

Tesis_-_final_DANY GUTIERREZ PACCO.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:547571287

Fecha de entrega

20 ene 2026, 6:59 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 ene 2026, 7:03 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis_-_final_DANY GUTIERREZ PACCO.docx

Tamaño del archivo

13.3 MB

36 páginas

7469 palabras

43.315 caracteres

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos entregados upeu on 2025-05-30	1%
2	Internet repositorio.upeu.edu.pe:8080	1%
3	Internet repositorio.upeu.edu.pe	1%
4	Internet innovacionumh.es	<1%
5	Internet hdl.handle.net	<1%
6	Internet digital.csic.es	<1%
7	Internet repositorio.ucv.edu.pe	<1%
8	Internet www.researchgate.net	<1%
9	Trabajos entregados Universidad Nacional de Cajamarca on 2025-09-29	<1%
10	Internet repositorio.ual.es	<1%
11	Internet renati.sunedu.gob.pe	<1%

12	Internet	www.timeguard.com	<1%
13	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-12-27	<1%
14	Internet	www.ecorfan.org	<1%
15	Internet	doaj.org	<1%
16	Internet	cjascience.com	<1%
17	Internet	repositorio2.unb.br	<1%
18	Publicación	Nadal, M.. "Health risks of the occupational exposure to microbiological and ch...	<1%
19	Trabajos entregados	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo on 2025-12-26	<1%
20	Internet	americanae.aecid.es	<1%
21	Internet	dspace.unl.edu.ec	<1%
22	Internet	repositorio.unicesar.edu.co	<1%
23	Internet	revistas.uach.cl	<1%
24	Internet	revistas.unilibre.edu.co	<1%
25	Internet	ri.uaemex.mx	<1%

26	Trabajos entregados	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD on 2025-04-09	<1%
27	Trabajos entregados	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo on 2025-11-07	<1%
28	Publicación	Wenping Zhang, Lu Zhang. "Effect of chicken manure and superphosphate on acc...	<1%
29	Internet	repository.uamerica.edu.co	<1%
30	Internet	roderic.uv.es	<1%
31	Internet	www.compostandociencia.com	<1%
32	Internet	www.coursehero.com	<1%
33	Internet	www.tandfonline.com	<1%
34	Trabajos entregados	Universidad Catolica De Cuenca on 2021-09-20	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2026-01-09	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-01-28	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad de Valladolid on 2015-07-30	<1%
38	Internet	digibug.ugr.es	<1%
39	Internet	dspace.umh.es	<1%

40

Internet

www.facmed.unam.mx

<1%

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



**Inoculación de Hongos Lignocelulolíticos en Compostaje
Domestico de Residuos Orgánicos en Zonas Altoandinas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Dany Marilyn Gutierrez Pacco

Asesor:

Ing. Veronika Haydee Pari Mamani

Juliaca, enero de 2026

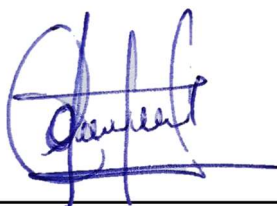
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Veronika Haydee Pari Mamani, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Inoculación de Hongos Lignocelulolíticos en Compostaje Domestico de Residuos Orgánicos en Zonas Altoandinas”** la autora Dany Marilyn Gutierrez Pacco 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 11 días del mes de febrero del año 2025.



Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani

Asesor

229

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 05 día(s) del mes de diciembre del año 2018, 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. Enrique Mamani Guela

el (la) secretario(a): Msc. Rose Adeline Gallardo

Ghura

y los demás miembros: Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

y el (la) asesor(a) Ing. Verónica Haydee Pari

Mamani

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

"Inoculación de Hongos Lignocelulolíticos en Compostaje Doméstico de Residuos Orgánicos en Zonas Altiandinas"

del(los) bachiller(es): a) Dany Marilyn Gutierrez Paeo

b)

c)

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): Dany Marilyn Gutierrez Paeo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(7) 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

Dany Marilyn Gutierrez Pacco

32 Agradezco en primer lugar a Dios, por su infinita misericordia y soberana voluntad, por hacer posible la realización y culminación de este trabajo de investigación, guiando cada etapa de mi vida y del camino académico recorrido; a mis padres, **Jarrin Edgar Gutierrez Cama** y **Antonia Pacco Aguilar**, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza; a mis hermanas **Romina** y **Doris**, así como a mis familiares cercanos, por su constante aliento; y a mis amigos, por las motivaciones brindadas. Asimismo, expreso un agradecimiento especial al grupo **BTS**, en particular a **J-Hope**, cuya alegría y sonrisa fueron un estímulo constante que me ayudó a mantener el ánimo incluso en los momentos de dificultad y desánimo.

ÍNDICE GENERAL

1	RESUMEN	9
	ABSTRACT	10
1.	INTRODUCCIÓN	11
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	12
	2.1. Acopio y procesamiento de los residuos orgánicos.....	12
	2.2. Establecimiento de la compostera	13
	2.3. Análisis químicos	14
	2.4. Preparación de la fuente microbiana.....	14
	2.5. Biodegradación del material lignocelulósico.....	15
	2.6. Análisis de madurez.....	15
	2.7. Diseño estadístico.....	15
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
	3.1. Cambios en los parámetros fisicoquímico durante el compostaje	16
	3.2. Temperatura	18
	3.3. pH.....	19
	3.4. Degradación del material lignocelulósico	20
	3.5. Evaluación de la madurez.....	22
4.	CONCLUSIÓN	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades fisicoquímicas seleccionadas de la mezcla de materias primas (en base a peso seco).....	12
Tabla 2	Comparación de los parámetros con los estándares prescritos.....	17
Tabla 3	Contenido y degradación de la lignocelulosa (base seca).	21

25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama esquemático de la compostera casera.....	14
Figura 2 Cambios de temperatura en el compostaje.	19
Figura 3 Cambios de pH en el compostaje.....	20
Figura 4 Cuatro tratamientos con tres repeticiones con hongos de las cepas de <i>Aspergillus niger</i> y <i>Trichoderma spp</i>	33
Figura 5 Mezcla de residuos orgánicos pretratados con bokashi y cascarilla de café.	33
Figura 6 Medición de la temperatura.....	34
Figura 7 Medición del pH.....	34
Figura 8 Análisis de madurez - Índice de germinación	35

5

1

1

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Evidencia de la sumisión de artículo en una revista de prestigio	31
Anexo 2 Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.	32
Anexo 3 Panel Fotográfico	33

Inoculación de Hongos Lignocelulolíticos en Compostaje Domestico de Residuos Orgánicos en Zonas Altoandinas

RESUMEN

El compostaje es una alternativa sostenible para la gestión de residuos sólidos orgánicos, aunque en zonas altoandinas enfrenta limitaciones debido a las bajas temperaturas que ralentizan la descomposición. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inoculación de hongos lignocelulolíticos en compostaje doméstico de residuos orgánicos en zonas altoandinas. Se establecieron cuatro tratamientos en composteras caseras a 3783 msnm: C1 (*Aspergillus niger*), C2 (*Trichoderma* spp.), C3 (mezcla de ambos) y C4 (control sin inóculo). Se hizo la mezcla del sustrato pretratado con bokashi y cascarilla de café como agente de carga. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y relación C/N), la degradación de lignina, celulosa y hemicelulosa, y la madurez del compost mediante el índice de germinación (IG). Los resultados mostraron que la inoculación y el pretratamiento favorecieron una rápida actividad microbiana, alcanzando temperaturas superiores a 50 °C en los dos primeros días, condición óptima para la higienización del material. La relación C/N disminuyó de 32.5 a valores entre 15 y 18, mientras que la degradación de lignina y celulosa superó ligeramente el 60 %, alcanzando valores entre 60.5 % y 79.4 %. El IG alcanzó valores de 83 % a 94 %, confirmando la ausencia de fitotoxicidad y la obtención de un compost maduro y estable en 20 días. Los resultados evidencian que el compostaje doméstico con inoculación fúngica y pretratamiento biológico constituye una alternativa viable, económica y ambientalmente favorable para la gestión de residuos en comunidades altoandinas.

