

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



**Eficiencia acelerada en compostaje altiplánico con inoculantes
de estiércol de bovino, lactosuero y césped**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Ronald Mestas Mamani
Milagros Apaza Payahuanca

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivero

Juliaca, febrero de 2026

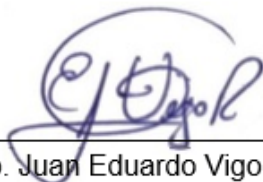
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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: **“EFICIENCIA ACELERADA EN COMPOSTAJE ALTIPLÁNICO CON INOCULANTES DE ESTIÉRCOL DE BOVINO, LACTOSUERO Y CÉSPED”** de los autores **Ronald Mestas Mamani** y **Milagros Apaza Payahuanca**, tiene un índice de similitud de 5% 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 09 días del mes de febrero del año 2026.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 09 día(s) del mes de febrero del año 2024, a las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección de

(de la) presidente(a):

Msc. Enrique Mamani Guala

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

Gallata Bhura

y los demás miembros:

Msc. Loyda Abigail Gordon

Turpo Ing. Veronica Haydee Pani Mamani

y el (la) asesor(a)

Mtro. Juan Eduardo Vigo

Rivera

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

"Eficiencia acelerada en compostaje alfitánico con inoculantes de estiércol de bovino, lactosuero y césped"

del(los) bachiller(es): a) Ronald Mestas Mamani

b) Milagros Apaza Payahuanca

c).....

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Determinación 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): Ronald Mestas Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B -</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Milagros Apaza Payahuanca

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B -</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

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

Agradezco primeramente a Dios por brindarme vida, salud y fortaleza para culminar este trabajo de investigación.

A mis padres, hermanas y sobrino, por su amor, apoyo incondicional y motivación constante durante mi formación profesional.

Expreso mi especial agradecimiento al Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, por su orientación, paciencia y valiosos consejos brindados a lo largo de este proceso académico.

Asimismo, agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por sus enseñanzas y conocimientos compartidos.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos que contribuyeron y me brindaron su apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

Expreso mi gratitud.

Ronald Mestas Mamani

A Dios, por darme la vida, la fuerza y la sabiduría para llegar hasta aquí.

A mí misma, por no rendirme y seguir adelante aun en los días más difíciles.

A mis padres, por su amor, esfuerzo y por enseñarme que los sueños se alcanzan con fe y perseverancia. A mi hermano y a toda mi familia, gracias por su cariño y apoyo incondicional.

Al Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, mi asesor, y a todos los ingenieros que fueron parte de mi formación, gracias por su guía, paciencia y enseñanzas.

A mis amigos y a todas las personas que acompañaron este camino, gracias por cada palabra de aliento, por las risas y por las lecciones que dejaron en mi vida.

Con todo mi amor

Milagros Apaza Payahuanca

INDICE GENERAL

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1 Lugar de ejecución del experimento	10
2.2 Datos meteorológicos	11
2.3 Diseño experimental	11
2.4 Preparación del inoculante microbiano	12
2.5 Proceso de compostaje	13
2.6 Parámetros analíticos	13
2.7 Etapas del compostaje	13
2.8 Eficiencia del compostaje	14
2.9 Análisis estadístico	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	15
3.1 Caracterización del compostaje.....	15
4. CONCLUSIÓN	24
5. REFERENCIAS.....	26

Eficiencia acelerada en compostaje altiplánico con inoculantes de estiércol de bovino, lactosuero y césped

Accelerated composting efficiency in the altiplano using inoculants made from cattle manure, whey, and grass

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el tratamiento de inoculante de estiércol bovino, lactosuero y césped que obtiene mejores propiedades en el compostaje altiplánico, evaluando tres tratamientos con diferentes proporciones de insumos y una pila sin tratamiento. El muestreo fue probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad de materiales locales y las condiciones propias de la zona de estudio en Juliaca. Los resultados mostraron que los inoculantes se estabilizaron en 28 días de fermentación, alcanzando parámetros de temperatura entre 28 °C y 32 °C y humedades entre 60 y 70 %, adecuados para la actividad microbiana. Durante el proceso de compostaje que se dio por 60 días, las condiciones meteorológicas registradas por SENAMHI reflejaron temperaturas máximas de hasta 20.1 °C y mínimas de -9.1 °C, humedades relativas entre 5 y 99 % y velocidades de viento de hasta 11 m/s, evidenciando el reto de trabajar en ambientes altiplánicos. En el análisis físico-químico, los tratamientos alcanzaron valores de pH entre 9.68 y 9.95, conductividad eléctrica entre 7.73 y 8.81 mS/cm, materia orgánica entre 29 y 32 %, nitrógeno total de 1.46 % a 1.62 %, fósforo de 0.70 % a 0.90 %, potasio de 1.90 a 2.20 % y una relación C/N de 11.6, indicadores de compost maduro. Se concluyó que el tratamiento con inoculantes permitió obtener un compost estabilizado y con propiedades cercanas a los estándares nacionales e internacionales de calidad, constituyendo una alternativa viable para la gestión de residuos orgánicos en el altiplano.

Palabras clave: altiplano, compostaje, fermentación, inoculante, tratamiento.

ABSTRACT

The study aimed to determine the inoculant treatment of bovine manure, whey, and grass that achieves the best properties in altiplano composting, evaluating three treatments with different input ratios and one untreated pile. Sampling was probabilistic for convenience, considering the availability of local materials and the conditions specific to the study area in Juliaca. The results showed that the inoculants stabilized within 28 days of fermentation, reaching temperatures between 28°C and 32°C and humidity between 60% and 70%, suitable for microbial activity. During the 60-day composting period, SENAMHI recorded meteorological conditions that included maximum temperatures of up to 20.1°C and minimum temperatures of -9.1°C, relative humidity levels ranging from 5% to 99%, and wind speeds of up to 11 m/s, highlighting the challenges of working in highland environments. Physical and chemical analyses revealed that treatments achieved pH values between 9.68 and 9.95, electrical conductivity between 7.73 and 8.81 mS/cm, organic matter levels between 29% and 32%, total nitrogen levels between 1.46% and 1.62%, phosphorus levels between 0.70% and 0.90%, potassium levels between 1.90% and 2.20%, and a C/N ratio of 11.6, all indicators of mature compost. It was concluded that treatment with inoculants produced stabilized compost with properties close to national and international quality standards, constituting a viable alternative for organic waste management in the highlands.

Keywords: high plateau, fermentation, inoculant, treatment.

1. INTRODUCCIÓN

La generación creciente de residuos sólidos constituye uno de los principales desafíos ambientales contemporáneos, debido a su relación directa con la contaminación del suelo, agua y atmósfera, así como con la emisión de gases de efecto invernadero. Según Cutti Huamani et al. (2022), el incremento de las actividades antropogénicas ha intensificado la producción de residuos en zonas urbanas, periurbanas y rurales. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente reportó que la generación mundial de residuos superó los 2 300 millones de toneladas en 2023 y proyectó un incremento aproximado a 3 800 millones de toneladas anuales hacia 2050; además, cerca del 50 % de estos residuos corresponde a fracciones orgánicas con potencial de valorización mediante tratamientos biológicos adecuados (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2024). los residuos orgánicos constituyen una oportunidad estratégica para pasar a modelos de economía circular, gestionándolos mediante tecnologías locales adecuadas y eficientes en energía.

La eliminación de residuos orgánicos de manera inadecuada fomenta procesos incontrolados de descomposición anaerobia, lo que conduce a emisiones de CO₂, CH₄ y compuestos relacionados con la degradación del medio ambiente. Díaz-Nigenda et al. (2022) las actividades humanas, tanto las más simples como las más complejas, generan residuos que pueden caracterizarse como un emisor importante de gases de efecto invernadero (GEI). Ante este desafío, el compostaje representa una oportunidad de biotecnología que puede estabilizar la materia orgánica, reducir la carga contaminante y obtener un producto de interés agronómico. Sin embargo, su eficiencia depende de factores como la temperatura, humedad, oxigenación, relación carbono/nitrógeno, actividad microbiana y composición del sustrato.

