de los residuos sólidos municipales. In *Caracterización de Residuos Sólidos* (pp. 1–76). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/320560/Guía_para_elaborar_la_caracterización_de_Residuos_Sólidos.pdf
- MINAM. (2019). Guía para la Caracterización de residuos sólidos Municipales (EC-RSM). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 93. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523785/Guía_para_la_caracterización_rsm-29012020__1_.pdf?v=1581976231
- Mohedo, G. J. J. (2002). *Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS MUNICIPALES*. 183.
- Munroe. (2018). Manual De Vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos. *Montevideo Ambiente*, 1, 1–208. <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>
- NCH2880. (2004). *Norma Chilena-Compost - Clasificación y requisitos Preámbulo*. 27.
- NTC5167. (2021). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados - Normativa Técnica Colombiana. *Enfoque UTE*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Olave, C. J. B. (2017). tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios generados en el asentamiento humano villa alejandro etapa iii distrito de lurín, utilizando la técnica de compostaje y generación de microorganismos benéficos como aceleradores de descomposición. *universidad nacional tecnológica de lima sur*, 1, 3–5. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844861173x.pdf>
- OMS. (2005). Actualización mundial de la Salud 2005. *Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El*

- Dióxido de Azufre Actualización*, 5(1), 1–21.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06_02_spa.pdf;jsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1
- OPS. (2019). Las funciones esenciales de la salud pública en las Américas. Una renovación para el siglo XXI. Marco conceptual y descripción. In *Las funciones esenciales de la salud pública en las Américas. Una renovación para el siglo XXI. Marco conceptual y descripción*. <https://doi.org/10.37774/9789275322642>
- Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM. (2018). Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM. Guía para la caracterización de los residuos sólidos municipales. In *Caracterización de Residuos Sólidos* (pp. 1–76). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/320560/Guía_para_elaborar_la_caracterización_de_Residuos_Sólidos.pdf
- Ryan, J. H. (2010). *Manuales FIA de Apoyo a la Formación de Recursos Humanos para la Innovación Agraria*. http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/1907/1EI_compostaje_y_su_utilización_en_agricultura.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salazar, T. A. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 74–84.
- SENAMHI. (2015). *Calidad Del Aire En Lima Metropolitana*. 1–90.
- SENAMHI. (2024). *INFORME TÉCNICO N°02-2024/SENAMHI-DMA-SPC Periodo MARZO – MAYO 2024 Li*.
- TMECC. (2002). Test method for Electrical Conductivity. Test Methods for the Examination of Composting and Compost of the US Composting Council. In *Compost Analysis Proficiency (CAP) Testing Program*.
- Xenia Isbel, S.-C., René Valentino, V.-L., Francisco Eduardo, C.-P., and Rigoberto, M. (2014). Resistencia al clima tropical de aceros galvanizados con y sin recubrimiento. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(1), 29–40. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(15\)30004-4](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(15)30004-4)
- Yair, arenas osorno. (2017). *Implementacion de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos organicos en en centro educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba*.
- Zurbrügg, C., Drescher, S., Rytz, I., Sinha, A. H. M. M., and Enayetullah, I. (2005). Decentralised composting in Bangladesh, a win-win situation for all stakeholders. *Resources, Conservation and Recycling*, 43(3), 281–292. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.06.005>

Anexos

Anexo 1. Evidencia de la sumisión de artículo en una revista de prestigio

18/12/24, 11:41

Gmail - RV: [RICA] Envío recibido



Ruth Fiorela MH <ruthfiorelav@gmail.com>

RV: [RICA] Envío recibido

1 mensaje

Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

13 de diciembre de 2024, 18:36

Para: "noecalsinarosa@gmail.com" <noecalsinarosa@gmail.com>, "ruthfiorelav@gmail.com" <ruthfiorelav@gmail.com>, "mary.alvarez" <mary.alvarez@upeu.edu.pe>

De: Claudio M. Amescua Garcia via Revista Internacional de Contaminación Ambiental <rica@atmosfera.unam.mx>

Enviado: viernes, 13 de diciembre de 2024 18:33

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Asunto: [RICA] Envío recibido

vigo.rivera:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Producción de compost con residuos domésticos orgánicos utilizando compostera de doble tambor con reflectores solares a condiciones de 3533 msnm: Compost production with organic domestic waste using a double drum composer with solar reflectors at 3533 msnm conditions" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55474>

Nombre de usuario/o: jevr72

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental <https://www.revistascca.unam.mx/rica>

Anexo 2. Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente



“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

RESOLUCIÓN N° 0199-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 09 de abril de 2024

VISTO:

El expediente de **Noe Calsina Rosa**, identificado(a) con Código Universitario N° 201711902, **Mamani Huanca Ruth Fiorela**, identificado(a) con Código Universitario N° 201812057 y **Alvarez Tapara Mary Rosalinda**, identificado(a) con Código Universitario N° 201811353, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Noe Calsina Rosa**, **Mamani Huanca Ruth Fiorela** y **Alvarez Tapara Mary Rosalinda**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Producción de compost con residuos domésticos orgánicos utilizando compostera de doble tambor con reflectores solares a condiciones de 3533 msnm" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 09 de abril de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "Producción de compost con residuos domésticos orgánicos utilizando compostera de doble tambor con reflectores solares a condiciones de 3533 msnm" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al (a la) **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra** y **MSc. Loayda Abigail Condori Turpo**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Anexo 3. **Panel Fotográfico**

Figura 6

Construcción de las composteras



Figura 7

Instalación de las composteras de doble tambor



Figura 8

Segregación de residuos verdes y residuos marrones



Figura 9

Volteo de compostaje



Figura 10

Proceso de elaboración de compost.



Figura 11

Producto final de compost