Palabras clave: *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp, biodegradación, cascarilla de café.

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

ABSTRACT

Composting is a sustainable alternative for the management of organic solid waste; however, in high-Andean areas it faces limitations due to low temperatures that slow down the decomposition process. The objective of this study was to evaluate the effect of lignocellulolytic fungi inoculation on domestic composting of organic waste in high-Andean zones. Four treatments were established in household composters at 3,783 m a.s.l.: C1 (*Aspergillus niger*), C2 (*Trichoderma* spp.), C3 (a mixture of both), and C4 (control without inoculum). The pretreated substrate was mixed with bokashi and coffee husk as bulking agents. Physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, organic matter, and C/N ratio), lignin, cellulose, and hemicellulose degradation, and compost maturity were evaluated using the germination index (GI). The results showed that fungal inoculation and pretreatment promoted rapid microbial activity, reaching temperatures above 50 °C within the first two days, an optimal condition for material sanitization. The C/N ratio decreased from 32.5 to values between 15 and 18, while lignin and cellulose degradation slightly exceeded 60%, reaching values between 60.5% and 79.4%. The GI reached values between 83% and 94%, confirming the absence of phytotoxicity and the production of mature and stable compost within 20 days. These findings demonstrate that domestic composting with fungal inoculation and biological pretreatment represents a viable, cost-effective, and environmentally friendly alternative for waste management in high-Andean communities.

Keywords: *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp., biodegradation, coffee husk.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos orgánicos (RSO) es elevada en zonas urbanas, periurbanas y rurales (Duan et al. 2024), y gran parte de estos se dispone en vertederos o sitios inadecuados (Sudharsan Varma y Kalamdhad, 2014b), generando impactos como malos olores, emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación ambiental (Ma y Liu 2019). Los RSO poseen una fracción lignocelulósica considerable (Zhang et al. 2023), así como compuestos químicos y biológicos (Domingo y Nadal, 2009), lo que dificulta su gestión y plantea desafíos técnicos para los municipios y la comunidad científica (Feng et al. 2024; Pajura, 2024). Por ello, se han desarrollado diversas tecnologías, entre ellas compostaje tradicional, Bokashi, Takakura (Vázquez et al. 2015; Lizarzaburu Aguinaga et al. 2023), digestión anaerobia (Fdez.-Güelfo et al. 2011; Leow et al. 2018) y técnicas avanzadas basadas en microorganismos especializados, incluidos hongos lignocelulolíticos y bacterias termófilas (Reuter et al. 2015; Voběrková et al. 2017 y Suwannaphan et al. 2024).

El compostaje constituye una estrategia sostenible para transformar RSO en enmiendas orgánicas de valor agronómico (Tuomela et al. 2000; Gaspar et al. 2022). Este proceso se desarrolla en fases sucesivas reguladas por comunidades microbianas (Y. Zhang et al. 2022; Hashemi et al. 2018), cuya eficiencia depende de variables físicas, químicas y biológicas (Nekliudov et al. 2008). Sin embargo, su desempeño se ve limitado en regiones frías o en periodos invernales (M Wang et al. 2023).

Diversos estudios han demostrado que la inoculación de hongos lignocelulolíticos acelera la degradación de lignina, hemicelulosa y celulosa, mejora parámetros fisicoquímicos y reduce el tiempo de maduración del compost (Adebayo et al., 2011; Byakodi & Suresh Babu, 2021; Khyalia et al., 2022; B. L. Sharma et al., 2012; Suthar & Kishore Singh, 2022). No obstante, temperaturas inferiores a 50 °C pueden permitir la supervivencia de patógenos (Noble y Roberts. 2004) y afectar la estabilidad del proceso, especialmente en climas fríos (Khalil et al. 2013). A ello se suma que la selección inadecuada del material estructurante puede generar exceso de humedad y lixiviados (Sudharsan Varma y Kalamdhad, 2014a). Por tanto, resulta relevante evaluar la aplicación conjunta de hongos lignocelulolíticos y agentes de carga apropiados en zonas altoandinas.

Aspergillus niger y *Trichoderma spp.* son hongos productores de enzimas hidrolíticas capaces de degradar fracciones lignocelulósicas complejas (Bohacz y Kornikowicz-Kowalska, 2020; Suresh et al., 2021). Asimismo, la cascarilla de café favorece la producción de enzimas como celulasa, amilasa y tanasa, promoviendo la proliferación de *Trichoderma* y mejorando la eficiencia del compostaje (Coral-Velasco et al. 2024; Kumar

et al. 2018). Estudios previos han demostrado que ambas cepas incrementan la mineralización, reducen la fitotoxicidad y aceleran la madurez del compost (Sharma et al. 2012; Byakodi y Suresh Babu, 2021 y M. K. Awasthi et al. 2014), mientras que la cascarilla de café aporta estabilidad al producto final (Dadi et al. 2019; Yenani et al. 2021).

Sin embargo, la evidencia disponible es limitada en ambientes altoandinos y se centra principalmente en parámetros convencionales. Por ello, el presente estudio evaluó el efecto de la inoculación con *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp.* en el compostaje doméstico de RSO en zonas altoandinas, incorporando cascarilla de café y un pretratamiento biológico tipo Bokashi. Los objetivos específicos fueron: (i) analizar cambios fisicoquímicos durante el compostaje; (ii) cuantificar la degradación de componentes lignocelulósicos; y (iii) evaluar la madurez del compost.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Acopio y procesamiento de los residuos orgánicos

Se hizo el acopio de diferentes componentes putrescibles de los Residuos Sólidos Orgánicos Municipales (RSOM), los cuales incluyeron restos de verduras, frutas y desechos de alimentos generados en el distrito de Coasa, ubicado a una altitud de 3783 msnm, con una temperatura que varía entre -5 y 20 °C y una precipitación anual de 266 mm. Los residuos recolectados fueron cortados de manera manual en longitudes aproximadas de 10 a 20 mm, con el propósito de facilitar la homogeneización y acelerar los procesos de descomposición (ALOKIKA et al. 2023). Posteriormente, se aplicó bokashi de manera uniforme al sustrato como un pretratamiento biológico estandarizado, con el fin de homogenizar la microflora inicial y reducir la variabilidad del material orgánico de partida (Xu et al. 2023 y Medvidović et al. 2024). Este material pretratado fue empleado como sustrato en el proceso de compostaje. En la Tabla 1 se presentan las propiedades fisicoquímicas de las materias primas antes de iniciar el proceso.

Tabla 1

Propiedades fisicoquímicas seleccionadas de la mezcla de materias primas (en base a peso seco).