El compostaje implica un proceso de bio-oxidación mediante comunidades microbianas naturales e interactivas que convierten los residuos orgánicos en sustancias húmicas, nutrientes disponibles para las plantas y materia orgánica estabilizada. Por otro lado, en regiones de meseta de gran altitud, este proceso está limitado por las bajas temperaturas, las fluctuaciones extremas de la temperatura diaria y las condiciones climáticas, que provocan que la actividad microbiana del suelo sea relativamente más lenta Castro-Hernández et al. (2023) indican que, bajo condiciones de altiplano, la eficiencia del compostaje puede disminuir de manera significativa,

prolongando las fases de degradación, enfriamiento y maduración. A diferencia de ambientes tropicales o subtropicales, donde la temperatura favorece la fase termofílica, en zonas frías el proceso requiere estrategias complementarias que permitan acelerar la degradación y mejorar las condiciones finales del compost.

De esta manera, se pueden proponer inoculantes orgánicos elaborados a partir de residuos agrícolas y agroindustriales como una alternativa prometedora para mejorar la dinámica microbiológica del compostaje en este contexto. La adición de inoculantes puede promover la descomposición de sustratos complejos, mejorar la actividad enzimática y la tasa de mineralización de los nutrientes disponibles, así como reducir el período de estabilización Castillo Huaman (2020) el uso de inoculantes biológicos permite optimizar los procesos de compostaje mediante microorganismos que pueden intervenir en todas las fases, es decir: fases mesofílicas, termofílicas y de maduración. En este sentido, el empleo combinado de estiércol bovino, lactosuero y césped (*Cynodon dactylon*) puede constituir una estrategia eficiente para potenciar la transformación de residuos orgánicos bajo condiciones climáticas restrictivas.

El estiércol bovino es una fuente importante de microorganismos heterótrofos, entre ellos bacterias de los géneros *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp., además de hongos saprófitos que participan activamente en la degradación de la materia orgánica. Estos microorganismos contribuyen a la descomposición de compuestos orgánicos complejos, al incremento de la actividad biológica y a la mejora de la estructura del suelo mediante la formación de agregados estables Espinosa et al., (2019). Por su parte, el césped aporta biomasa vegetal rica en compuestos carbonados y nitrogenados, así como nutrientes como fósforo y potasio, necesarios para el desarrollo microbiano y la posterior fertilidad del compost. Torres et al., (2024). Señalan que materiales vegetales como el césped pueden favorecer la presencia de microorganismos asociados a la rizosfera, incluidos grupos con capacidad de contribuir a la disponibilidad de nutrientes.

El lactosuero, subproducto de la industria láctea, posee una elevada carga orgánica y contiene bacterias ácido-lácticas como *Lactobacillus* spp. y *Streptococcus* spp., las cuales favorecen procesos fermentativos controlados. Estas bacterias elaboran ácidos orgánicos que pueden reducir el pH del entorno, limitar el desarrollo de microorganismos indeseables y promover condiciones favorables para una fermentación más estable Parra Huertas, R. A., (2009). La interacción entre microorganismos provenientes del estiércol bovino, lactosuero y biomasa vegetal puede

generar un ecosistema microbiano funcional, capaz de potenciar la mineralización de nutrientes, la producción de metabolitos bioactivos y la estabilización de la materia orgánica. De acuerdo con William, (2020) la co-fermentación de residuos orgánicos con lactosuero y materiales vegetales mejora la calidad microbiológica del inoculante final e incrementa su potencial como biofertilizante en sistemas agrícolas andinos.

Aunque la literatura reconoce el potencial del compostaje y de los inoculantes microbianos para valorizar residuos orgánicos, la mayoría de investigaciones se ha desarrollado en condiciones templadas, tropicales o bajo ambientes controlados. En contraste, existe limitada evidencia experimental sobre el comportamiento de inoculantes orgánicos en procesos de compostaje desarrollados bajo condiciones altiplánicas, donde las bajas temperaturas pueden afectar la velocidad de degradación, la estabilidad del producto final y la eficiencia de maduración. Asimismo, aún no se dispone de suficiente información comparativa sobre la proporción adecuada de estiércol bovino, lactosuero y césped para formular inoculantes capaces de mejorar los parámetros fisicoquímicos del compost en estos ambientes extremos.

Esta brecha limita la estandarización técnica del uso de inoculantes en sistemas de compostaje de zonas altoandinas y dificulta su aplicación práctica en contextos rurales, agropecuarios y periurbanos. Por ello, resulta necesario evaluar formulaciones de inoculantes elaboradas con insumos locales, de bajo costo y alta disponibilidad, que permitan acelerar la estabilización de residuos orgánicos y mejorar la calidad agronómica del compost. En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes proporciones de inoculantes elaborados a base de estiércol bovino, lactosuero y césped (*Cynodon dactylon*) sobre la velocidad de estabilización y la calidad fisicoquímica del compost producido bajo condiciones altiplánicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de ejecución del experimento

El estudio se desarrolló en la ciudad de Juliaca, ubicada en la provincia de San Román, región Puno, Perú, a una altitud aproximada de 3824 m s.n.m. Esta región altoandina se caracteriza por bajas temperaturas, alta radiación solar y una marcada variación térmica diurna, condiciones que influyen directamente en la actividad microbiana durante los procesos de compostaje. Los residuos orgánicos domésticos

fueron recolectados de viviendas locales y manejados bajo condiciones controladas para garantizar la seguridad ambiental durante el proceso de compostaje.

Figura 1

Ubicación de la zona experimental – Distrito Juliaca, Provincia San Román.



2.2 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) correspondientes a los meses de junio y julio de 2025, coincidiendo con el periodo experimental. Se analizaron los siguientes parámetros: temperatura ambiental ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%) y velocidad del viento (m/s). Estas variables fueron seleccionadas debido a su influencia directa sobre el metabolismo microbiano, la dinámica de la humedad y el comportamiento térmico de las pilas de compostaje.

2.3 Diseño experimental

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos, incluyendo un tratamiento control (T0). La cantidad de residuos orgánicos (28 kg) y la dosis de inoculante (58 g) se mantuvieron constantes, mientras que se variaron las

proporciones de los componentes del inoculante. La composición de los tratamientos se expresó en términos porcentuales con el fin de estandarizar la comparación entre formulaciones, manteniendo constante el contenido de agua (17%).

Tabla 1

Composición de los tratamientos para la elaboración del inoculante

Tratamientos	Residuos Orgánicos (Kg)	Inoculante (g)	Composición del Inoculante			
			Lactosuero (ml)	Césped (g)	Estiércol bovino (ml)	Agua (ml)
Tratamiento 0 (blanco)	28	0	0	0	0	0
Tratamiento 1	28	58	340 (17%)	660 (33%)	660 (33%)	340 (17%)
Tratamiento 2	28	58	660 (33%)	340 (17%)	660 (33%)	340 (17%)
Tratamiento 3	28	58	660 (33%)	660 (33%)	340 (17%)	340 (17%)

2.4 Preparación del inoculante microbiano

El inoculante se formuló utilizando lactosuero, césped fresco, estiércol bovino y agua. Cada tratamiento fue preparado de forma independiente e incubado a temperatura ambiente para promover la activación microbiana. Las mezclas se incubaron hasta observar indicios de actividad microbiana, tales como formación de gases, cambios de olor y homogenización. El inóculo fue sometido a un proceso de liofilización, que incluyó congelación a -40°C , sublimación al vacío y secado secundario, con el fin de garantizar la viabilidad microbiana.

Figura 2

Proceso de preparación, obtención y conservación del inoculante.

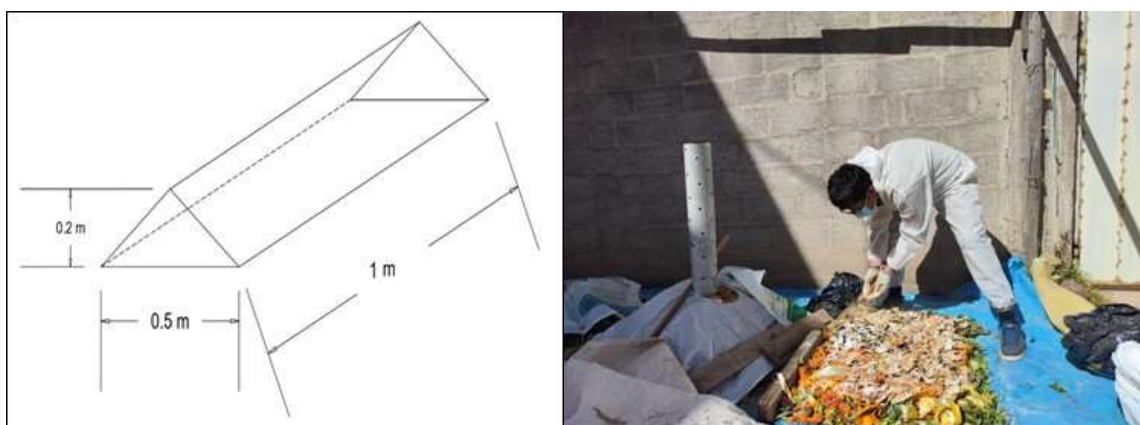


2.5 Proceso de compostaje

El experimento se llevó a cabo en un área de 10 m² (5 × 2 m), cubierta con una geomembrana impermeable para controlar la pérdida de lixiviados. Las pilas de compostaje fueron construidas con forma de prisma triangular (0.5 m de base, 0.2 m de altura y 1 m de longitud). Los residuos orgánicos fueron clasificados, limpiados y reducidos de tamaño para favorecer la degradación microbiana. El inoculante fue rehidratado y aplicado de manera uniforme durante la construcción de las pilas. Se implementó un sistema de aireación pasiva mediante tubos de PVC perforados. El manejo de las pilas incluyó volteo manual en los días 15, 30 y 45, así como el ajuste de la humedad entre 50–60%.

Figura 3

Esquema y montaje experimental de las pilas de compostaje con aireación pasiva



2.6 Parámetros analíticos

Los parámetros fisicoquímicos fueron determinados en un laboratorio acreditado por el INACAL: pH, conductividad eléctrica, humedad, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, potasio total, relación C/N, calcio, magnesio y carbono orgánico. La temperatura fue monitoreada *in situ* durante el proceso de compostaje.

2.7 Etapas del compostaje

El proceso de compostaje se desarrolló durante 60 días y se dividió en tres fases: mesófila, termófila y de maduración. La fase mesófila comprendió los primeros 15 días del proceso, periodo en el cual se inició la activación microbiana favorecida por la incorporación del inoculante. Posteriormente, la fase termófila se extendió aproximadamente desde el día 15 hasta el día 40, caracterizándose por una

degradación más intensa de la materia orgánica y por condiciones favorables para la reducción de microorganismos patógenos. Finalmente, la fase de maduración se llevó a cabo entre los días 40 y 60, etapa en la que ocurrió la estabilización progresiva del material, acompañada de una disminución gradual de la temperatura. Al finalizar el periodo experimental, se obtuvo un compost estabilizado, evidenciado por su color oscuro, textura homogénea, olor característico a tierra y ausencia de residuos orgánicos fácilmente identificables, lo que permitió confirmar la eficiencia del manejo de las pilas y del inoculante aplicado.

Durante el proceso de compostaje, el manejo de las pilas se realizó mediante volteo manual y riego controlado, con el propósito de favorecer la aireación, homogenizar el material, redistribuir la humedad y mantener condiciones adecuadas para la actividad microbiana. El volteo se efectuó manualmente en todos los tratamientos, incluido el tratamiento blanco, en los días 15, 30 y 45 del periodo experimental, evitando la compactación del material y promoviendo una descomposición uniforme. Asimismo, el riego se realizó con agua no clorada durante el armado inicial de las pilas, después de cada volteo y cada vez que se evidenció pérdida de humedad, procurando mantener el contenido de humedad entre 50 y 60 %, rango considerado óptimo para el desarrollo de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. De esta manera, el volteo y el riego constituyeron prácticas fundamentales para asegurar un proceso de compostaje aeróbico, uniforme y eficiente.

2.8 Eficiencia del compostaje

La eficiencia del compostaje se calculó como:

$$\text{Eficiencia del compostaje acelerado (\%)} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde:

- P_i = Peso inicial de los residuos orgánicos (kg)
- P_f = Peso final del compost obtenido (kg)

2.9 Análisis estadístico

El experimento incluyó tres repeticiones por tratamiento ($n = 3$). Se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar y coeficiente de variación). La normalidad y la homogeneidad de varianzas se evaluaron mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente. Se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA), seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0.05$). Para las variables evaluadas en el tiempo, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas. Se realizó un análisis de correlación de Pearson. Todos los análisis fueron realizados utilizando el software R (versión 4.x)

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Caracterización del compostaje

La tabla 2 muestra los parámetros de evaluación del compostaje a los 60 días bajo condiciones altiplánicas.

Tabla 2

Parámetros de calidad del compost a los 60 días bajo condiciones altiplánicas

Parámetro	Unidad de medida	Blanco sin inoculante	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
pH	-	12.4	9.68	9.73	9.95
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	9.38	8.81	8.28	7.73
Cenizas	%	32.52	30.83	36.39	37.86
Humedad	%	43.14	44.56	22.8	30.6
Materia orgánica	%	31.73	32.52	29.91	29.21
Nitrógeno total	%	1.58	1.62	1.49	1.46
Fósforo total	%	0.8	0.7	0.85	0.9
Potasio total	%	2.5	1.9	2.2	2
Carbono orgánico	%	18.4	18.86	17.35	16.95
Relación C/N	-	11.65	11.64	11.64	11.61
Calcio	-	3	1.8	2	2.2
Magnesio	-	0.55	0.38	0.45	0.42

Nota: Estos valores corresponden al compostaje después de los 60 días.

La Tabla 1 muestra una estrategia clara de formulación del inoculante basada en la combinación de lactosuero, césped, estiércol bovino y agua, manteniendo constante la masa de residuos orgánicos (28 kg) y la dosis de inoculante (58 g). Esta aproximación permite evaluar de manera controlada el efecto de la proporción relativa de fuentes de carbono fácilmente biodegradable (lactosuero) y material lignocelulósico (césped) junto con una fuente microbiana y nitrogenada (estiércol bovino). Los estudios demuestran

que el uso de subproductos lácteos con estiércol mejora tanto la actividad microbiana inicial y la fase termofílica, y además favorece una mayor mineralización de la materia orgánica (Bernal et al., 2017; Awasthi et al., 2020). Existen cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos finales del compost para los Tratamientos 1, 2 y 3 en comparación con el Tratamiento 0 (control en blanco), que no incluye inoculante líquido ni sólido durante los procesos de fabricación (Tabla 2). La prueba en blanco con un valor de pH de 12.4 indica un proceso mal controlado debido a la acumulación de compuestos alcalinos y a una actividad microbiana efectiva deficiente con el sustrato. En contraste, los tratamientos inoculados presentan valores de pH de 9.68–9.95, coherentes con los rangos reportados en la bibliografía para compost estabilizado, en el que la actividad microbiana y la humificación amortiguan las condiciones extremas alcalinas.

La conductividad eléctrica (CE) disminuyó de forma progresiva de 9,38 mS/cm para el control a 7,73 mS/cm para el Tratamiento 3, lo que indica que hubo una inmovilización más efectiva de las sales solubles y una mayor incorporación de nutrientes a la biomasa microbiana. Esta tendencia concuerda con informes que señalan que, cuando estos residuos eran ricos en carbono soluble (como el suero), se observó una menor asimilación de iones y un menor riesgo de salinización en el compost final (Li et al., 2021). El mayor grado de mineralización de la materia orgánica, reflejado en los valores obtenidos para el contenido de cenizas y en un aumento de esta variable, también se observa de los Tratamientos 2 a 3 (36,39 a 37,86%). La materia orgánica y el carbono orgánico siguen una tendencia diferente, ya que muestran ligeras reducciones en comparación con el Tratamiento 1, lo que nuevamente indica una etapa de degradación más avanzada. Este patrón es característico de composts más maduros, que contienen una fracción lábil alterada y están dominados por compuestos húmicos de mayor peso molecular (Bernal et al., 2017).