Parámetros	Residuos Sólidos Orgánicos Municipales RSOM	Cascarilla de café CC
pH	$7,49 \pm 0,04$	$4,52 \pm 0,02$
Conductividad eléctrica (%)	$10,09 \pm 0,02$	$1,40 \pm 0,05$

Contenido de Humedad (%)	66,08 ± 0,27	14,57 ± 0,29
Carbono orgánico total (%)	40,88 ± 2,14	56,43 ± 1,35
Nitrogeno Kjeldhal (%)	2,60 ± 0,05	0,67 ± 0,04
Relación de C/N	15,70 ± 0,35	83,97 ± 3,31
Materia Orgánica (%)	70,48 ± 1,10	97,29 ± 1,10
Celulosa (%)	4,64 ± 0,10	41,54 ± 0,10
Hemicelulosa (%)	3,73 ± 0,20	19,35 ± 0,20
Lignina (%)	9,72 ± 0,10	79,15 ± 0,20

Nota: Los resultados son la media de tres réplicas ± desviación estándar

2.2. Establecimiento de la compostera

Se prepararon composteras caceras (C1, C2, C3 y C4) (figura 1), técnica desarrollada por Elejalde (2019), dentro de un fitotoldo rustico construido con muros de adobe y cubierta de polietileno transparente de dimensiones aproximadas de 6 m de largo x 3m de ancho y 2.5 m de alto, orientado en direcciones norte – sur. Se hizo la mezcla de 7 kg de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales RSOM con pretratamiento biológico y 3.5 kg de cascarilla de café con una humedad inicial de 14.57% y granulometría heterogénea entre 1mm – 1 cm de diámetro; obtenida de la asociación cafetalera - Ayapata con la finalidad de obtener una relación C/N inicial ideal de 20 a 30 (Pajura, 2024) en base a un cálculo previo ver Ec. 1; posteriormente, para determinar la relación de C/N de la mezcla inicial, se aplicó la formula general en base seca considerando el contenido de humedad y los porcentajes elementales de C y N de cada fracción, ver Ec. 2; así mismo, el volteo se realizó con una frecuencia semanal (M. K. Awasthi et al. 2014); el contenido de humedad se ajustó aproximadamente al 60% posteriormente se fue regulando según sea necesario, la temperatura fue evaluada diariamente en paralelo a la temperatura ambiental y temperatura del fitotoldo usando el termómetro digital de sonda marca Measuring (rango: - 50° - 300°C, precisión de medición: ± 1°C).

$$\frac{C}{N} = \frac{M_R C_R + M_C C_C}{M_R N_R + M_C N_C} \dots\dots\dots (1)$$

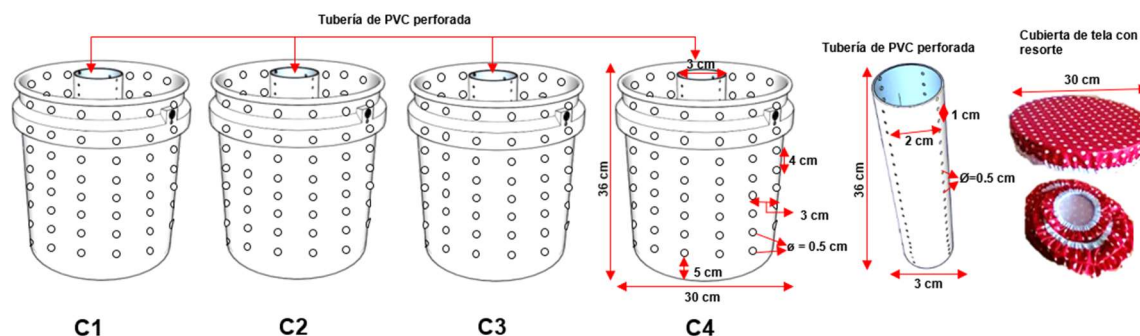
Donde; MR, MC corresponde a las masas secas de RSOM Y CC, las fracciones de carbono están representados de CR, CC y NR, NC corresponde a las fracciones de nitrógeno.

$$\frac{C}{N} (inicial) = \frac{\sum_{i=2}^n [P H_i (1-H_i) (\frac{\%C_i}{100})]}{\sum_{i=2}^n [P H_i (1-H_i) (\frac{\%N_i}{100})]} \dots\dots\dots (2)$$

Donde PH_i es el peso húmedo de cada material i (RSOM y CC), H_i es su humedad (en fracción), y $\% C_i$ y $\% N_i$ son los porcentajes de carbono y nitrógeno Kjeldahl, respectivamente.

Figura 1

Diagrama esquemático de la compostera casera.



2.3. Análisis químicos

El contenido de humedad (hd) de las muestras fue determinado mediante el método gravimétrico, basado en la pérdida de peso a 105 °C. El pH y la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso de las muestras frescas se midieron en una relación muestra/agua de 1:1 (p/v), empleando un potenciómetro. Para la cuantificación del carbono orgánico total (TOC), nitrógeno Kjeldahl total (TKN), relación C/N, materia orgánica (MO), oxido de fósforo (P_2O_5), oxido de potasio (K_2O), oxido de calcio (CaO), oxido de magnesio (MgO) y sodio (Na), se aplicaron los métodos de análisis estandarizados para suelos, plantas y aguas descritos por (Chapman y Pratt, 1973).

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos en las distintas composteras serán posteriormente contrastados con los rangos de calidad definidos por la normativa ambiental vigente, con el objetivo de verificar si el compost elaborado cumple con los requisitos establecidos para su utilización como enmienda orgánica en sistemas de gestión sostenible de residuos sólidos.

2.4. Preparación de la fuente microbiana

Las cepas utilizadas correspondieron a *Trichoderma spp.* (mezcla de esporas de *T. harzianum*, *T. viride* y *T. asperellum*, a una concentración de 1×10^{10} esporas/g) y *Aspergillus niger*. El inóculo de *Trichoderma* se obtuvo de un producto comercial (Biopacha® - TrichoD plus). En el caso de *A. niger*, la cepa fue aislada mediante el método de agar papa dextrosa (PDA), siguiendo la técnica descrita por de Wet y G. Brink, (2021).

Para ello, se colocaron fragmentos de zapallo en cajas Petri con PDA e incubaron durante 5 días a 28 °C (Luna et al. 2010). Posteriormente, se realizó la multiplicación de la cepa utilizando la técnica del arroz infectado (Posada-Flórez, 2008), y el inóculo resultante fue incorporado en las composteras caseras después de tres días de multiplicación (Echeverría et al. 2012).

2.5. Biodegradación del material lignocelulósico

El contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina se determinó mediante los métodos de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácida (ADL) (Van Soest et al. 1991). La hemicelulosa y la celulosa se calcularon por diferencias entre FDN–FDA y FDA–ADL, respectivamente, mientras que la lignina se obtuvo considerando la diferencia entre ADL y cenizas (de Freitas, 2021).

2.6. Análisis de madurez

El índice de germinación (IG) se determinó siguiendo la metodología de M. K. Awasthi et al. (2014), empleando semillas de quinua (FDA, 1987) como bioindicador de fitotoxicidad. Para ello, se colocaron 10 semillas por placa Petri (capacidad 15 mL), con tres réplicas por tratamiento sobre el papel filtro Whatman N°42 con 5 mL del extracto acuoso del compost (1:10 p/v). En el tratamiento control, el papel filtro fue humedecido únicamente con 5 mL de agua destilada. Posteriormente, las placas fueron incubadas en oscuridad a una temperatura de 25–28 °C durante un periodo de 3 días.

Al finalizar el ensayo, se contabilizó el número de semillas germinadas y se midió la longitud radicular considerándose germinada toda semilla con una raicilla ≥ 2 mm de acuerdo con el método modificado de (Chikae et al., 2006). Finalmente, el IG se calculó mediante la fórmula propuesta por Zucconi, (1981), lo cual permitió evaluar la madurez y posible toxicidad del compost producido.

$$\%IG = \frac{G_a \times L_s}{G_c \times L_c} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Donde G_s y L_a corresponden al número de semillas germinadas y la longitud promedio de raicilla en el extracto, respectivamente, y G_s y L_a a los valores en el control. Un IG superior al 80% se consideró indicativo de compost maduro y libre de fitotoxicidad.