Los tratamientos inoculados revelan una redistribución de mayor favorabilidad de la calidad nutritiva al equilibrar consideraciones técnicas (macronutrientes). El nitrógeno total se mantiene dentro del rango normal (1.46 a 1.62%), sin permitir pérdidas excesivas por volatilización, así como también aumentaron el fósforo total y el potasio para los tratamientos 2 y 3, posiblemente debido al suministro combinado de estiércol bovino y a una mayor eficiencia microbiana en la solubilización de estos elementos (Li et al., 2025). Uno de los más importantes es la relación C/N, que ha mostrado, de un tratamiento inoculado a otro, prácticamente constante y muy similar (alrededor de 11.6), siendo este valor indicativo de un compost en etapa de madurez y estabilidad apto para

uso agrícola [29]. Este resultado confirma que, a pesar de las diferencias en la composición del inoculante, que modifica la cinética de descomposición y la distribución de nutrientes, la estabilización del carbono y del nitrógeno es compatible con los rangos recomendados a nivel mundial (Haug, 2018).

Finalmente, los contenidos de calcio y magnesio muestran una reducción respecto al blanco, lo que sugiere una mayor incorporación de estos cationes en complejos orgánico-minerales o su redistribución en formas menos solubles, fenómeno asociado a procesos avanzados de humificación. Este comportamiento es deseable desde el punto de vista agronómico, ya que reduce la alcalinidad excesiva y mejora la calidad del compost como enmienda del suelo (Zhang et al., 2022).

Tabla 3

Comparación de medias de los parámetros de calidad del compost según tratamiento

Parámetro	pH	Conductividad eléctrica (CE)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo total (%)	Potasio total (%)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Calcio	Magnesio
Blanco sin inoculante	12.4±0.01 ^d	9.38±0.01 ^d	32.52±0.01 ^b	43.1±0.01 ^c	31.73±0.01 ^c	1.58±0.01 ^c	0.8±0.01 ^b	2.5±0.01 ^d	18.4±0.01 ^c	11.65±0.01 ^c	3±0.01 ^d	0.55±0.01 ^d
Tratamiento 1	9.68±0.01 ^a	8.81±0.01 ^c	30.83±0.01 ^a	44.56±0.01 ^d	32.52±0.01 ^d	1.62±0.01 ^d	0.7±0.01 ^a	1.9±0.01 ^a	18.86±0.01 ^d	11.64±0.01 ^b	1.8±0.01 ^a	0.38±0.01 ^a
Tratamiento 2	9.73±0.01 ^b	8.28±0.01 ^b	36.39±0.01 ^c	22.8±0.01 ^a	29.91±0.01 ^b	1.49±0.01 ^b	0.85±0.01 ^c	2.2±0.01 ^c	17.35±0.01 ^b	11.64±0.01 ^b	2±0.01 ^b	0.45±0.01 ^c
Tratamiento 3	9.95±0.01 ^c	7.73±0.01 ^a	37.86±0.01 ^d	30.6±0.01 ^b	29.21±0.01 ^a	1.46±0.01 ^a	0.9±0.01 ^d	2±0.01 ^b	16.95±0.01 ^a	11.61±0.01 ^a	2.2±0.01 ^c	0.42±0.01 ^b

La Tabla 3 presenta los valores promedio ± desviación estándar de algunos parámetros fisicoquímicos principales del compost, seguidos de letras en superíndice que representan diferencias significativas entre tratamientos (en minúscula) según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Se observaron diferencias altamente significativas (pH y conductividad eléctrica) con el tratamiento en blanco que mostró los valores más altos, lo que indica un proceso menos controlado (Tabla 5). En contraste, los tratamientos inoculados disminuyeron gradualmente en ambos parámetros con dependencia de la formulación. Asimismo, las cenizas, la humedad, la materia orgánica y el carbono orgánico mostraron diferencias significativas entre tratamientos, lo que es indicativo de distintos niveles de mineralización y de pérdidas de la fracción orgánica. En particular,

T1 retuvo ciertamente más materia orgánica y carbono, pero los contenidos más altos de cenizas en T2 y T3, con menor humedad, se correlacionaron con un ataque microbiano más intenso y una degradación más avanzada del sustrato.

Los nutrientes presentaron niveles más altos en T1 en comparación con el control del tratamiento, y el nitrógeno total fue significativamente más alto en T1 (mayor conservación), mientras que el fósforo y el potasio mostraron valores más altos en T2 y T3, reforzando su potencial fertilizante. Aunque hubo diferencias para estos parámetros, no se pudieron detectar cambios estadísticamente significativos en la relación C/N entre tratamientos, caracterizada por un valor promedio de 11.6, lo que indica la similitud de la madurez biológica de todos los compostes determinada en la etapa de estabilización aproximada. Por último, las fuertes diferencias observadas para el calcio y el magnesio, más bajos en los tratamientos inoculados, indican una incorporación más intensa de estos cationes en complejos organo-minerales, que es característica de una humificación avanzada. En conjunto, el análisis estadístico confirma que la inoculación modula significativamente la calidad del compost, permitiendo orientar el producto final hacia mayor retención de carbono (T1) o mayor mineralización y disponibilidad de nutrientes (T2 y T3), sin comprometer su estabilidad final.

3.2 Variables de control durante el proceso de compostaje

La tabla 4 presenta las temperaturas correspondientes a los 60 días en los que se obtuvo el compost, evidenciando el comportamiento de temperatura en las pilas compostaje.

Tabla 4

Variación diaria de las variables de control ambiental obtenidas por el SENAMHI y temperatura del compost según tratamiento.

Día	Humedad Ambiental (%)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura ambiente (°C)	Tratamiento				Día	Humedad Ambiental (%)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura ambiente (°C)	Tratamiento			
				T0	T1	T2	T3					T0	T1	T2	T3
				Temperatura (°C)								Temperatura (°C)			
1	17	3.2	15.9	20	28	26	27	31	22	4.4	16.1	24	56	45	39
2	17	3	15.7	21	32	27	30	32	16	4.6	16	23	54	44	38
3	17	2.8	16	22	36	28	33	33	12	6.1	15.4	23	52	43	37
4	22	3.1	16.2	23	40	29	36	34	12	4.9	14.9	22	50	42	36
5	24	3.8	16.2	24	45	30	40	35	9	4.8	15.5	22	48	41	35
6	20	3.6	17	26	50	31	45	36	8	4.1	15.7	21	46	40	34
7	14	3.8	16.7	28	55	32	47	37	9	4.6	16.6	21	44	39	33
8	21	3.9	16.4	30	60	33	48	38	8	2.4	17.6	21	43	38	32
9	22	4.2	17.1	32	62	34	48	39	10	4.4	17.2	20	42	37	31

10	16	2.6	17	34	64	35	48	40	9	5.3	17.5	20	41	36	30
11	25	5	15.7	36	65	36	47	41	9	3.2	17.5	20	40	35	29
12	13	1.7	16.1	38	66	37	47	42	11	2.8	16.9	20	39	34	28
13	8	7.5	16.6	40	67	38	46	43	14	3.7	16.3	19	38	33	27
14	8	5.3	15.7	40	68	39	46	44	13	3.5	16.8	19	37	32	26
15	12	3.8	15.2	39	68	40	46	45	13	4.3	17	19	36	31	25
16	25	4.6	13.6	38	67	41	45	46	7	8.5	17.3	19	35	30	24
17	30	7.5	15.8	37	66	42	45	47	24	8.6	13.5	18	34	29	23
18	33	7.8	15.1	36	66	43	45	48	33	5.9	12.2	18	33	28	22
19	22	4	17.8	35	67	44	44	49	44	10.4	12.1	18	32	27	21
20	29	5.2	17	34	68	45	44	50	30	4.7	14.1	18	31	26	20
21	8	5.8	18.5	33	68	46	44	51	19	4.8	16.4	18	30	25	20
22	5	7.9	20.1	32	67	47	43	52	20	6.8	15.6	18	29	24	20
23	5	7.8	18.6	31	66	48	43	53	10	4.2	16.9	17	28	23	20
24	9	4.7	18.3	30	65	49	43	54	11	5	16.5	17	27	22	20
25	19	11	16.8	29	64	50	42	55	10	4.9	16.6	17	26	21	20
26	21	6	17.1	28	63	50	42	56	19	7.1	17	17	25	20	20
27	27	7.2	14.9	27	62	49	41	57	10	6.3	16.3	17	24	19	20
28	26	8.7	14.7	26	61	48	41	58	13	5.4	17	17	23	18	20
29	23	5	16.4	25	60	47	40	59	28	3.1	15.2	17	22	18	20
30	32	5	15.2	24	58	46	40	60	27	6.1	15.8	17	21	17	20

Fuente: Datos ambientales SENAMHI y temperaturas registradas *in-situ*.

La Tabla 4 presenta la evolución diaria de las variables ambientales de control humedad ambiental, velocidad del viento y temperatura ambiente— y su relación con la temperatura interna del compost en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 durante 30 días. Estas variables son determinantes en el proceso de compostaje, ya que influyen en la actividad microbiana, la pérdida de humedad, la transferencia de calor y la estabilización final del material. A pesar de que todos los tratamientos estuvieron expuestos a condiciones ambientales similares, se observaron diferencias marcadas en la temperatura interna del compost, lo que indica que el comportamiento térmico dependió principalmente de la composición del tratamiento y no solo del ambiente externo.

El tratamiento T0 presentó el aumento térmico más lento, con temperaturas máximas moderadas que indicaron una actividad microbiana limitada, probablemente relacionada con la falta de inoculación. En cambio, los tratamientos T1, T2 y T3 alcanzaron temperaturas más altas y de mayor duración que atravesaron el intervalo de 45 a 55 °C más rápidamente; este rango de temperatura es típico de la fase termofílica del compostaje [9]. Este comportamiento sugiere que el inoculante (que contenía suero lácteo como fuente de carbono fácilmente degradable, estiércol bovino como fuente microbiana y pasto, además de material estructural) promovió la activación metabólica y la producción biológica de calor Bernal et al. (2017).

La temperatura ambiente fue bastante estable, oscilando aproximadamente entre 14 y 18 °C; por tanto, no puede explicar el aumento interno de temperatura de las baterías. Mientras que la humedad ambiente y la velocidad del viento se comportaron de manera aleatoria, los tratamientos inoculados (en particular T2 y T3) mantuvieron altas temperaturas incluso en condiciones muy desfavorables y presentaron una estabilidad térmica mayor que la del control. Este comportamiento coincide con lo reportado por Anacleto et al., (2024) , quienes indican que el viento puede favorecer pérdidas de calor en sistemas de compostaje al aire libre; sin embargo, una mayor actividad microbiana puede compensar dicho efecto. En conjunto, los resultados demuestran que T2 y T3 presentaron un proceso de compostaje más eficiente, estable y favorable para la obtención de un compost de mejor calidad, en concordancia con los parámetros fisicoquímicos reportados en la Tabla 3.

3.3. Cumplimiento del marco normativo respecto al compost obtenido.

En la tabla 5 se puede demostrar el cumplimiento a los parámetros fisicoquímicos y nutrientes del compost acelerado.

Tabla 5.

Cumplimiento de las normas técnicas.

Parámetro	Unidad de medida	Muestra sin trat.	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	IIAP	NTC	NTCH	FAO	NTP	Cumple
pH	-	12.4	9.68	9.73	9.95	7.0 – 8.3	4 - 9	5 – 7.5	6.5 – 8.6	6.5 - 8.5	No
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	9.38	8.81	8.28	7.73	2 - 4	-	-	-	2 - 4	No
Cenizas	%	32.52	30.83	36.39	37.86	-	-	-	-	-	-
Humedad	%	43.14	44.56	22.8	30.6	-	-	-	-	>35% - <50%	Si
Materia orgánica	%	31.73	32.52	29.91	29.21	-	>15	>45	>20	≥20%	Si
Nitrógeno total	%	1.58	1.62	1.49	1.46	0.8 – 1.5	>1	>0.8	0.3 – 1.5	0.1 - 1.3	Si
Fósforo total	%	0.8	0.7	0.85	0.9	0.4 - 1.0	-	-	0.1 - 1.0	0.1 - 1.0	Si
Potasio total	%	2.5	1.9	2.2	2	0.6 - 1.5	-	-	0.3 - 1.0	0.3 - 1.0	No
Carbono orgánico	%	18.4	18.86	17.35	16.95	-	-	-	-	-	-
Relación C/N	-	11.65	11.64	11.64	11.61	-	-	-	10:1 - 15:1	25:1 - 35:1	Si
Calcio	-	3	1.8	2	2.2	2 - 6	-	-	-	2 - 6	Si

Magnesio	-	0.55	0.38	0.45	0.42	0.2 - 0.7	-	-	-	0.2 - 0.7	Si
----------	---	------	------	------	------	-----------	---	---	---	-----------	----

Fuente: IIAP (*Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana*), NTC (*Norma Técnica Colombiana 5167*), NTCH (*Norma Técnica Chilena NCh2880*), FAO (*Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*), NTP (*Norma Técnica Peruana 201.208.2021*).

La Tabla 5 sintetiza el grado de cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos del compost obtenido bajo los tratamientos evaluados (T0–T3), contrastándolos con referencias normativas ampliamente utilizadas en América Latina y a nivel internacional. Este análisis es clave, ya que la calidad del compost no solo debe evaluarse por su desempeño agronómico, sino también por su conformidad regulatoria, condición indispensable para su uso y comercialización. El pH del tratamiento sin inoculante (T0 = 12.4) se encuentra fuera de todos los rangos normativos, evidenciando un material químicamente inestable y potencialmente fitotóxico. Los tratamientos inoculados (T1–T3) disminuyen significativamente el pH (9.68–9.95), pero aun así alcanzan valores por encima de los límites superiores establecidos en FAO y NTP, 2020. Este hallazgo indica que, pese al papel beneficioso desempeñado por el inoculante en el proceso, sería necesario un tiempo de maduración más prolongado y/o modificaciones en su formulación para lograr la neutralización (un proceso ya citado con compost ricos en cenizas o en bases intercambiables: Bernal et al., 2017). La conductividad eléctrica (CE) presenta valores muy altos en cada tratamiento (7.73–9.38 mS/cm), mientras que no se cumplen los rangos recomendados (de 2 a 4 mS/cm). Este comportamiento se correlaciona bien con el ambiente de altas sales solubles debido a la intensa mineralización prevalente en los tratamientos inoculados. Una CE elevada puede restringir sus aplicaciones en cultivos sensibles, pero, por otro lado, también representa una alta disponibilidad o aporte de nutrientes; así, decir que el impacto puede evaluarse debería depender de manera particular del tipo de suelo y cultivo. Domingues et al., (2020).

El parámetro de humedad ilustra una concentración suficientemente baja en todos los tratamientos (<50 %) para ser competente como compost físicamente estable, capaz de almacenamiento y aplicación, cumpliéndose las normas regulatorias. Complementariamente, los valores de materia orgánica (≈29–33 %) son superiores a los mínimos reconocidos como NTC, NTCh y FAO, confirmando que este procesamiento sencillo retuvo una fracción adecuada de material orgánico para mejorar la estructura y la fertilidad del suelo. La relación C/N, en los rangos recomendados (10:1–15:1 o incluso 25:1 según la norma), con valores cercanos a 11,6 para todos los tratamientos,

probablemente sea uno de los indicadores más potentes de madurez y estabilidad biológica. Este hallazgo confirma que el compost es adecuado para aplicaciones agrícolas, aunque es posible que deban optimizarse otros parámetros.