2.7. Diseño estadístico

El experimento se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos: C1 (*Aspergillus niger*), C2 (*Trichoderma spp.*), C3 (mezcla de ambos hongos)

14
5
y C4 (control sin inoculación) cada uno con tres repeticiones. Cada balde de compostaje (20 L) se consideró una unidad experimental, conteniendo la mezcla de residuos orgánicos pretratados con bokashi y la cascarilla de café. La disposición de las unidades experimentales se realizó de forma aleatoria. Se registraron los parámetros fisicoquímicos (pH y Temperatura) diariamente, y al finalizar el compostaje (20 días) se determinaron los contenidos del material lignocelulósico, macro y micro nutrientes y la evaluación de la madurez del compostaje. Los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software especializado MiniTab® Statistical v.20.3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cambios en los parámetros fisicoquímico durante el compostaje

34
Las muestras de compost de las cuatro composteras (C1, C2, C3 y C4) fueron analizadas y comparadas con los valores establecidos en normativas técnicas de Perú, Chile, Colombia, Indonesia y la FAO. Esta comparación es relevante, ya que el contenido de macro y micronutrientes determina el valor nutritivo del compost (ver Tabla 2).

Los valores de pH y porcentaje de materia orgánica (%MO) en todas las composteras estuvieron dentro de los rangos permitidos, lo que indica un proceso de compostaje adecuado y buena actividad microbiana. La conductividad eléctrica (CE) obtenido mediante el método del extracto 1.1 (compost:agua), refleja el contenido de sales solubles, fue aceptable, aunque en casos de valores altos se recomienda mezclar el compost con suelo o materiales de baja CE antes de su uso (M. Awasthi et al. 2014). El aumento de la CE puede deberse a la transformación de materia orgánica en sales minerales e iones de amonio (Manu et al. 2017).

30
Los niveles de macronutrientes P_2O_5 , Na, K_2O , CaO y MgO en el compost variaron entre 0.88%–0.95%, 0.41%–0.44%, 2.49%–3.56%, 4.24%–5.28% y 0.78%–0.92%, respectivamente (ver Tabla 2). Durante el proceso de compostaje, el carbono orgánico se transforma en dióxido de carbono (CO_2) y se libera a la atmósfera, lo que causa una pérdida de carbono mayor en comparación con los nutrientes. Como estos nutrientes permanecen en el compost, su concentración aumenta, mejorando así su valor nutritivo para el suelo y las plantas.

Tabla 2

Comparación de los parámetros con los estándares prescritos.

PARÁMETRO	C1	C2	C3	C4	NTCH	FAO	NTP	NTC	SIN
pH	7,08	7,17	7,15	7,15	4 - 7,50	6,50 - 8,50	5,00 a 8,50	>4 <9	6,80 - 7,49
CE dS/M	7,31	7,21	6,33	7,40	<3	*	<5	*	*
MO%	49,3	54,1	52,6	51,6	>45%	>20%	≥20%	*	27 - 58%
N%	1,59	1,90	1,90	1,92	>0,8%	~1%	0,30% - 1,50%	>1%	0,40%
P2O5%	0,89	0,95	0,88	0,90	>1%	0,10% - 1,00%	0,10% - 1,00%	>1%	0,10%
K2O%	3,22	2,49	3,28	3,56	>1%	0,30% - 1,00%	0,30% - 1,00%	>1%	0,20%
CaO%	5,24	4,36	5,18	4,44	>1%	*	*	*	*
MgO%	0,82	0,88	0,92	0,78	>1%	*	*	*	0,60%
Hd%	31,4 5	38,1	36	35,6	<25%	30% - 40%	15% a 35%	<30%	50%
Na%	0,49	0,41	0,44	0,41	*	*	*	*	*
C%	28,6 1	31,4	30,50	29,93	*	*	*	>15%	9.80 - 32%
C/N	18,0 3	16.5	16,00	15,57	≤25	10:1 - 15:1	10 a 25	*	10 - 20

Valores con la misma letra en cada fila, son estadísticamente iguales entre si (Tukey, $p \leq 0.05$)

*Sin datos

Nota: C1: con inóculo de *Apergillus Niger*; C2: con inóculo de *Trichoderma spp.* C3: con inóculo de *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp*; C4: sin inóculo; NCh: Norma Técnica Chilena, FAO: Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura;

NTP: Norma Técnica Peruana; NTC: Norma Técnica Colombiana; SIN: Standar Nasional Indonesia.

3.2. Temperatura

La temperatura es un indicador clave del ritmo de degradación, la higienización y la actividad microbiana en el compostaje (Rastogi et al. 2020). En la Figura 2 se observa que todas las composteras, incluidas las inoculadas (C1, C2 y C3) y el control (C4), alcanzaron temperaturas superiores a 50 °C alrededor del segundo día. Este ascenso temprano difiere de lo reportado por Awasthi et al. (2014), quienes observaron el máximo térmico hacia el quinto día, y sugiere que la combinación de inoculación y pretratamiento aceleró la descomposición aeróbica inicial.

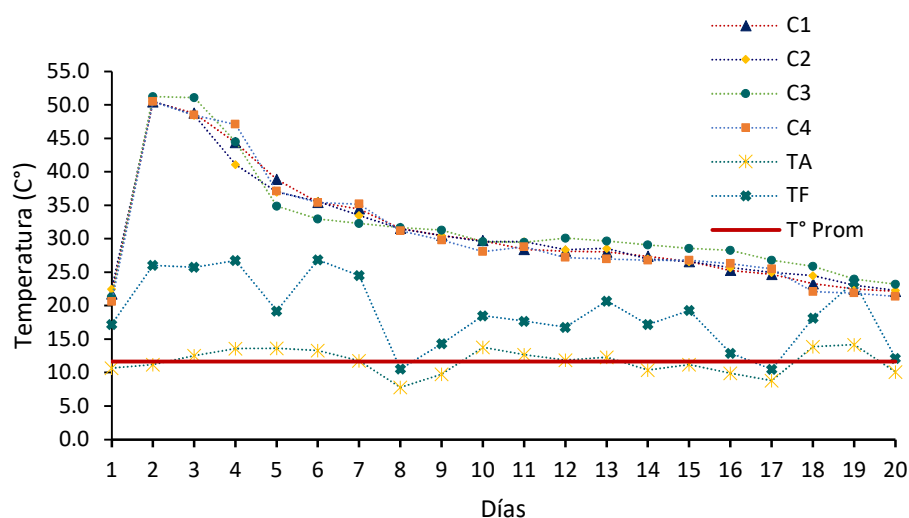
El uso de Bocashi y cascarilla de café influyó notablemente en este comportamiento. La cascarilla, con alto contenido de carbono, favoreció la reducción de la relación C/N y suministró energía adicional para intensificar la actividad microbiana (Hidayat et al. 2020), mientras que el Bocashi aportó microorganismos benéficos que facilitaron la degradación inicial de los residuos (Medvidović et al. 2024). Estos factores explican que el incremento térmico ocurriera en menor tiempo respecto a estudios previos.

Las condiciones ambientales también influyeron de forma complementaria: la temperatura exterior fluctuó entre 14.2 °C y 7.8 °C, y dentro del fitotoldo entre 26.9 °C y 10.5 °C; aun así, el calor generado dentro de las composteras se debió principalmente a la actividad microbiana. Posteriormente, la disminución de temperatura registrada en todas las unidades indicó el agotamiento de los compuestos fácilmente degradables y la transición hacia etapas más estables del proceso.

En cuanto a los rangos óptimos, Salama et al. (2016) establecen 50–55 °C para una descomposición eficiente, mientras que Manu et al. (2017) ubican el óptimo entre 55–60 °C, rango que además permite la eliminación de patógenos y semillas de malezas. Otros autores como Pajura, (2024) y Rastogi et al. (2020) amplían el intervalo a 40–65 °C, abarcando tanto la fase mesófila como la termófila del compostaje. Los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro de dichos rangos, confirmando que el proceso fue adecuado y eficiente.

Figura 2

Cambios de temperatura en el compostaje.



Nota: C1: con inóculo de *Apergillus Niger*; C2: con inóculo de *Trichoderma spp*; C3: con inóculo de *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp*; C4: sin inóculo; TA: Temperatura Ambiental; TF: Temperatura de Fitotoldo. Los resultados son la medida de tres réplicas y las barras de error indican la desviación estándar.

3.3. pH

El pH es un regulador fundamental de la actividad microbiana en el compostaje: valores cercanos a 5.5 pueden ralentizar el proceso, mientras que niveles superiores a 9 favorecen la liberación de compuestos como NH_3 y NO_2 , generando impactos ambientales y afectando el desarrollo vegetal (Pajura, 2024)

En la Figura 3 se observa que todas las composteras presentaron una disminución inicial del pH durante los primeros cuatro días, alcanzando valores cercanos a 5.5. Entre los días 5 y 17, las unidades C1, C2 y C4 mostraron un incremento progresivo hasta valores superiores a 8, mientras que en C3 este aumento fue más breve, iniciándose luego una disminución. Finalmente, en todos los tratamientos el pH se estabilizó cerca de la neutralidad.

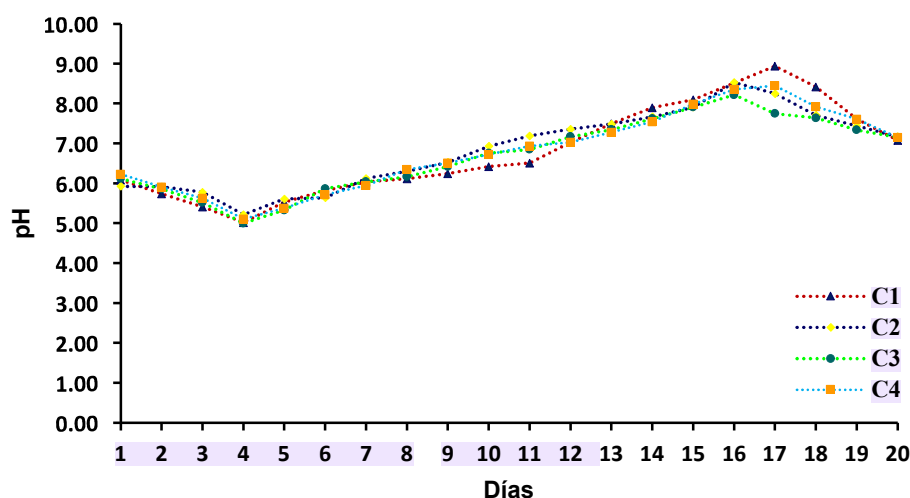
El descenso inicial se asocia a la formación de ácidos orgánicos provenientes de la degradación de proteínas y lípidos, lo que genera un ambiente ácido favorable para hongos capaces de degradar lignina Manu et al. (2017). Posteriormente, el incremento del pH se relaciona con la transformación de estos ácidos en CO_2 y con la mineralización de proteínas, procesos que liberan amoníaco y generan condiciones alcalinas típicas de

etapas avanzadas del compostaje Rastogi et al. (2020). La tendencia observada coincide con la dinámica microbiana descrita en la literatura.

El pH final del compost suele ubicarse en un rango óptimo entre 5.5 y 8.0 (Lu Zhang y Sun, 2016), mientras que valores entre 7.0 y 8.0 indican mayor estabilidad y calidad (Ge et al. 2022). En este estudio, el pH final se mantuvo alrededor de 7.0 en todos los tratamientos, lo que confirma la estabilidad del material obtenido. Además, estos valores cumplen con normativas técnicas internacionales, que consideran aceptable un pH entre 5.0 y 9.0 para compost maduro (FAO, 2015; NCh, 2007; NTC, 2011; NTP, 2021; SNI, 2004)

Figura 3

Cambios de pH en el compostaje.



Nota: C1: con inóculo de *Apergillus Niger*; C2: con inóculo de *Trichoderma spp*; C3: con inóculo de *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp*; C4: sin inóculo. Los resultados son la medida de tres réplicas y las barras de error indican la desviación estándar.

3.4. Degradación del material lignocelulósico

La degradación del material lignocelulósico se evaluó comparando los contenidos iniciales y finales de celulosa, hemicelulosa y lignina (base seca) en las mezclas de RSOM y cascarilla de café, analizadas al inicio y a los 20 días de compostaje (Tabla 3). Según Huang et al. (2010), estos componentes se degradan principalmente durante las fases termófila y de enfriamiento, debido al aumento de actividad microbiana y enzimática.

Los resultados (Tabla 4) muestran una alta degradación de lignina en todos los tratamientos (77.2–79.4%), indicando intensa actividad oxidativa. El valor más alto se obtuvo en C1 (*Aspergillus niger*), lo cual coincide con su capacidad para producir enzimas oxidativas —como lacasas y peroxidasas— que actúan sobre estructuras aromáticas complejas.

En el caso de la celulosa, el tratamiento control (C4) presentó la mayor degradación (74.3%), seguido por C2 (*Trichoderma spp.*) y C3 (mezcla), con valores cercanos al 69%. C1 mostró el porcentaje más bajo (60.5%), posiblemente por variaciones en la dinámica microbiana o en la disponibilidad de oxígeno dentro de la compostera.

Respecto a la hemicelulosa, los valores oscilaron entre 49.8% y 59.4%, destacándose nuevamente C1. La menor degradación en C3 podría explicarse por interacciones competitivas entre los hongos inoculados, reduciendo la eficiencia enzimática conjunta.

Estas tendencias son coherentes con lo reportado por Manu et al. (2017), quienes describen tasas de degradación lignocelulósica entre 50% y 78% en compostajes controlados. La ligera superioridad de algunos tratamientos inoculados podría deberse al uso de *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp.*, ya que estos microorganismos estimulan la producción de enzimas extracelulares que aceleran la descomposición de polímeros lignocelulósicos (Gou et al., 2017).

El elevado grado de degradación observado en el control (C4) se atribuye al pretratamiento previo con Bocashi, el cual incorporó una microbiota funcional capaz de actuar sobre fracciones aromáticas recalcitrantes aun en ausencia de inoculación fúngica adicional. Este comportamiento es consistente con lo señalado por Rastogi et al. (2020), quienes destacan que los consorcios microbianos favorecen la despolimerización de compuestos lignínicos bajo condiciones adecuadas de compostaje.

Tabla 3

Contenido y degradación de la lignocelulosa (base seca).

Tratamiento	Lignina % Contenido		Celulosa Contenido		Hemicelulosa Contenido	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
C1	44.435	9.14 ± 0.65 (a)	23.09	9.12 ± 1.27 (a)	11.54	4.69 ± 0.63 (a)
C2	± 0.65	9.88 ± 0.44 (a)	± 1.27	7.19 ± 1.31 (a)	± 0.63	5.66 ± 0.71 (a)
C3		9.86 ± 0.56 (a)		7.32 ± 1.36 (a)		5.52 ± 1 (a)

C4	10.13 ± 0.53 (a)	5.94 ± 1.38 (a)	5.79 ± 0.84 (a)
-----------	------------------	-----------------	-----------------

Valores con la misma letra en cada fila, son estadísticamente iguales entre si (Tukey, $p \leq 0.05$)

Nota: C1: con inóculo de *Apergillus Niger*; C2: con inóculo de *Trichoderma spp*; C3: con inóculo de *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp*; C4: sin inóculo. Los resultados son la media de tres réplicas ± desviación estándar

3.5. Evaluación de la madurez

La relación carbono/nitrógeno (C/N) es un indicador fundamental de la madurez y estabilidad del compost, pues refleja el equilibrio entre la materia orgánica susceptible de degradación y el nitrógeno disponible para la actividad microbiana. De acuerdo con M. Awasthi et al. (2014), valores ≤ 25 indican un compost maduro, mientras que Gou et al. (2017) y Lim et al. (2016) señalan que relaciones < 20 corresponden a materiales estabilizados y de buena calidad.

En este estudio, la mezcla inicial presentó una relación C/N de 32.5 en todos los tratamientos, la cual disminuyó progresivamente hasta alcanzar valores finales de 18.03 (C1), 16.5 (C2), 16.0 (C3) y 15.57 (C4). Estos resultados confirman la madurez del compost producido y evidencian que la inoculación con hongos lignocelulolíticos, junto con el pretratamiento aplicado, aceleró la reducción de la relación C/N durante los 20 días de compostaje.

La velocidad de disminución observada, superior a la reportada por M. Awasthi et al. (2014) y Lim et al. (2016), sugiere que la estrategia empleada promovió una mayor eficiencia en la mineralización del carbono y la asimilación del nitrógeno, optimizando el proceso en un periodo notablemente más corto.

Prueba del Índice de Germinación IG

El índice de germinación (IG) es un parámetro ampliamente utilizado para evaluar la madurez y ausencia de fitotoxicidad en el compost, considerándose aceptables valores superiores al 80 % (M. Awasthi et al. 2014; H. Wang et al. 2011). En este estudio, el IG aumentó progresivamente en todos los tratamientos, alcanzando valores finales entre 83 % y 94 %, lo que confirma la estabilidad y calidad del compost obtenido en un periodo relativamente corto de 20 días.

La inoculación con hongos lignocelulolíticos favoreció una mejora temprana del IG, acelerando el proceso de estabilización. Este comportamiento puede asociarse a la

reducción de ácidos orgánicos acumulados durante las fases iniciales del compostaje, lo que contribuyó a elevar el pH y disminuir la fitotoxicidad del sustrato, tal como señalan Manu et al. (2017). En conjunto, los resultados indican que la estrategia implementada permitió obtener un compost maduro, estable y apto para su uso agrícola sin riesgo para la germinación.

4. CONCLUSIÓN

El presente estudio demostró que la técnica de compostaje doméstico, combinada con la inoculación de hongos lignocelulolíticos (*Aspergillus niger* y *Trichoderma* spp.), el uso de cascarilla de café como agente de carga y la aplicación de un pretratamiento biológico tipo Bokashi, favoreció la degradación eficiente de residuos orgánicos en condiciones de zonas altoandinas. Los resultados mostraron reducciones de 15 y 18 en la relación C/N, una degradación superior al 60 % de lignina y celulosa, y un índice de germinación entre 83 % y 94 %, lo que confirma la obtención de un compost maduro, estable y libre de fitotoxicidad en un periodo corto de 20 días.

La combinación de inoculación y pretratamiento biológico generó un efecto homogéneo y eficiente en todas las composteras, garantizando un proceso robusto aun en condiciones de bajas temperaturas. En este sentido, el compostaje doméstico con apoyo de microorganismos especializados y sustratos locales constituye una alternativa viable, económica y ambientalmente favorable para la gestión sostenible de residuos sólidos orgánicos en comunidades altoandinas, contribuyendo al aprovechamiento de recursos locales y a la mitigación de impactos ambientales.

REFERENCIAS

- Adebayo, O. S., Kabbashi, N. A., Alam, M. Z., Salihu, A., Salihu, A., Abass, A., & Ruqayyah, T. I. D. (2011). Composting of food and yard wastes by locally isolated fungal strains. *African Journal of Biotechnology*, 10(81), 18800–18806. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2756>
- ALOKIKA, ANU, & SINGH, B. (2023). Utilization of lignocellulosic plant residues for compost formation and its role in improving soil fertility. *Pedosphere*, 33(5), 700–716. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.11.008>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Khan, J., Bundela, P. S., Wong, J. W. C., & Selvam, A. (2014). Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste

- p>composting.
- Bioresource Technology*
- , 168, 214–221.
-
- <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.048>
- Awasthi, M., Pandey, A., Khan, J., Bundela, P., Wong, J. W. C., & Selvam, A. (2014). Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. *Bioresource Technology*, 168, 214–221.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.048>
- Bohacz, J., & Kornil owicz-Kowalska, T. (2019). Fungal diversity and keratinolytic activity of fungi from lignocellulosic composts with chicken feathers. *Process Biochemistry*, 80, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.02.012>
- Bohacz, J., & Kornil owicz-Kowalska, T. (2020). Modification of post-industrial lignin by fungal strains of the genus *Trichoderma* isolated from different composting stages. *Journal of Environmental Management*, 266.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110573>
- Byakodi, A. S., & Suresh Babu, B. T. (2021). Experimental studies on effects of selected species of fungi on aerobic composting of sugar pressmud. *Environmental Research, Engineering and Management*, 77(3), 74–85.
<https://doi.org/10.5755/j01.erem.77.3.24734>
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1973). *Metodos de analisis para suelos plantas y aguas* (México (ed.)). Trillas. <https://books.google.com.pe/books?id=tbaknAEACAAJ>
- Chikae, M., Ikeda, R., Kerman, K., Morita, Y., & Tamiya, E. (2006). Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis. *Bioresource Technology*, 97(16), 1979–1985.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.026>
- Coral-Velasco, D. A., Correa, L. F., Sánchez,  . J., & G mez, J. A. (2024). Process design and techno-economic assessment of cellulolytic enzymes production from coffee husk through process simulation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(7), 8353–8373.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03130-8>
- Dadi, D., Daba, G., Beyene, A., Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2019). Composting and co-composting of coffee husk and pulp with source-separated municipal solid waste: a breakthrough in valorization of coffee waste. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(3), 263–277. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0256-8>

- de Freitas, L. (2021). *Determinação de Fibras (FB, FDN, FDA e Lignina)*.
<https://www.youtube.com/watch?v=aco88SCeyPs&t=24s>
- Domingo, J. L., & Nadal, M. (2009). Domestic waste composting facilities: A review of human health risks. *Environment International*, 35(2), 382–389.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.004>
- Duan, Z., Wang, Q., Wang, T., Kong, X., Zhu, G., Qiu, G., & Yu, H. (2024). Application of microbial agents in organic solid waste composting: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(10), 5647–5659. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13323>
- Echeverria, M. C., Cardelli, R., Bedini, S., Colombini, A., Incrocci, L., Castagna, A., Agnolucci, M., Cristani, C., Ranieri, A., Saviozzi, A., & Nuti, M. (2012). Microbially-enhanced composting of wet olive husks. *Bioresource Technology*, 104, 509–517.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.042>
- Elejalde, J. (2019). *Aprovechando el desecho con la compostera casera apanadora*.
https://archive.org/details/@_aprovecho_el_desecho
- FAO. (2015). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- FDA. (1987). Seed germination and root elongation. *Envi Environmental Assessment Technical Assistance Document 4.06*. Washington, DC: Center for Food Safety and Applied Nutrition and Center for Medicine Veterinary, U.S. Department of Health and Human Services.
- Fdez.-Güelfo, L. A., Álvarez-Gallego, C., Sales Márquez, D., & Romero García, L. I. (2011). The effect of different pretreatments on biomethanation kinetics of industrial Organic Fraction of Municipal Solid Wastes (OFMSW). *Chemical Engineering Journal*, 171(2), 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.095>
- Feng, X., Qiu, M., & Zhang, L. (2024). Construction of lignocellulose-degrading compound microbial inoculum and its effects on green waste composting. *Journal of Environmental Management*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122502>
- Gaspar, S. S., Assis, L. L. R., Carvalho, C. A., Buttrós, V. H., Ferreira, G. M. D. R., Schwan, R. F., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Rigobelo, E. C., Castro, R. P., Castro, R. P., & Dória, J. (2022). Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196>

- Ge, M., Shen, Y., Ding, J., Meng, H., Zhou, H., Zhou, J., Cheng, H., Zhang, X., Wang, J., Wang, H., Cheng, Q., Li, R., & Liu, J. (2022). New insight into the impact of moisture content and pH on dissolved organic matter and microbial dynamics during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 344(PA), 126236. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126236>
- Gou, C., Wang, Y., Zhang, X., Lou, Y., & Gao, Y. (2017). Inoculation with a psychrotrophic-thermophilic complex microbial agent accelerates onset and promotes maturity of dairy manure-rice straw composting under cold climate conditions. *Bioresource Technology*, 243, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.097>
- Hashemi, H., Abbasi, F., Samaei, M. R., & Khodadadi, H. (2018). Determination of Fungi Species Variety in Thermal Phases of Compost Production and Related Operational Parameters. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 144(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001408](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001408)
- Hidayat, E., Afriliana, A., Gusmini, G., Taizo, M., & Harada, H. (2020). Evaluate of Coffee Husk Compost. *International Journal on Food, Agriculture and Natural Resources*, 1(1), 37–43. <https://doi.org/10.46676/ij-fanres.v1i1.8>
- Huang, D., Zeng, G., Feng, C., Hu, S., Lai, C., Zhao, M., Su, F., Tang, L., & Liu, H. (2010). Changes of microbial population structure related to lignin degradation during lignocellulosic waste composting. *Bioresource Technology*, 101(11), 4062–4067. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.145>
- Khalil, A. I., Hassouna, M. S., Shaheen, M. M., & Abou Bakr, M. A. (2013). Evaluation of the composting process through the changes in physical, chemical, microbial and enzymatic parameters. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 15(1), 25–42. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84878045608&partnerID=40&md5=9f54ea704dbfb72a8486351f0702ec75>
- Khyalia, P., Dangi, J., Barapatre, S., Dhania, G., Laura, J. S., & Nandal, M. (2022). Comparative Analysis of Compost Quality Produced from Fungal Consortia and Rice Straw by Varying C/N Ratio and its Effect on Germination of *Vigna radiata*. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21(3), 1235–1242. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i03.029>
- Kumar, S. S., Swapna, T. S., & Sabu, A. (2018). Coffee Husk: A Potential Agro-Industrial Residue for Bioprocess. In *Energy, Environment, and Sustainability* (pp. 97–109).

- Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7431-8_6
- Leow, C. W., Van Fan, Y., Chua, L. S., Muhamad, I. I., Klemes, J. J., & Lee, C. T. (2018). A review on application of microorganisms for organic waste management. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 85–90. <https://doi.org/10.3303/CET1863015>
- Lim, S. L., Lee, L., & Wu, T. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
- Lizarzaburu Aguinaga, D. A., Saavedra Pinedo, E. N., Bravo Guevara, K. V, Benites-Alfaro, E., & Cumpa, R. O. (2023). Traditional Composting, Bokashi and Takakura: Efficiency in the Degradation of Organic Waste. *Chemical Engineering Transactions*, 100, 79–84. <https://doi.org/10.3303/CET23100014>
- Luna, M., Lozada, J., & Trigos, Á. (2010). Aislamiento de cepas de *Aspergillus niger*, productoras de ocratoxina A, en café verde (*Coffea arabica*) almacenado. *Revista Mexicana de Micología*, 32, 63–68.
- M. de Wet, M. M., & G. Brink, H. (2021). *Chapter 18 - Fungi in the bioremediation of toxic effluents* (V. K. Sharma, M. P. Shah, S. Parmar, & A. B. T.-F. B.-P. in S. A. Kumar Environment and Nano-technology (eds.); pp. 407–431). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821925-6.00018-6>
- Ma, Y., & Liu, Y. (2019). Turning food waste to energy and resources towards a great environmental and economic sustainability: An innovative integrated biological approach. *Biotechnology Advances*, 37(7), 107414. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.06.013>
- Manu, M. K., Kumar, R., & Garg, A. (2017). Performance assessment of improved composting system for food waste with varying aeration and use of microbial inoculum. *Bioresource Technology*, 234, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.023>
- Medvidović, N. V., Buljac, M., Dadić, E., Jukić, Z., Josip Radić, & Jozić, S. P. (2024). Indoor Pretreatment of Biowaste Using the Bokashi Method. *Kemija u Industriji; Časopis Kemičara i Tehnologa Jugoslavije*, 73(3–4), 129–138. <https://doi.org/10.15255/KUI.2023.047>
- NCh. (2007). Norma Chilena Oficial NCh 2880.Of2004 Compost - Clasificación y requisitos.

Asociacion de Productores de Harina y Aceite de Pescado, 1–35.

- Nekliudov, A. D., Fedotov, G. N., & Ivankin, A. N. (2008). Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review. *Prikladnaia Biokhimiia i Mikrobiologiia*, 44(1), 9–23.
- Noble, R., & Roberts, S. J. (2004). Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: A review. *Plant Pathology*, 53(5), 548–568. <https://doi.org/10.1111/j.0032-0862.2004.01059.x>
- NTC. (2011). *Norma tecnica colombiana NTC 5167 - productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo* (Issue 14237).
- NTP. (2021). Norma técnica Peruana NTP 201208 Fertilizantes - Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. 1ª Edición - Norma Técnica Peruana - INACAL. *Sustainability (Switzerland)*, 1(1), 1–14. <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Pajura, R. (2024). Composting municipal solid waste and animal manure in response to the current fertilizer crisis - a recent review. *Science of the Total Environment*, 912(July 2023), 169221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169221>
- Posada-Flórez, F. J. (2008). Production of *Beauveria bassiana* fungal spores on rice to control the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Colombia. *Journal of Insect Science*, 8(41), 1–13. <https://doi.org/10.1673/031.008.4101>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*, 6(2), e03343. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>
- Reuter, T., Gilroyed, B. H., Xu, W., Mcallister, T. A., & Stanford, K. (2015). Compost biodegradation of recalcitrant hoof keratin by bacteria and fungi. *Journal of Applied Microbiology*, 119(2), 425–434. <https://doi.org/10.1111/jam.12849>
- Salama, Y., Elamraoui, M., Mountadar, M., Chennaoui, M., El Amraoui, M., Mountadar, M., Doukkali, C., Jadida, E., & Mountadar, M. A. (2016). Review of Compost Produced from Biological Wastes: Sugarcane Industry Waste. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, 1(1), 24–37. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20160101.14>
- Sharma, B. L., Singh, S. P., & Sharma, M. L. (2012). Bio-degradation of Crop Residues by *Trichoderma* Species vis-à-vis Nutrient Quality of the Prepared Compost. *Sugar Tech*, 14(2), 174–180. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0125-x>

- SNI. (2004). Standar Nasional Indonesia SNI 19-7030-2004 Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik. *Badan Standardisasi Nasional*, 12.
- Sudharsan Varma, V., & Kalamdhad, A. S. (2014a). Effects of leachate during vegetable waste composting using rotary drum composter. *Environmental Engineering Research*, 19(1), 67–73. <https://doi.org/10.4491/eer.2014.19.1.067>
- Sudharsan Varma, V., & Kalamdhad, A. S. (2014b). Stability and microbial community analysis during rotary drum composting of vegetable waste. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(2). <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0052-4>
- Suresh, A., Alex, R. A., & Abraham, J. (2021). Fungal Mediated Conversion of Food Waste to Compost. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 15(6), 4–9. <https://doi.org/10.5530/ctbp.2021.6.2>
- Suthar, S., & Kishore Singh, N. (2022). Fungal pretreatment facilitates the rapid and valuable composting of waste cardboard. *Bioresource Technology*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126178>
- Suwannaphan, S., Suksaard, P., Lueangjaroenkit, P., Aroonluk, S., & Thongrak, P. (2024). Isolation and screening of potential lignocellulolytic microbes from Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 12(6), 230–243. <https://doi.org/10.7324/JABB.2024.187833>
- Tamilselvan, K., Sundarajan, S., Ramakrishna, S., Amirul, A.-A. A., & Vigneswari, S. (2024). Sustainable valorisation of coffee husk into value added product in the context of circular bioeconomy: Exploring potential biomass-based value webs. *Food and Bioproducts Processing*, 145, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.03.008>
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169–183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vázquez, M. A., Sen, R., & Soto, M. (2015). Physico-chemical and biological characteristics of compost from decentralised composting programmes. *Bioresource Technology*,

198, 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.034>

- Voběrková, S., Vavěrková, M. D., Burešová, A., Adamcová, D., Vršanská, M., Kynický, J., Brtnický, M., & Adam, V. (2017). Effect of inoculation with white-rot fungi and fungal consortium on the composting efficiency of municipal solid waste. *Waste Management*, 61, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.039>
- Wang, H., Fan, B., Hu, Q., & Yin, Z. (2011). Effect of inoculation with *Penicillium expansum* on the microbial community and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 102(24), 11189–11193. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.044>
- Wang, M., Lv, H., Xu, L., Zhang, K., Mei, Y., Zhang, S., Wu, M., Guan, Y., Zhang, M., Pang, H., & Tan, Z. (2023). Screening of Cold-Adapted Strains and Its Effects on Physicochemical Properties and Microbiota Structure of Mushroom Residue Composting. *Fermentation*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation9040354>
- Xu, P., Shu, L., Li, Y., Zhou, S., Zhang, G., Wu, Y., & Yang, Z. (2023). Pretreatment and composting technology of agricultural organic waste for sustainable agricultural development. *Heliyon*, 9(5), e16311. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16311>
- Yenani, E., Santoso, H., Sutanto, A., & Muhfahroyin. (2021). Organic fertilizer of coffee peel with PUMAKKAL starter formula for sustainable plantation cultivation. In P. E., S. A., & D. U.A. (Eds.), *Young Scholar Symposium on Science Education and Environment 2020, YSSSEE 2020* (Vol. 1796, Issue 1). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012038>
- Zhang, L., Wang, H., Wang, W., Wang, X., Li, J., Li, L., Guo, W., Liu, S., Wang, H., Lu, Y., & Ma, L. (2023). Accelerating carbon conversion in garden waste composting with food waste-expanding microbial inoculants. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 31(5), 785–795. <https://doi.org/10.12357/cjea.20220744>
- Zhang, Lu, & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*, 48, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.032>
- Zhang, Y., Chen, M., Guo, J., Liu, N., Yi, W., Yuan, Z., & Zeng, L. (2022). Study on dynamic changes of microbial community and lignocellulose transformation mechanism during green waste composting. *Engineering in Life Sciences*, 22(5), 376–390. <https://doi.org/10.1002/elsc.202100102>
- zucconi, F. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, 54–57.

ANEXOS

Anexo 1

Evidencia de la sumisión de artículo en una revista de prestigio

Otros correos electrónicos (99+)

Verónica Serrano: Prevención Integral: Sp...

> Anclado

▼ Hoy

> Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas <revista_atm@yahoo.com.mx> 12:30
Envío de artículo - Inoculación...
Estimado doctor Gutiérrez- Pacco, B...

DATOS PARA ES... +4

> Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas <revista_atm@yahoo.com.mx> 12:29
Envío de artículo - Inoculación...
Estimado doctor Gutiérrez- Pacco, B...

▼ Ayer

Prezi 25 % de descuento hast... Lun 14:37
Últimas horas para ahorrar en Prezi ...

Instituto Científico del Pacífico - I...
 Comparte Educación... Lun 1:00
No hay vista previa disponible.

▼ Semana pasada

> Instituto Científico del Pacífico - I...
 MEMBRESÍA EN LinkedIn (2) Vie 28/11

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas <revista_atm@yahoo.com.mx>
Para: @ dany.gutierrez

Mar 18/11/2025 9:12

Responder Responder a todos Reenviar

Estimado doctor Gutiérrez- Pacco,

Buenos días. Acuso de recibido su amable mensaje, de antemano le aprecio su interés en publicar en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (REMEXCA). De su manuscrito le pido de la manera más atenta, ingresar al portal de la revista para enviar su artículo, así posteriormente **subir a la plataforma e indicar el número de referencia que esta le genere.**

<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas>

Saludos cordiales,

Estephania Meléndez
Asistente editorial

Dra. Dora M. Sangreman-Jarquín
Editora en Jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Campo Experimental Valle de México
Carretera Los Reyes-Tenexco, km 13.5
Cuautlan, Tlaxcala, Edo. de México, México.
C. P. 56250. Tel. 55 38 71 87 00 Ext. 85353

Skype: remexca
Facebook: Remexca
<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/>

ISSN impreso: 2007-0934
ISSN en línea: 2007-9230

"La información que se envía al destinatario mediante esta transmisión es propiedad exclusiva del INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP). Si usted no es el destinatario de esta información o si la ha recibido por error, se le comunica que la copia, distribución, modificación, retransmisión, revelación o uso en cualquier forma está estrictamente prohibida."

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° 0392-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 18 de junio de 2024

VISTO:

El expediente de **Dany Marilyn Gutierrez Pacco**, identificado(a) con Código Universitario N° 201812051, 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 **Dany Marilyn Gutierrez Pacco**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Inoculación de hongos lignocelulolíticos en compostaje doméstico de residuos orgánicos en zonas altoandinas" 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 18 de junio 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 "**Inoculación de hongos lignocelulolíticos en compostaje doméstico de residuos orgánicos en zonas altoandinas**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla** y **Ing. Nancy Curasi Rafael** otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

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



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

Anexo 3

Panel Fotográfico

Figura 4

Cuatro tratamientos con tres repeticiones con hongos de las cepas de *Aspergillus niger* y *Trichoderma spp.*



Figura 5

Mezcla de residuos orgánicos pretratados con bokashi y cascarilla de café.



Figura 6

Medición de la temperatura



Figura 7

Medición del pH



Figura 8

Análisis de madurez - Índice de germinación