El nitrógeno total de todos los tratamientos inoculados se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa, lo que indica una buena retención de este nutriente lograda en el proceso. Del mismo modo, el fósforo total está en concordancia con las normas de la IIAP, la FAO y el NTP, lo que incrementa la utilidad del fertilizante del compost. Por el contrario, el potasio total, que presenta concentraciones más bajas desde un punto de vista agronómico, pero aún concentraciones altas para un contexto de análisis de alimentos, no cumple con algunas directrices reglamentarias probablemente debido a diferencias en los métodos de referencia, así como a la variabilidad superior e inferior permitida entre las normas. Este resultado refleja una característica frecuente de los sistemas regulatorios: sus estándares se han limitado en lugar de constituir un fallo real del producto. Los contenidos de calcio y magnesio están dentro de los rangos recomendados por la IIAP y el NTP, y concuerdan con los valores de pH alcalino encontrados previamente, además de las propiedades de los materiales de desecho. Agronómicamente, estos valores son buenos para suelos ácidos, pero demuestran la necesidad de calcular las dosis de compost en función del suelo y el cultivo.

3.4. Determinación de la eficiencia

En la tabla 6 refleja el porcentaje de reducción de residuos sólidos “orgánicos” y el porcentaje de compost obtenido posterior a los 60 días.

Tabla 6

Eficiencia del compostaje en relación a la masa.

Tratamiento	Peso Inicial (Kg)	Peso Final (Kg)	Residuos (Kg)	% de reducción de RRSS	% de Compost Obtenido
Blanco	28	4.2	2	85.0	15.0
1	28	5.5	1	80.4	19.6
2	28	5.4	2	80.7	19.3
3	28	4.5	2.1	83.9	16.1

Nota: el Porcentaje de reducción de RRSS se obtuvo mediante fórmula de eficiencia de compost acelerado.

La Tabla 6 evalúa la eficiencia del proceso de compostaje en función de la reducción de masa de los residuos sólidos (RRSS) y el % de Compost (Compst), directamente correlacionados con la intensidad de la degradación biológica y el estado de estabilización de la materia orgánica. Este método es especialmente pertinente, porque no debe interpretarse únicamente como una pérdida máxima de masa durante el compostaje, sino como una interacción entre los procesos de mineralización y la acumulación de la fracción húmica en relación con la idoneidad agrícola. El tratamiento en blanco (T0), que presenta la mayor reducción de pérdida de masa (85,0%) y el porcentaje de compost obtenido (15,0%), demuestra una pérdida excesiva de material, probablemente vinculada a compuestos de volatilización, lixiviación y degradación no controlable. Este comportamiento es coherente con los resultados previamente analizados de un pH extremadamente básico, un peor control térmico y una mayor dependencia de las condiciones ambientales. No obstante, técnicamente, Francaviglia, (2023) señala que tanta reducción no representa un proceso efectivo para ninguno de los involucrados, sino más bien ineficacia para mantener la materia orgánica estable.

Estos tratamientos con hongos inoculados presentaron menores pérdidas de masa (80,4 a 83,9%) y, además, un mayor rendimiento de compost (16,1–19,6%), lo que evidencia que son procesos más equilibrados en comparación con el tratamiento T3 sin inoculación. En particular, el Tratamiento 1 obtuvo el mejor compost (19,6%), lo que indica una mejor retención de fracciones orgánicas estables, consistente con los resultados de materia orgánica, carbono orgánico y la relación C/N presentados en la Tabla 3, discutidos anteriormente. En cambio, el Tratamiento 2 redujo la masa (80,7%), pero conservó el nivel más alto de compost (19,3%), lo que significa un método muy eficiente con el cual convertir residuos en un fruto funcional, reflejando de cerca el resultado sustituto identificado mediante la dinámica térmica sostenida mostrada en la Tabla 6. La expresión exclusiva de estos altos niveles de actividad y la retención de masa estabilizada es característica de un sistema de compost eficiente estimulado mediante procesos de inoculación equilibrados según a Anacleto et al., (2024).

Apropiadamente para su parte, el Tratamiento 3 presentó una reducción sustancial de la masa (83,9%) y, en relación con T1 y T2, un porcentaje de compost menor (16,1%). Es probable que este comportamiento indique una mayor mineralización de la fracción orgánica, lo cual se correlaciona con el aumento previamente registrado en los contenidos de ceniza y la pérdida de carbono. No tiene por qué ser desfavorable desde el punto de vista agronómico; más bien podría indicar un compost más

mineralizado, posiblemente útil para suelos con pocos nutrientes y con una menor contribución de carbono estable.

3.5 Integración con la dinámica térmica y la calidad final

La correlación entre la eficiencia de masa (Tabla 6) y la dinámica térmica (Tabla 3) es evidente: los tratamientos en los que se alcanzó y mantuvo durante más tiempo la fase termofílica (T1 y T2) fueron aquellos que obtuvieron una mayor conversión de residuos en compost, mientras que se produjeron pérdidas excesivas en el tratamiento en blanco, que tiene menor control térmico. Similar a la eficiencia obtenida, hallé concordancia con la observada para el cumplimiento parcial de los preceptos técnicos (Tabla 5), ya que la estabilidad y la calidad de los tratamientos inoculados mostraron independencia, pese a ligeras desviaciones en el pH y la conductividad eléctrica.

4. CONCLUSIÓN

Dado que los productos enriquecidos con suero, estiércol bovino, pasto y agua modificaron de manera significativa la dinámica del compostaje en condiciones de meseta alta, incrementando la calidad del producto final, así como la eficiencia del proceso, estos resultados sugieren que deben utilizarse inoculantes desarrollados a partir de materiales de entrada específicos para optimizar este enfoque rentable. En la primera evaluación, los tratamientos inoculados disminuyeron el pH del compost de 12.4 (control) a valores entre 9.68 y 9.95, y la conductividad eléctrica del tratamiento T3 disminuyó de 9.38 mS/cm en el control hasta 7.73 mS/cm, lo que indica que el proceso estuvo más controlado que para el tratamiento sin inoculación. Asimismo, las diferencias mayores que las determinadas por la prueba de Tukey ($p < 0.05$) reiteraron que la composición del compost se debió directamente a la formulación del inoculante en lo referente a sus parámetros fisicoquímicos y nutricionales.

Además, la inoculación favoreció una mayor activación microbiana, reflejada en una dinámica térmica más intensa y sostenida. La temperatura ambiente se mantuvo baja y relativamente constante (12.1 a 20.1 °C); para T1 también alcanzó hasta 68 °C, mientras que el control (blanco) mostró uniformemente una temperatura máxima de solo 40 °C. Este comportamiento evidenció que el inoculante fue capaz de producir suficiente calor biológico para sostener la fase termofílica y acelerar la dinámica de

descomposición de la materia orgánica y el acondicionamiento sanitario del material. Es decir, hubo una mayor capacidad adaptativa del compostaje inoculado a las limitaciones climáticas encontradas en las zonas altoandinas

Sin embargo, el compost, independientemente de cómo se obtenga, todavía presenta un pH alto, una conductividad eléctrica y niveles de potasio elevados, lo que dificulta el cumplimiento normativo total, aunque se cumplieron los principales parámetros de calidad agronómica en cuanto a humedad, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y la relación C/N cercana a 11,6, lo cual es un buen indicador de la estabilidad y la madurez biológica del compost. En términos de eficiencia, T1 presentó el mejor desempeño integral, al obtener el mayor rendimiento de compost final (5.5 kg; 19.6 %) y el menor residuo remanente (1 kg), generando aproximadamente 31 % más compost que el blanco a partir de la misma masa inicial de 28 kg. Por tanto, T1 y T2 se consolidan como las formulaciones más eficientes, al integrar estabilidad térmica, mayor recuperación de compost útil y mejor calidad agronómica, aunque se recomienda una fase adicional de maduración o ajuste de formulación antes de su aplicación extensiva o comercialización.

5. REFERENCIAS

- Aguilar, L. (2021). Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Recuperado de: <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee4c2dda-68c7-4a85-af37-be8f962029ca/content>
- Aguirre López, E. W. (2017). Producción de Biofertilizante mediante fermentación de la cuyinaza por bacterias del género *Lactobacillus* aisladas del fermento de la chicha de la cebada. Universidad Católica de Sedes Sapientiae. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14095/209>
- Ambiente, O. P. para el M. (2024). El mundo debe superar la era de los desechos y convertirlos en recursos: Informe de la ONU. Programa para el Medio Ambiente ONU.
- Anacleto, T. M., Suzuki, B. K., Björn, A., Yekta, S. S., Shizue, L., Masuda, M., y Oliveira, V. P. De. (2024). Methane yield response to pretreatment is dependent on substrate chemical composition : a meta - analysis on anaerobic digestion systems. *Scientific Reports*, 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51603-9>
- Byron, N. (2021). Uso de microorganismos eficientes para acelerar la descomposición de residuos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L), Echeandía – Bolívar. Universidad Agraria del Ecuador. Recuperado de: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/NOBOA%20GAVILANES%20BYRON%20ALEXANDER.pdf>
- Butrón, M. (2023). Evaluación de la calidad del compost en base a los residuos orgánicos y estiércol en la comunidad de Apacheta – Ilave 2022. Universidad Privada San Carlos]. *Repositorio Institucional UPSC*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/650>
- Castillo Huaman, L. C. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019* [Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8245>
- Castro-Hernández, F., Navarro-Flores, J. R., y Castro-Barquero, L. (2023). Adición de inóculos microbianos y condiciones optimizadas de elaboración en un compost comercial. *Agronomía Costarricense*, 47(2), 23-46. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/rac.v47i2.56130>
- Cutti Huamani, E., Flores Rodriguez, K. L., y Flores Soto, W. (2022). *Influencia del compostaje mejorado en la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos en la Granja Montefino, Llachoccmayo - Ayacucho 2021*. Universidad Continental.
- Díaz-Nigenda, E., Venegas-Sandoval, A., Vázquez-Morales, W., Nájera-Aguilar, H. A., Morales-Iglesias, H., y Vázquez Ovando, C. (2022). Emisiones de metano por la disposición de residuos sólidos urbanos : el caso de Tuxtla Gutiérrez , Chiapas , México. *Acta Universitaria*, 32(e3506), 1-14. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174.au.2022.3506>
- Domingues, R. R., Miguel, A. S., Spokas, K. A., Melo, C. A., Trugilho, P. F., Valenciano, M. N., y Silva, C. A. (2020). *Enhancing Cation Exchange Capacity of Weathered Soils Using Biochar : Feedstock , Pyrolysis Conditions and Addition Rate*. 1-17.
- Franca Viglia, R. (2023). *Conservation Agriculture and Soil Organic Carbon : Principles , Processes , Practices and Policy Options*.
- Gavilanes, I., Ramos, S., & Idrovo, J. (2024). Efectos de la adición de lactosuero en el

- compostaje de residuos agropecuarios y en la higienización y calidad del compost obtenido. *Comunicación presentada en las VIII Jornadas de la Red Española de Compostaje*, Córdoba, España.
https://www.researchgate.net/publication/388928388_Efectos_de_la_adicion_de_lactosuero_en_el_compostaje_de_residuos_agropecuarios_y_en_la_higienizacion_y_calidad_del_compost_obtenido
- Grupo Banco Mundial. (2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. Grupo Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Han, Y., Yang, Z., Yin, M., Zhang, Q., Tian, L., & Wu, H. (2024). Exploring product maturation, microbial communities and antibiotic resistance gene abundances during food waste and cattle manure co-composting. *Science of the Total Environment*, 929, 173649.
- Koontz, H., & Weihrich, H. (2021). Administración: una perspectiva global y empresarial (15.ª ed.). *McGraw-Hill Education*.
- La Cruz, H. (2019). Calidad de compost de residuos sólidos orgánicos domiciliarios utilizando aserrín de *Eucalyptus globulus Labill* y restos de poda jardín Chilca - Huancayo [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. *Repositorio Institucional UNCP*.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5442/T010_20079183_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Li, T., Wang, S., Liu, S., Zhang, X., Dong, H., Dai, S., Chai, L., Li, H., Lv, Y., Li, T., Gao, Q., Li, G., y Ma, X. (2025). Trade-offs of organic amendment input on soil quality and crop productivity in saline-alkali land globally: A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 164, 127471.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127471>
- Medina Lara, M. S., Quintero Lizaola, R., Espinosa Victoria, D., Alarcón, A., Etchevers Barra, J. D., Trinidad Santos, A., y Conde Martínez, F. V. (2018). Production of a compost accelerator inoculant. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.010>
- Medina, M. S., Quintero, R., Espinosa, D., Alarcón, A., Etchevers, J. D., Trinidad, A., Víctor, F., y Martínez, C. (2018). Generación de un inoculante acelerador del compostaje. *Aam*, 50(2), 206–210.
- Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2023). *Informe sobre la gestión de residuos sólidos en el Perú 2023*. MINAM.
- Moncada, D. y Ramírez, N. (2024). Evaluar la eficiencia de la aplicación de microorganismos eficientes ME en la descomposición de residuos orgánicos domésticos urbanas del municipio de Andes, Antioquia. 2023. Universidad de Antioquia.
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/978fbddb-eb6d-465e-bb03-2799520d9097/content>
- Morales-Mena, B., Nápoles-García, M. C., & Hernández-Forte, I. (2021). Influencia de la época de producción en la estabilidad microbiológica del biofertilizante Azofert®-S. *Cultivos Tropicales*, 42(4).

- Nigenda, E. D., Sandoval, A. V., Morales, W. V., Aguilar, H. N., Iglesias, H. M., y Ovando, C. V. (2022). Emisiones de metano por la disposición de residuos sólidos urbanos: el caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México Methane. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 32, 1–14.
<https://doi.org/http://doi.org/10.15174/au.2022.3506> Emisiones
- Ochoa Espinosa, M. F., Armenta Calderón, A. D., Moreno Salazar, S. F., Fernández Herrera, E., & Ochoa Meza, A. (2019). FERTILIZACIÓN ORGANICA Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL SUELO. *Biotecnia*, 21(1), 87-92.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2023). *Perspectivas de la economía circular y la gestión de residuos sólidos urbanos*. OCDE Publishing.
- Palomino, K. (2020). Aplicación de microorganismos eficaces en la obtención de bokashi mejorado a partir de residuos orgánicos domiciliarios, Cangallo 2022. Universidad Continental. Recuperado de:
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12392/4/IV_FIN_107_TE_Palomino_Salvatierra_2022.pdf
- Parra Huertas, R. A., (2009). LACTOSUERO: IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 62(1), 4967-4982.
- Pérez, M. C., Oramas, J., Sotolongo, E. A., Román, Y., & López, H. (2020). Optimización del medio de cultivo y las condiciones de fermentación para la producción de un biofertilizante a base de *Azotobacter chroococcum*. *Biotecnología Vegetal*, 20(3), 189-201.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). *El mundo debe superar la era de los desechos y convertirlos en recursos: Informe de la ONU*.
<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-superar-la-era-de-los-desechos-y>
- Ramos, E., & Zúñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 123-130.
- Sánchez, P., & Ramírez, L. (2022). *Gestión integral de residuos sólidos: Enfoques y estrategias locales*. Editorial EcoSostenible.
- Tortarolo, M. F., Pereda, M., Palma, M., y Arrigo, N. M. (2008). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del Suelo*, 26(1), 41–50.
- Torres, C. C., Nanjareddy, K., & Arthikala, M. (2024). Fijación biológica de nitrógeno y sostenibilidad agrícola. *Cuadernos De Educación Y Desarrollo*, 16(6), e4655.
<https://doi.org/10.55905/cuadv16n6-194>
- William, C. a. J. (2020). Obtención de biofertilizante a partir de desechos orgánicos domésticos en el distrito de Querocoto. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50745>

ANEXOS

Anexo 1.

Evidencia de sumisión del artículo



[RICA] Envío recibido

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

Fecha Lun 15/12/2025 23:01

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

vigo.rivera:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Eficiencia acelerada en compostaje altiplánico con
inoculantes de estiércol de bovino, lactosuero y césped " 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/55793>

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 articulo 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° 0541-2024/UPeU-FLA-CF-T

Lima, Naña 15 de julio de 2024

VISTO:

El expediente de Ronald Mestas Mamani, identificado(a) con Código Universitario N° 201911776 y Milagros Apaza Payahuanca identificado(a) con Código Universitario N° 201011205, 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 articulo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que Ronald Mestas Mamani y Milagros Apaza Payahuanca, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Eficiencia Acelerada en Compostaje Altiplánico con Inóculantes de Estiércol Bovino, Lactosuero y Césped" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 15 de julio 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 articulo titulado "Eficiencia Acelerada en Compostaje Altiplánico con Inóculantes de Estiércol Bovino, Lactosuero y Césped" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo el cual fue dictaminado por: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo y Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani, 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.

Figura 4.

Análisis de Varianza de los parámetros pH y conductividad eléctrica.

Análisis de la varianza

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	12	1.00	1.00	0.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.49	3	5.16	5163400.00	<0.0001
Parametros	15.49	3	5.16	5163400.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	15.49	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T1	9.68	3	5.8E-04	A
T2	9.73	3	5.8E-04	B
T3	9.95	3	5.8E-04	C
B1	12.40	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Conductividad eléctrica (mS/cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad eléctrica (m..	12	1.00	1.00	0.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.51	3	1.50	1501800.00	<0.0001
Parametros	4.51	3	1.50	1501800.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	4.51	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T3	7.73	3	5.8E-04	A
T2	8.28	3	5.8E-04	B
T1	8.81	3	5.8E-04	C
B1	9.38	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 5.

Análisis de varianza (cenizas y humedad) expresados en (%).

Cenizas (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cenizas (%)	12	1.00	1.00	2.9E-03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	96.63	3	32.21	32210999.92	<0.0001
Parametros	96.63	3	32.21	32210999.92	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	96.63	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T1	30.83	3	5.8E-04	A
B1	32.52	3	5.8E-04	B
T2	36.39	3	5.8E-04	C
T3	37.86	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Humedad (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad (%)	12	1.00	1.00	2.8E-03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	976.65	3	325.55	325550704.37	<0.0001
Parametros	976.65	3	325.55	325550704.37	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	976.65	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T2	22.80	3	5.8E-04	A
T3	30.60	3	5.8E-04	B
B1	43.14	3	5.8E-04	C
T1	44.56	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 6.

Análisis de Varianza (materia orgánica y nitrógeno total) expresados en (%).

Materia Organica (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia Organica (%)	12	1.00	1.00	3.2E-03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21.41	3	7.14	7136275.00	<0.0001
Parametros	21.41	3	7.14	7136275.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	21.41	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T3	29.21	3	5.8E-04	A
T2	29.91	3	5.8E-04	B
B1	31.73	3	5.8E-04	C
T1	32.52	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Nitrogeno Total (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrogeno Total (%)	12	1.00	1.00	0.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.05	3	0.02	16875.00	<0.0001
Parametros	0.05	3	0.02	16875.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	0.05	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T3	1.46	3	5.8E-04	A
T2	1.49	3	5.8E-04	B
B1	1.58	3	5.8E-04	C
T1	1.62	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 7.

Análisis de Varianza (carbono orgánico (%) y relación de C/N).

Carbono orgánico (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Carbono orgánico (%)	12	1.00	1.00	0.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.13	3	2.38	2376200.00	<0.0001
Parametros	7.13	3	2.38	2376200.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	7.13	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T3	16.95	3	5.8E-04	A
T2	17.35	3	5.8E-04	B
B1	18.40	3	5.8E-04	C
T1	18.86	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Relación C/N

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Relación C/N	12	1.00	1.00	0.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.7E-03	3	9.0E-04	900.00	<0.0001
Parametros	2.7E-03	3	9.0E-04	900.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	2.7E-03	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T3	11.61	3	5.8E-04	A
T2	11.64	3	5.8E-04	B
T1	11.64	3	5.8E-04	B
B1	11.65	3	5.8E-04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 8.

Análisis de Varianza de calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Calcio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Calcio	12	1.00	1.00	0.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.49	3	0.83	830000.00	<0.0001
Parametros	2.49	3	0.83	830000.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	2.49	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T1	1.80	3	5.8E-04	A
T2	2.00	3	5.8E-04	B
T3	2.20	3	5.8E-04	C
B1	3.00	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Magnesio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Magnesio	12	1.00	1.00	0.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.05	3	0.02	15800.00	<0.0001
Parametros	0.05	3	0.02	15800.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	0.05	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T1	0.38	3	5.8E-04	A
T3	0.42	3	5.8E-04	B
T2	0.45	3	5.8E-04	C
B1	0.55	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 9.

Análisis de Varianza de fosforo total (%) y potasio total (%).

Fósforo total (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo total (%)	12	1.00	1.00	0.12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07	3	0.02	21875.00	<0.0001
Parametros	0.07	3	0.02	21875.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	0.07	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T1	0.70	3	5.8E-04	A
B1	0.80	3	5.8E-04	B
T2	0.85	3	5.8E-04	C
T3	0.90	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Potasio total (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Potasio total (%)	12	1.00	1.00	0.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.63	3	0.21	210000.00	<0.0001
Parametros	0.63	3	0.21	210000.00	<0.0001
Error	8.0E-06	8	1.0E-06		
Total	0.63	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00261

Error: 0.0000 gl: 8

Parametros	Medias	n	E.E.	
T1	1.90	3	5.8E-04	A
T3	2.00	3	5.8E-04	B
T2	2.20	3	5.8E-04	C
B1	2.50	3	5.8E-04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3.

Panel fotográfico de la ejecución del proyecto de investigación.

Figura 10.

Liofilización de nuestros para la obtención de inoculantes.



Figura 11.

Inoculante obtenido en las tres (03) dosis.



Figura 12.

Adición de inoculantes a las pilas de compostaje.



Figura 13

Pilas de compostaje con inoculantes.



Figura 14.

Fase de maduración del compostaje.



Anexo 4.

Informes de análisis de laboratorio

Figura 15

Resultado de análisis Físico-Químico del compost

**MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C**

MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
ANÁLISIS DE AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR
COMPARACIÓN DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO 0157/MQA
RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO : ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST.
PROCEDENCIA : PUNO - PUNO.
INTERESADO : MILAGROS APAZA PAYAHUANCA.
RONALD MESTAS MAMANI.
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.
FECHA DE MUESTREO : 20/08/2025. (Por el Interesado).
FECHA DE ANALISIS : 20/08/2025.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

DETERMINACIONES	UNIDAD	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	METODOLOGIA
pH		12.40	9.68	9.73	9.95	Potenciómetro
C.E.	mS/cm	9.38	8.81	8.28	7.73	Conductímetro
Cenizas	%	32.52	30.83	36.39	37.86	Gravimetría (horno)
Humedad	%	43.14	44.56	22.80	30.60	Estufa Eléctrica
Materia Orgánica (% M.O)	%	31.73	32.52	29.91	29.21	Método Walkley & Black
Nitrógeno Total (% de N)	%	1.58	1.62	1.49	1.46	Método Kjeldahl
Fósforo Total (% de P ₂ O ₅)	%	0.80	0.70	0.85	0.90	Digestión ácida + Espectrofotometría UV
Potasio Total (% K ₂ O)	%	2.50	1.90	2.20	2.00	Digestión ácida + Fotometría de llama
Carbono Orgánico (% C.O)	%	18.40	18.86	17.35	16.95	Cálculo indirecto
Relación C/N		11.65	11.64	11.64	11.61	C.O. / N
Calcio (como Ca ⁺⁺)		3.00	1.80	2.00	2.20	AAS / ICP
Magnesio (como Mg ⁺⁺)		0.55	0.38	0.45	0.42	AAS / ICP

NOTA: La muestra se recepcionó en el laboratorio.


Benito Fernández Salazar
RUC: 20612800741
GERENTE


Salomón Justo Morales Yucra
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO