



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

E.A.P. BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA



TESIS

**EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES Y
DE MONTAÑA EN EL COMPOSTAJE DE CUYINAZA, CAJAMARCA 2024**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO
BIOTECNÓLOGO**

PRESENTADO POR:

BACH. VÍCTOR IVÁN PULACHE SALCEDO

ASESOR:

Dra. CARMEN EDDY MEDINA RODRÍGUEZ

CO-ASESORES:

M. Cs. MARIETTA ELIANA CERVANTES PERALTA

M. Cs. JUAN PABLO CUEVAS GIMÉNEZ

CAJAMARCA – PERÚ 2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: **Víctor Iván Pulache Salcedo**
DNI: **70873931**
Escuela Profesional/Unidad UNC: **ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA**
2. Asesor:
Dra. CARMEN EDDY MEDINA RODRÍGUEZ
Facultad/Unidad UNC: **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**
3. Grado académico o título profesional al que accede:
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EFEECTO DE LA INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES Y DE MONTAÑA EN EL COMPOSTAJE DE CUYINAZA, CAJAMARCA 2024
6. Fecha de evaluación del antiplagio: **13/8/2025**
7. Software antiplagio: **TURNITIN** **URKUND (ORIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **16%**
9. Código Documento: **oid:3117:482887951**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Cajamarca, 13 de agosto del 2025



* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

Copyright©

Pulache Salcedo Víctor Iván

Todos los derechos reservados

FICHA CATALOGRÁFICA

Pulache, V. 2025. Efecto De La Inoculación De Microorganismos Eficientes

Y De Montaña En El Compostaje De Cuyinaza, Cajamarca 2024/ Pulache

Salcedo Víctor Iván.

Escuela Profesional de Biología y Biotecnología

Asesor: Carmen Eddy Medina Rodríguez

Disertación Académica para optar el Título Profesional de Biólogo

Biotecnólogo UNC 2025

Efecto De La Inoculación De Microorganismos Eficientes Y De Montaña En El
Compostaje De Cuyinaza, Cajamarca 2024

Autor : Bach. Pulache Salcedo Víctor Iván

Asesor : Dra. Medina Rodríguez Carmen Eddy

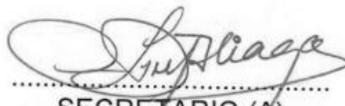
Tesis evaluada y aprobada para la obtención del Título Profesional de Biólogo
Biotecnólogo de la Universidad Nacional de Cajamarca, por los siguientes jurados.

JURADO EVALUADOR



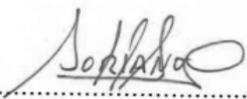
.....
PRESIDENTE

Dr. Jose Padilla Sobrados



.....
SECRETARIO (A)

MCs. Arturo Ulises Díaz Aliaga



.....
VOCAL

MCs. William Edgardo Soriano Castillo

Cajamarca, 2025 - Perú



MODALIDAD "A"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO

En Cajamarca, siendo las 9 am del 12 de agosto del 2021, los integrantes del Jurado Evaluador para la revisión y sustentación de la tesis, designados en Consejo de Facultad a propuesta del Departamento Académico, reunidos en el ambiente 11-304 de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Cajamarca, dan inicio a la sustentación de tesis denominada: Efecto de inoculación de microorganismos eficientes y de montaña en el compostaje de Cuyinaga, Cajamarca 2024.

del (a) Bachiller en Ciencias Biológicas: Víctor Iván Pulache Salcedo

Siendo las 10 am del mismo día, se da por finalizado el proceso de evaluación, el Jurado Evaluador da su veredicto en los siguientes términos: muy bueno, con el calificativo de 17, con lo cual el (la) Bachiller en Ciencias Biológicas se encuentra apto para la obtención del Título Profesional de: BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO.

Table with 2 columns: Miembros Jurado Evaluador (Nombres y Apellidos) and Firma. Rows include Presidente (Dr. José Padilla Sobrinos), Secretario(a) (MCS. Arturo Ulises Díaz Aliaga), Vocal (MCS. William Edgardo Soriano Castillo), Accesitaria, Asesor (a) (Dra. Carmen Eddy Medina Rodríguez), and Co-Asesor (a) (Juan Pablo Cervera Cimeñez).

Términos de Calificación: EXCELENTE (19-20), MUY BUENO (17-18), BUENO (14-16), REGULAR (12-13), REGULAR BAJO (11), DESAPROBADO (10 a menos)

Dedicatoria

Mis padres y hermano, **Víctor, Maribel y Tristán**, que siempre me han acompañado y apoyado en el transcurso de cumplir mis metas y festejado mis logros, además de mi hermosa mascota, **Loba**, que se ha sido una gran compañía como parte de nuestra familia. Para mi abuelo **José** que donde esta vela por mí y que espero que este logro llegue hasta él. Para ti, **M**, que a pesar de que ya no estés, mientras me acompañabas, fuiste mi motor y motivo.

**"La ciencia es el alma de la prosperidad de las naciones y la fuente de vida de
todo progreso."**

Louis Pasteur

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme acompañado en todo este camino y bendecirme con paciencia, sabiduría y de buenos familiares, docentes y compañeros, pudiendo celebrar con este objetivo de mi vida profesional.

A mis padres, por haber apoyado desde el primer día en mi camino académico profesional, dándome consejos y guiándome por la vida para ser un excelente hijo, un grandioso profesional y sobre todo una persona con valores.

A mis docentes, que, durante los 5 años de carrera, me compartieron sus conocimientos, su curiosidad científicos, sus valores como profesionales y sus consejos como amigos, sirviendo como tutores y ejemplos a seguir de lo que deseo ser como Biólogo.

A mi asesora, la Dra. Carmen Eddy Medina Hoyos y a mis co-asesores, la Mg. Marieta Eliana Cervantes Peralta y el Mg. Juan Pablo Cuevas Giménez, que además de ser los que me guiaron en el desarrollo de esta investigación, me compartieron sus conocimientos y sus experiencias. Gracias por su tutoría, su acompañamiento y sobre todo, su amistad, dejándome con este proyecto ya finalizado, que inicia una nueva etapa de mi desarrollo.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria, al darme la oportunidad de dirigir esta investigación y además darme las herramientas para realizarla, siendo mi primer lugar de aprendizaje fuera de la universidad, acompañándome como practicante, como servidor en capacitación y ahora como tesista.

Finalmente, agradecer a todos los que me acompañaron en este camino, mis amigos, mis compañeros, mis confidentes y que en esta nueva etapa que empieza a partir de este paso ya acabado, me sigan acompañando, muchas gracias a todos.

Tabla de contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I.....	3
1.1. INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II	6
2.1. MARCO TEÓRICO	6
2.1.1. Antecedentes De Investigación	6
2.1.2. Bases Teóricas	9
CAPÍTULO III.....	25
3.1. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	25
3.1.1. Nivel De Investigación	25
3.1.2. Tipo Y Diseño De Estudio	25
3.1.3. Material Biológico.....	25
3.1.4. Localización Y Descripción Del Sitio Del Ensayo	26
3.1.5. Obtención Y Activación De Microorganismos	26
3.1.6. Recolección De Cuyinaza.....	26
3.1.7. Instalación Y Seguimiento De Los Tratamientos.....	27
3.1.8. Evaluación Del Proceso De Compostaje	27
3.1.9. Evaluación Físicoquímica De La Composta	28
3.1.10. Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos	32
3.1.11. Técnicas De Procesamiento Y Análisis De Datos.....	33
CAPÍTULO IV.....	34
4.1. RESULTADOS	34
4.1.1. Valores Iniciales De La Cuyinaza	34
4.1.2. Evolución De La Temperatura En El Proceso De Compostaje	35
4.1.3. Cambios Físicoquímicos Del Compostaje.....	38
4.1.3.2. Comparación De Los Valores Físicoquímicos Entre Los Tratamientos	45

4.2. DISCUSIÓN.....	66
CAPÍTULO V	73
5.1. CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÉNDICES.....	79

Lista de abreviaturas

EM	Microorganismos eficientes
MM	Microorganismos de montaña
EEI	Estación Experimental de Investigación
LABSAF	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves
CE	Conductividad Eléctrica
MO	Materia orgánica
NTC	Norma Técnica Colombiana
NOCh	Norma Oficial Chilena

Glosario

Calidad del compost: La capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública (Soliva y López, 2004).

Humus: Parte más o menos estable y bien descompuesta de la materia orgánica de los suelos minerales. El humus es un material orgánico del suelo que también es una de las texturas (SSSA, 2008).

Macronutriente: Un elemento químico necesario en gran cantidad (usualmente 50 mg/kg en la planta) para el crecimiento de las plantas. Incluye C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S. (SSSA, 2008).

Micronutriente: Un elemento químico necesario en solo cantidades extremadamente pequeñas (<50 mg/kg en la planta) para el crecimiento de las plantas como B, Cl, Cu, Fe, Mn y Zn (SSSA, 2008).

Sinergismo: La asociación no obligatoria entre organismos que es mutuamente benéfica. Ambas poblaciones pueden sobrevivir en su ambiente natural o solas; sin embargo, la asociación ofrece mutuas ventajas (SSSA, 2008).

**“EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS
EFICIENTES Y DE MONTAÑA EN EL COMPOSTAJE DE
CUIYINAZA, CAJAMARCA 2024”**

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo optimizar el compostaje de cuyinaza mediante la inoculación de dos consorcios microbianos: microorganismos eficientes (EM) y de montaña (MM), en la Estación Experimental Baños del Inca del INIA, Cajamarca. Se evaluaron tres tratamientos: T0 (control), T1 (EM) y T2 (MM), monitoreando parámetros fisicoquímicos, nutrientes y metales. Se planteó que los consorcios mejorarían la calidad del compost, siendo los MM más accesibles y efectivos.

Los tratamientos inoculados alcanzaron temperaturas termofílicas de hasta 61.1 °C (T2), con aumento del pH de 8.8 (T1) a 9.3 (T2). La materia orgánica se redujo de 59.0% a 35.3% en T2, indicando estabilización. Se conservaron nutrientes como nitrógeno (23.3 mg/g), fósforo (18,740.4 mg/kg) y potasio (1,091.7 mg/kg), siendo T2 el tratamiento con mejor perfil en cuanto macronutrientes.

T2 redujo significativamente metales como plomo (-64.9%) y cadmio (-48%), cumpliendo con la norma chilena NCh2880. Las pruebas ANOVA y Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas en fósforo, cromo y plomo, con T2 estadísticamente distinto del control.

Estos resultados evidencian el potencial de los microorganismos de montaña como una alternativa sostenible y económica para producir compost de calidad a partir de residuos pecuarios.

Palabras clave: compostaje, cuyinaza, microorganismos eficientes, microorganismos de montaña, bioabono, nutrientes, metales pesados

Abstract

This study aimed to optimize the composting of guinea pig manure (cuyinaza) by inoculating two microbial consortia: effective microorganisms (EM) and mountain microorganisms (MM), at the INIA Experimental Station in Baños del Inca, Cajamarca. Three treatments were tested: T0 (control), T1 (EM), and T2 (MM), monitoring physicochemical parameters, nutrients, and metals. It was hypothesized that microbial inoculation would enhance compost quality, with MM offering a more accessible and effective option.

Inoculated treatments reached thermophilic temperatures up to 61.1 °C (T2), and pH increased from 8.8 to 9.3. Organic matter dropped from 59.0% to 35.3% in T2, indicating stabilization. Nutrients like nitrogen (23.3 mg/g), phosphorus (18,740.4 mg/kg), and potassium (1,091.7 mg/kg) were preserved. T2 showed the best nutrient profile.

Heavy metal reductions in T2 included lead (−64.9%) and cadmium (−48%), meeting Chilean NCh2880 standards. ANOVA and Kruskal-Wallis tests showed significant differences in phosphorus, chromium, and lead, with T2 statistically distinct from the control.

The findings support MM as a cost-effective, sustainable tool for producing high-quality compost that aligns with international safety and fertility standards.

Keywords: composting, cuyinaza, EM, MM, nutrients, heavy metals, biofertilizer

CAPÍTULO I

1.1.INTRODUCCIÓN

La pérdida de suelos a nivel mundial es una amenaza constante a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad de la producción agrícola, según informes de la Organización de las Naciones Unidas (FAO), indican que el 95% de la alimentación mundial es dependiente de manera directa o en parte de su producción de los suelos, algo preocupante al considerar que un tercio de los suelos en la tierra están degradados, estimando que para el año 2050, la producción agrícola reducirá en un 10% frente a una población en aumento (FAO, 2023). En Perú, aproximadamente 40% de los suelos se encuentran en procesos de degradación media a severa o totalmente desertificados (Limo Segura, 2015).

En regiones andinas, la presión sobre los recursos naturales causada por malas prácticas agrícolas, la deforestación y la topografía accidentada causa que la degradación sea más acentuada, lo que involucra a Cajamarca (Gobierno Regional de Cajamarca, 2023). En nuestra región, el Plan de Ordenamiento Territorial (2023) del Gobierno Regional de Cajamarca (GORE) explica que varias prácticas agropecuarias tradicionales aunado a una mala gestión de residuos sólidos agravan la degradación de los suelos y con ello su productividad. Entre estas actividades encontramos a la crianza de cuyes (*Cavia porcellus* L.) en la cual participan cerca de 30 mil familias a un nivel tradicional, lo cual causa una inadecuada gestión de los residuos producidos, degradando el recurso edáfico (GORE, 2023; AgroPerú, 2023).

Los residuos de esta actividad, producido por las excretas de los cuyes, residuos de su pelaje y restos de alimento no aprovechado se denomina cuyinaza (Aguirre, 2017). Gran

cantidad de estudio han demostrado el potencial de la cuyinaza como abono, el cual puede tener valores de materia orgánica superiores a 60%, de nitrógeno entre 3 a 4%, y un pH neutro de manera fresca (Murray-Núñez *et al.*, 2023), estas características fisicoquímicas dan un gran valor para aprovecharlos como abono. Sin embargo, el aplicar directamente la cuyinaza a cultivos puede provocar acumulación de sales, aumentar la presencia de fitopatógenos en los cultivos y además ser un riesgo a la salud humana por presencia de enteropatógenos (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

El compostaje es un proceso biotecnológico capaz de potenciar estas enmiendas convirtiéndolas en un bioabono más estable, más disponible y seguro de una manera sencilla (Camacho *et al.*, 2018). Este proceso hace uso de agentes fisicoquímicos y biológicos aumentando los beneficios con estos últimos al mejorar la estructura del suelo, la biotransformación de nutrientes y la estimulación de mecanismos de defensa contra plagas (Castro-Hernández *et al.*, 2023). Por estas opciones, la biotecnología agrícola hace uso de consorcios microbianos que realizan sinergia y aumentan estas ventajas, siendo una manera sostenible de producir bioabono de alta calidad, teniendo dos consorcios importantes, los Microorganismos eficientes (EM) y los de montaña (MM) (Vasudeo, 2021).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inoculación de microorganismos eficientes y de montaña en el proceso de compostaje de cuyinaza recolectada de la Estación Experimental Baños del Inca, del Instituto Nacional de Innovación Agraria. Se maneja la hipótesis de que la inoculación de microorganismos eficientes y de montaña en el compostaje de la cuyinaza tiene beneficios positivos, siendo superior y más accesibles los MM al alcanzar valores cercanos a la norma técnica chilena 2880. Se evaluó los parámetros fisicoquímicos de cada tratamiento de cuyinaza tras un proceso de compostaje.

realizada en invernadero. Se encontró un efecto positivo en ambos tratamientos con microorganismos inoculados, teniendo mejores resultados el tratamiento con MM. Esta investigación logró demostrar el efecto de la inoculación de EM y MM en el compostaje de cuyinaza, pudiendo ser extendido mediante transferencia de tecnología a los productores e invitar a desarrollar nuevas investigaciones en este ámbito.

CAPÍTULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes de Investigación

Camacho *et al* (2018). Realizaron un estudio en Costa Rica acerca de las propiedades de restos de cosecha, con la finalidad de identificar la capacidad del MM y lodos para la optimización del compostaje. Para ello prepararon una mezcla base de biomasa fresca compuesta de residuos de cosecha de hortalizas, legumbres y frutales, hojas de banano y chips de madero negro inoculados con microorganismos de montaña (MM) y lodos activados. En sus resultados un compost caracterización química de un pH de 8.5, una conductividad eléctrica (CE) de 103 mS/m, materia orgánica (MO) al 26% y 1,8% de N, 0,27% de P y 1,88% de K, siendo semejante al uso de microorganismos eficientes (EM), siendo la única deficiencia en lo analizado el P, indicando una mejoría frente a otros bioabonos producidos por la aplicación de EM.

Bustinza *et al.* (2022). Realizaron una investigación en el distrito de Chanchamayo, Junín, acerca de optimizar el compostaje a partir de pulpa de café adicionando cenizas, estiércol de cuy y MM. Para ello utilizaron 6 tratamientos: T0 (pulpa), T1 (pulpa con ceniza), T2 (pulpa con ceniza y estiércol de cuy), T3 (pulpa con ceniza y estiércol de cuy inoculado con MM), T4 (pulpa con estiércol de cuy) y T5 (pulpa inoculada con MM). El estudio arrojó mejores resultados en aquellos tratamientos que contaron con estiércol de cuy y la inoculación por MM, siendo los T2, T3, T4 y T5 que presentaron mejores valores. El compostaje con pulpa de café y estiércol de cuy permitió una mayor acumulación de MO, N, K₂O y MgO. La adición de microorganismos de montaña favoreció la reducción del

peso final del compost e incrementó el P₂O₄. De esta manera, ellos concluyeron que su abono era de calidad para la norma oficial chilena (NOCh 2880).

Bailón y Florida (2021). Evaluaron los compost comercializados en el distrito de Rupa Rupa, Huánuco, bajo los estándares de la NOCh 2880, la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC 5167) y los estándares de calidad de la OMS. Los abonos relevantes fueron el producido por la empresa M&F a base de vacaza y EM. Y el producido por la empresa Alborada S.A. que incluye estiércol de murciélago, restos vegetales frescos y leche. Los resultados arrojaron respectivamente a los abonos de M&F y Alborada valores de pH de 8,3 y 8,1, MO de 33% para ambos, los valores para el N fueron 1,64 y 1,65%, para el P₂O₅ 1,2 y 1,58, para K de 3,01 y 4, representando un abono de buena calidad según la NTC y la OMS, pero de calidad media para la NOCh. Concluyeron que aunque no se presentaron diferencias estadísticas, los abonos de M&F y Alborada tuvieron mejores contenidos de N y de mejor calidad.

Castillo Huamán (2020). Evaluó la calidad del compostaje de 4 tipos de residuos producidos en el distrito de Huayucachi, Huancayo, siendo el vacaza, el estiércol de oveja, residuos sólidos municipales y restos vegetales postcosecha. Aplicó diferentes dosis de EM, siendo de 0 L, 0,5 L, 1 L y 2 L, mezclando los cuatro tipos de restos para la obtención del compost. La investigación arrojó mejores resultados con la aplicación de 2L de inóculo, dando un pH de 7,44, CE de 3,26 dS/m, MO de 28,7%, 1% de N, 1,54 de P₂O₅ y 0,55 de K₂, pero sin diferencias significativas en los cuatro tipos de tratamientos. De esta manera demostró que el proceso de compostaje utilizando microorganismos es de alta calidad, sin embargo, también demostró la incidencia de metales pesados como el cadmio a 4,55 ppm.

Julcamoro y Flores (2023). Evaluaron el efecto de EM y lombrices californianas (*Eisenia foetida* Sav.) en el compostaje de restos vegetales y guano provenientes de la Huaraclla, Jesús, Cajamarca. En la evaluación consideraron aspectos relacionados a la parte productiva, como la aplicación de diversas capas en el proceso de compostaje y la evolución de la temperatura y pH. A partir de ello, consiguieron un compost con pH de 7.4, una CE de 588 mS/m, una MO del 25% y N de 1,57%, siendo apropiado en comparación a otros estudios a excepción de la MO, siendo demasiado baja por el gran contenido de material lignocelulósico. Concluyeron que el uso de ambos factores bióticos mejoraba el compostaje, además la acción coaccionada de las lombrices mejoraba el proceso de compostaje por EM.

Paredes *et al.* (2020). Caracterizaron nueve compostajes en el valle de Condebamba, Cajamarca, productos de la mezcla de restos pecuarios como la gallinaza, la cuyinaza y la vacaza con restos vegetales e inoculados con microorganismos eficientes. Con respecto a la cuyinaza, se describió un valor de 28 en relación C: N en sus tratamientos con rastrojos de maíz y viruta y un valor de 26 con el bagazo de caña. Como resultados tuvieron un pH alcalino de 8,7-8,9, una gran cantidad de sales solubles caracterizado por una CE de 7,5 dS/m, la MO también llegó a ser alta con un valor hasta de 71%, los valores máximos para el nitrógeno fueron de 1,83%, el P₂O₅ tuvo 1,41%, K₂O a un 3,20%, comparando su abono de buena calidad a los estándares de la NTC 5167. Los compostajes evaluados presentan una gran cantidad de MO y N pero con alta salinidad, siendo importante un estudio del suelo previo a aplicar.

2.1.2. Bases teóricas

Cavia porcellus

El cuy (*Cavia porcellus*), es un animal originario de los Andes, que conforma una parte fundamental de la dieta y la cultura en las regiones andinas de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, donde su crianza es una actividad tradicional y relevante (Murray-Núñez *et al.*, 2023). Como resultado de esta actividad, se genera la cuyinaza, el estiércol de cuy, un subproducto orgánico que posee un alto potencial como abono orgánico debido a su rica composición nutricional (Pascal Castillo, 2020).

La cuyinaza se caracteriza por su significativo contenido de macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), superando en ocasiones a otros estiércoles de animales como vacunos o gallinas en la concentración de N y P (Murray-Núñez *et al.*, 2023). La composición química específica de la cuyinaza puede variar en función de la dieta de los cuyes y sus procesos digestivos (Mayra, 2019). Más allá de su aporte nutricional directo, la cuyinaza contiene fitohormonas que actúan como activadores del crecimiento y la floración de las plantas, y su aplicación contribuye a la resistencia de los cultivos frente a plagas y patógenos, promoviendo la salud y fertilidad del suelo (Mayra, 2019).

Un aspecto crucial para considerar en la valorización de la cuyinaza es la posible presencia de metales pesados. Estos elementos metálicos, que tienen una alta densidad, pueden acumularse progresivamente en la cadena alimentaria con efectos negativos para la salud humana (Ingelmo *et al.*, 2012). Los metales pesados pueden incorporarse al estiércol animal a través de diversas fuentes, incluyendo aditivos minerales en la dieta de

los animales (como cobre y zinc), pesticidas o el contacto con materiales contaminados en las instalaciones de crianza (Schroder *et al.*, 2011; Sistani *et al.*, 2020; Bomke & Lowe, 2020). Es común añadir minerales como Cu y Zn a las dietas de los animales en la cría intensiva para satisfacer sus requerimientos nutricionales, lo que puede resultar en su acumulación en el estiércol (Tekli *c et al.*, 2013; Flohr *et al.*, 2016).

Además, la cuyinaza no es solo un sustrato orgánico, sino también una fuente potencial de inóculos microbianos. Se han identificado microorganismos nativos en el estiércol de cuy, como *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris* y *Pantoea agglomerans*, con potencial de biodegradación (Pascal Castillo, 2020). Estos microorganismos autóctonos ya están adaptados al sustrato y podrían desempeñar un papel significativo en el proceso de descomposición, complementando o interactuando con los consorcios de Microorganismos Eficientes (EM) y Microorganismos de Montaña (MM) introducidos.

Cuadro 1: Composición Química y Nutricional de la Cuyinaza (Pascal Castillo, 2020)

Parámetro Físicoquímico	Valor Referencial (Base Seca)
Humedad (%)	50.27
Materia Orgánica (%)	76.75
Nitrógeno Total (%)	3.92
Fósforo (P ₂ O ₅ , %)	2.99
Potasio (K ₂ O, %)	0.88
Calcio (%)	10.1
Magnesio (%)	0.71
Sodio (%)	1.22
Cadmio (ppm)	1.89

Plomo (ppm)	14.99
Cobre (ppm)	125.22
Hierro (ppm)	830.59
Zinc (ppm)	265.91
Manganeso (ppm)	209.82

Residuos orgánicos

Los residuos o desechos se refieren a cualquier material que queda sin uso después de las actividades de producción y consumo. Por lo que cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se deshaga se considera un residuo. Estos materiales, en términos económicos, representan una utilización ineficiente de los recursos disponibles para la producción de bienes y servicios. En el contexto específico de los residuos agrícolas, se trata de los materiales sobrantes o desperdicios generados en la actividad agropecuaria, los cuales suelen tener potencial de reutilización y pueden verse como recursos al servir como materia prima para otros procesos. Esto los hace adquirir valor en el mercado (Valderrama, 2013).

De acuerdo con el Decreto Legislativo N° 1278, los residuos se dividen en dos categorías principales según el manejo que se les dé: peligrosos y no peligrosos, así como en municipales y no municipales dependiendo de la autoridad encargada de su gestión. También se clasifican en biodegradables y no biodegradables según su capacidad para descomponerse. Los residuos biodegradables están compuestos por materiales renovables de origen natural, como frutas, restos de cosecha y estiércol de animales, mientras que los no biodegradables provienen de recursos naturales no renovables, como plásticos (derivados del petróleo), latas y chatarras (derivados de metales), y vidrio (Puerta, 2004).

En Cajamarca, la deficiente gestión de residuo sólidos hace que dos rellenos sanitarios no sean suficientes frente a una creciente generación de residuos sólidos municipales, productos de diversas actividades como la cavícola. De esta manera, aparece el estiércol de cuy también denominado cuyinaza, que se puede considerar un abono orgánico con múltiples beneficios, por su alto contenido de nutrientes que van de acuerdo con la dieta del cuy, rico en proteínas que se traducen a elevadas cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio. Sin embargo, como abono orgánico es muy salino, pudiendo generar problemas de fitotoxicidad en las plantas (Vidurizaga, 2011).

Compostaje

El compostaje es un proceso biológico controlado y acelerado que facilita la descomposición y reducción de la materia orgánica mediante la acción de una diversa comunidad microbiana, bajo condiciones aeróbicas (ESPE, 2014; Velásquez Reyes, 2004). El resultado es un producto estable, higiénico y rico en compuestos húmicos, conocido como compost (Velásquez Reyes, 2004). Este proceso no solo reduce el volumen de desechos, sino que también contribuye al ciclo de nutrientes en los ecosistemas agrícolas (Velásquez Reyes, 2004). Para que el proceso sea exitoso y eficiente, es indispensable mantener un suministro adecuado de oxígeno, ya que la ausencia de este (condiciones anaeróbicas) ralentiza la descomposición y puede generar olores desagradables debido a procesos de putrefacción (ESPE, 2014; OISCA & BID, 2009). El proceso de compostaje se divide en varias fases, caracterizadas principalmente por la evolución de la temperatura, la cual es un indicador directo de la actividad microbiana (Rivero, 2021; Li *et al.*, 2023a; Li *et al.*, 2023b):

Fase de Latencia: Es el periodo inicial de adaptación de los microorganismos al medio, que puede durar entre 24 y 72 horas hasta que se observan cambios de temperatura (ESPE, 2014).

Fase Mesófila: Los microorganismos mesófilos, como las Firmicutes, comienzan la descomposición de los compuestos orgánicos fácilmente degradables, elevando la temperatura de la pila (Li *et al.*, 2023a; Li *et al.*, 2023b). Durante esta etapa, los microbios descomponen moléculas orgánicas pequeñas, como los ácidos fúlvicos, acelerando la llegada de la fase termofílica (Li *et al.*, 2023a).

Fase Termófila: A medida que la actividad microbiana se intensifica, la temperatura aumenta significativamente, superando los 45°C y alcanzando a menudo entre 55°C y 70°C (INIA, 2020; Bhattacharya & Pletschke, 2014). Esta fase es crucial para la higienización del compost, ya que las altas temperaturas eliminan la mayoría de los patógenos humanos, animales y vegetales (Li *et al.*, 2023a). Durante esta fase, filos como Proteobacteria, junto con géneros como *Sphaerobacter*, *Actinomadura*, *Thermomonospora*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Hydrogenophaga*, *Pseudomonas*, *Lysinibacillus*, *Aneurinibacillus* y *Azotobacter*, son clave en la metabolización de la materia orgánica y la secreción de enzimas extracelulares para descomponer macromoléculas (Li *et al.*, 2023a). Sin embargo, temperaturas excesivamente altas (superiores a 60°C de forma prolongada o más de 85°C) pueden inhibir a los microorganismos y limitar el suministro de oxígeno, provocando una caída en la actividad microbiana y la temperatura (Rivero, 2021).

Fase de Enfriamiento: Con la disminución de los compuestos orgánicos fácilmente degradables, la actividad microbiana termófila decrece y la temperatura de la pila

comienza a descender, permitiendo la recolonización por microorganismos mesófilos (Rivero, 2021). Durante esta fase, los microorganismos degradan ácidos húmicos y fúlvicos para su crecimiento y reproducción (Li *et al.*, 2023a).

Fase de Maduración o Estabilización: En esta etapa final, la temperatura se iguala a la del ambiente. Ocurren procesos de biopolimerización que forman moléculas complejas y estables, y el material es colonizado por microorganismos mesófilos y microfauna diversa, obteniéndose un compost completamente estabilizado y parcialmente humificado (Velásquez Reyes, 2004; Rivero, 2021). En esta fase, los microorganismos sintetizan humus utilizando ácidos fúlvicos, aminoácidos y núcleos de lignina como precursores (Li *et al.*, 2023a).

Actividad Microbiana y Degradación de la Materia Orgánica:

La actividad microbiana es el motor del compostaje, transformando compuestos orgánicos complejos en sustancias más simples y estables (INIA, 2016). Las bacterias son los organismos más pequeños y numerosos en el compost, responsables de la mayor parte de la descomposición y la generación de calor (Velásquez Reyes, 2004). Son el grupo más diverso nutricionalmente, utilizando una amplia gama de enzimas para descomponer químicamente una variedad de materiales orgánicos (Cornell University, n.d.). Los actinomicetos, bacterias filamentosas semejantes a los hongos, juegan un papel muy importante en la degradación de compuestos orgánicos complejos como celulosa, lignina, quitina y proteínas (INIA, 2013; Velásquez Reyes, 2004; Bhattacharya & Pletschke, 2014). Los hongos, incluyendo mohos y levaduras, son responsables de la descomposición de los compuestos vegetales complejos (Velásquez Reyes, 2004).

La degradación de la lignocelulosa, la biomasa renovable más abundante, es un proceso complejo que requiere la acción sinérgica de hongos y bacterias (Li *et al.*, 2024). Los hongos son fundamentales en la degradación de la lignina y la celulosa (Bhattacharya & Pletschke, 2014; Li *et al.*, 2024). Los hongos de pudrición blanca, por ejemplo, son conocidos por su capacidad para degradar lignina (Bhattacharya & Pletschke, 2014). Las bacterias no pueden producir la enzima lignasa, necesaria para descomponer la lignina; sin embargo, son muy eficientes en la conversión de celulosa en glucosa (Cox, 2014). La eficiencia de esta degradación es influenciada por las condiciones ambientales, la complejidad del sustrato y las interacciones microbianas (Li *et al.*, 2024).

Factores Críticos del Proceso de Compostaje:

Diversos factores influyen en la eficiencia y calidad del compostaje, y están intrínsecamente ligados a la composición y actividad de las comunidades microbianas (Li *et al.*, 2023b):

Humedad: Es esencial para la supervivencia y actividad de los microorganismos (Velásquez Reyes, 2004; Roy *et al.*, 2022). El rango óptimo de humedad para el compostaje se considera entre 50-60% (Velásquez Reyes, 2004; Gipuzkoa, n.d.). Un exceso de humedad puede desplazar el aire y crear condiciones anaeróbicas, mientras que la falta de humedad puede ralentizar la descomposición (Rivero, 2021).

Aireación: La adecuada oxigenación es vital para mantener el proceso aeróbico y prevenir la formación de compuestos malolientes (Velásquez Reyes, 2004; OISCA & BID, 2009). Se logra mediante el volteo periódico de la pila, que además ayuda a homogeneizar los materiales y la temperatura (INIA, 2020).

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): Esta relación es fundamental para la nutrición microbiana y la velocidad de descomposición donde una relación C/N inicial adecuada para el material de partida se sitúa entre 20-30:1 (Rivero, 2021). Una relación C/N baja en el material de partida puede favorecer la producción de amoníaco y la consiguiente pérdida de nitrógeno por volatilización, reduciendo el valor fertilizante del compost (Rivero, 2021). Por el contrario, una relación C/N muy alta puede ralentizar el proceso disminuyendo la descomposición de la materia orgánica y prolongando el tiempo necesario para alcanzar la madurez del compost. (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025).

pH: El pH del material varía a lo largo del proceso de compostaje (Rivero, 2021). Inicialmente, puede ser ligeramente ácido o neutro como la cuyinaza con pH 6.93 (Murray-Núñez *et al.*, 2023), luego puede aumentar durante la fase termófila debido a la volatilización de amoníaco, y finalmente tiende a estabilizarse en un rango cercano a la neutralidad (pH 6.0-7.5) en el compost maduro (Rivero, 2021). Este rango es óptimo para la actividad de la mayoría de los microorganismos beneficiosos y para el crecimiento de la mayoría de los cultivos (ESPE, 2014).

Los microorganismos en el proceso de compostaje

El compostaje es un proceso biológico mediado por una compleja y dinámica comunidad de microorganismos, cuya estructura cambia a lo largo de las fases del proceso (Li *et al.*, 2023a; Li *et al.*, 2023b). Los cambios continuos en los parámetros fisicoquímicos (temperatura, humedad, relación C/N, oxígeno y pH) son dependientes a la composición de estas comunidades microbianas y su sucesión (Li *et al.*, 2023b). Entendiendo esta importancia, es donde aparecen tecnologías como los Microorganismos Eficaces y Microorganismos de Montaña.

Microorganismos Eficientes (EM)

Los Microorganismos Eficientes (EM) son una tecnología microbiana desarrollada por el Profesor Dr. Teruo Higa en la Universidad de Okinawa, Japón, a principios de los años 80, como una alternativa a los fertilizantes y pesticidas sintéticos (Higa, 2003). Se trata de una combinación de microorganismos beneficiosos y regeneradores que actúan de manera sinérgica, lo que significa que su efecto conjunto es superior a la suma de sus acciones individuales (OISCA & BID, 2009). La composición principal de los EM incluye bacterias del ácido láctico (BAL) siendo representante el género *Lactobacillus*, levaduras como *Saccharomyces* y bacterias fototróficas como *Rhodospseudomonas* (Siti Aminah *et al.*, 2016). Estos microorganismos no son patógenos, tóxicos ni alterados genéticamente; por el contrario, son naturales, benéficos y altamente eficientes (OISCA & BID, 2009). Los mecanismos de acción y los beneficios de los EM en el compostaje son diversos:

Aceleración de la Descomposición: Los EM son conocidos por su capacidad para acelerar la descomposición de la materia orgánica, lo que se traduce en la obtención de un compost más rico y nutritivo en un período de tiempo reducido (Siti Aminah *et al.*, 2016).

Control de Olores: Una de las propiedades destacadas de los EM es su capacidad para neutralizar y prevenir la formación de malos olores durante el compostaje. Las bacterias fotosintéticas presentes en los EM transforman sustancias volátiles y desagradables, como el metano, el metilmercaptano, el ácido sulfhídrico y el amoníaco, en ácidos orgánicos inodoros y compuestos beneficiosos (Siti Aminah *et al.*, 2016).

Supresión de Patógenos: Los EM contribuyen a la higienización del compost al competir con los microorganismos patógenos por los nutrientes y el espacio, y al producir metabolitos con propiedades antibióticas naturales que inhiben el crecimiento de organismos patógenos (OISCA & BID, 2009). Estudios han demostrado su eficacia en el control de fitopatógenos como Colibacilos y el hongo Fusarium (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025).

Mejora de la Salud del Suelo y Crecimiento de Plantas: La aplicación de EM incrementa la actividad biológica en el suelo, lo que mejora su estructura y fertilidad. Estos microorganismos facilitan la liberación de nutrientes esenciales (N, P, K) de la materia orgánica, haciéndolos más disponibles para las plantas (BioEM, s. f.). Además, producen sustancias naturales como fitohormonas que estimulan el crecimiento vegetal, mejorando la germinación de semillas, el desarrollo radicular y el aumento general de la biomasa (BioEM, s. f.). Los EM son efectivos en la recuperación de suelos degradados, mejorando la capacidad del suelo para soportar cultivos saludables (OISCA & BID, 2009).

La preparación y aplicación de los EM activados generalmente implica la mezcla de EM concentrado con melaza (como fuente de carbono y energía para los microorganismos) y agua sin cloro, dejándolo fermentar durante aproximadamente siete días (OISCA & BID, 2009; Zárate Caja, 2019).

Microorganismos de Montaña (MM)

Los Microorganismos de Montaña (MM) son inóculos microbianos que se caracterizan por su origen natural, siendo recolectados de suelos de montaña, como bosques o áreas

sombreadas donde no se han aplicado agroquímicos en al menos 3 años (Camacho *et al.*, 2018). Estos consorcios se distinguen por su alta diversidad microbiana, albergando poblaciones significativas de hongos, bacterias y actinomicetos, con un promedio de alrededor de 80 especies de microorganismos distribuidas en aproximadamente diez géneros (Camacho *et al.*, 2018). Esta riqueza biológica es un factor clave en su funcionalidad. Las funciones y beneficios de los MM en el compostaje y la agricultura son variados:

Descomposición de Materia Orgánica y Disponibilidad de Nutrientes: Los MM son altamente efectivos en la descomposición de la materia orgánica, lo que a su vez incrementa la disponibilidad de nutrientes en el suelo y promueve el desarrollo vegetativo y la floración de las plantas, además de tener una descomposición acelerada de la MO (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025; Camacho *et al.*, 2018).

Control de Plagas y Enfermedades: Los MM tienen la capacidad de inhibir y controlar el crecimiento de microorganismos dañinos, contribuyendo a la sanidad del suelo y de los cultivos (Camacho *et al.*, 2018).

Mejora de la Salud del Suelo: Al colonizar el suelo, los MM aumentan la variedad de microorganismos benéficos, lo que mejora la actividad biológica al fijar N atmosférico, solubilizando el K y P enriqueciendo el suelo con este macronutriente vital (Camacho *et al.*, 2018).

Control de Olores: Similar a los EM, los MM también contribuyen a la reducción de malos olores y a la disminución de poblaciones de moscas en las pilas de compostaje (Camacho *et al.*, 2018).

Además, el uso de MM, al ser un recurso local y de bajo costo (Camacho *et al.*, 2018), promueve la autosuficiencia y reduce la dependencia de productos comerciales, lo que lo convierte en una opción atractiva para una agricultura más sostenible y accesible para los productores locales.

Norma Oficial Chilena 2880 (NOCh 2880)

La Norma Oficial Chilena 2880 (2015) establece los requisitos de calidad y clasificación para el compost producido mediante la descomposición aeróbica de materiales orgánicos.

La norma clasifica el compost en dos niveles de calidad:

- **Compost Clase A:** Es un producto de alta calidad que cumple con requisitos específicos y no tiene restricciones de uso (NOCh2880, 2015)..
- **Compost Clase B:** Es un producto de calidad intermedia. Puede tener algunas restricciones de uso, particularmente si su conductividad eléctrica excede los 3 dS/m (NOCh2880, 2015).

La Clase A está diseñada para aplicaciones sensibles (como agricultura orgánica, horticultura o enmienda directa del suelo) donde el riesgo mínimo y la alta calidad de nutrientes son primordiales (NOCh2880, 2015). La Clase B permite el uso beneficioso de compost de una gama más amplia de materias primas, incluyendo potencialmente aquellas con mayores cargas iniciales de contaminantes (como lodos de depuradora), para aplicaciones menos sensibles (por ejemplo, recuperación de tierras o silvicultura) (NOCh2880, 2015).

Cuadro 2: Requisitos para un abono de calidad según la NOCh 2880 (2015)

Parámetro	Clase A	Clase B	
Metales Pesados			Unidad
Arsénico	15	20	mg/kg base seca
Cadmio	2	8	mg/kg base seca
Cobre	100	1 000	mg/kg base seca
Cromo	120	600	mg/kg base seca
Mercurio	1	4	mg/kg base seca
Níquel	20	80	mg/kg base seca
Plomo	100	300	mg/kg base seca
Zinc	200	2 000	mg/kg base seca
Propiedades Físicoquímicas			Unidad
pH	5.0 - 8.5	≤ 8.5	-
Conductividad Eléctrica (dilución 1:5)	< 3	≤ 8	dS/m
Materia Orgánica	≥ 20	≥ 20	%
Nitrógeno Total	≥ 0.5	≥ 0.5	% base seca
Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)	≤ 25	≤ 30	-
Humedad	30 - 45	30 - 45	% base húmeda
Densidad Aparente	≤ 700	≤ 700	kg/m ³
Tamaño de Partícula (máx.)	≤ 16	≤ 16	mm
Requisitos Sanitarios			Unidad
Coliformes Fecales	< 1 000 NMP	< 1 000 NMP	por gramo base seca
<i>Salmonella sp.</i>	3 NMP	3 NMP	en 4 g base seca
Huevos de Helminthos Viables	1	1	en 4 g base seca (si es solicitado)
Indicadores de Madurez			Unidad
Relación C/N para Madurez	≤ 30 (si no se cumple, inmaduro)	≤ 30 (si no se cumple, inmaduro)	-

Evolución de CO2 (Respiración)	≤ 8 mg C-CO2	≤ 8 mg C-CO2	/g materia orgánica por día
Absorción de O2	≤ 3.5 mg oxígeno	≤ 3.5 mg oxígeno	/g materia orgánica por día
Auto-calentamiento	≤ 20°C (aumento sobre ambiente)	≤ 20°C (aumento sobre ambiente)	°C
Relación Amonio / Nitrato	≤ 3	≤ 3	-
Concentración de Amonio	≤ 500	≤ 500	mg/kg
Contenido de Ácidos Orgánicos Volátiles	≤ 300	≤ 300	mg/kg
Germinación de Semillas de Rábano	≥ 80	≥ 80	%
Prueba Solvita®	NH3 ≥ 4, CO2 ≥ 7	NH3 ≥ 4, CO2 ≥ 7	-
Otros			Unidad
Olores	Característicos de compost, sin olores desagradables	Característicos de compost, sin olores desagradables	-
Semillas de Malezas Viables	Máx. 2 propágulos	Máx. 2 propágulos	por litro
Materiales Inertes (>16 mm)	No permitidos	No permitidos	-
Plásticos flexibles/películas (>4mm)	≤ 5	≤ 5	% masa base seca
Piedras/terrones de barro (>4mm)	≤ 5	≤ 5	% masa base seca
Vidrio/metales/caucho/plásticos rígidos (≥2mm)	≤ 0.5	≤ 0.5	% masa base seca

Norma Técnica Peruana (NTP 201.207:2020)

La norma peruana NTP 201.207:2020 existe como una regulación para la caracterización de residuos y la evaluación de la calidad del compost (INDECOPI, 2021). Sin embargo, sus requisitos son pocos especificados y tienden a relacionarse a compost de baja calidad según otras normas (Julcamoro & Flores, 2023; Bustinza *et al.*, 2022).

Cuadro 3: Requisitos para un abono de calidad según la NTP 201.207:2020

(INDECOPI, 2020)

Parámetro	Límite/Rango	
Requisitos Físicos y Químicos		Unidad
Olor	Característico, sin desagradables	-
Humedad	15 - 35	% (base húmeda)
Conductividad Eléctrica (1:5 dilución)	Máx. 5	dS/m
Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)	Mín. 10, Máx. 25	-
pH	5.0 - 8.5	-
Materia Orgánica	≥ 20	%
Tamaño de Partícula (máx.)	≤ 16	mm
Materias Inertes (máx.)	16	mm
Densidad Aparente	≤ 0.7	g/cm ³
Contenido de Nutrientes		Unidad
Nitrógeno (N)	0.3 - 1.5	%
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.1 - 1.0	%
Potasio (K ₂ O)	0.3 - 1.0	%
Metales Pesados		Unidad
Arsénico (As)	Máx. 20	mg/kg base seca
Cadmio (Cd)	Máx. 1	mg/kg base seca
Cromo (Cr)	Máx. 100	mg/kg base seca

Mercurio (Hg)	Máy. 1	mg/kg base seca
Níquel (Ni)	Máy. 60	mg/kg base seca
Plomo (Pb)	Máy. 150	mg/kg base seca
Requisitos Microbiológicos (base seca)		Unidad
Coliformes Fecales	< 1 000 NMP	por g
<i>Salmonella spp.</i>	3 NMP	en 4 g
Huevos de Helmintos Viables	1	en 4 g

CAPÍTULO III

3.1. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

3.1.1. Nivel de Investigación

La presente investigación es de un nivel explicativo al evaluar el efecto de la inoculación de EM y de MM en el compostaje de cuyinaza, comprobando la mejora de la calidad fisicoquímica y nutricional del bioabono.

3.1.2. Tipo y Diseño de Estudio

3.1.2.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo básica, dirigida a generar nuevos conocimientos acerca del compostaje de la cuyinaza y su optimización mediante el uso de consorcios microbianos mejorando la calidad del bioabono final.

3.1.2.2. Diseño de la investigación

Esta investigación tuvo un diseño cuasiexperimental, con 3 tratamientos, uno de control y para cada uno de los consorcios, teniendo una muestra recolectada de un mismo lugar sin contar aleatoriedad.

3.1.3. Material Biológico

En esta investigación se utilizó cuyinaza recuperada de los galpones de crianza de cuyes de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca del INIA.

Los consorcios fueron obtenidos de manera comercial en las presentaciones EM-Compost de BioEM en el caso de los EM. Los MM fueron obtenidos de Bioinsumos Bioagro J.S, con procedencia de aislados de Matara, Cajamarca.

3.1.4. Localización y descripción del sitio del ensayo

El desarrollo de esta investigación se realizó en el invernadero de muestras del Laboratorio de Suelos Aguas y Foliare de la EEI Baños Del Inca INIA, ubicado en el distrito homónimo, en la ciudad de Cajamarca, a una latitud de -7,15750 y una longitud de -78,46056 con una altitud de 2672,3 msnm.

3.1.5. Obtención y activación de microorganismos

Los EM y MM fueron obtenidos por parte del Programa de Suelos y Foliare. Para la activación de estos microorganismos para el proceso de compostaje se hizo en una formulación de 5% de microorganismos, 5% de melaza y 90% de agua potable, dejando fermentar durante 5 a 7 días en distintos frascos de 5 l ligeramente cerrado en un lugar fresco y oscuro, al final del proceso, ambos fermentos tuvieron un olor alcohólico-dulce con un pH cercano al 3.5.

3.1.6. Recolección de cuyinaza

La recolección de la cuyinaza se realizó de los galpones de cuyes de la EEI Baños del Inca, donde se almacenan hasta el periodo de limpieza. Estas enmiendas fueron recolectadas en costales y movilizadas hasta el invernadero del LABSAF, además se recolectó una muestra inicial para tener las características fisicoquímicas iniciales.

3.1.7. Instalación y seguimiento de los tratamientos

Las composteras fueron diseñadas con un soporte de madera de 51,5 x 32,5 x 36,5 cm³, con la parte superior descubierta para la toma de muestras y recubierta por dentro con una tela mosquitera, permitiendo la aireación necesaria hacia el interior.

El experimento contó de 3 tratamientos, T0, T1 y T2 de acuerdo con un grupo control y los consorcios utilizados (EM y MM), con 4 repeticiones. Estos fueron establecidos en el Invernadero del Proyecto de Suelos y Foliare de la EEI Baños del Inca. Los tratamientos son:

- T0 - Tratamiento testigo: grupo control de la investigación, contuvo dentro de la compostera 8,5 kg de cuyinaza con un 60% de humedad.
- T1 - Tratamiento con EM: primer grupo experimental, contuvo dentro de la compostera 8,5 kg de cuyinaza con 500 mL de EM-Compost activado.
- T2 - Tratamiento con MM: segundo grupo experimental, contuvo dentro de la compostera 8,5 kg de cuyinaza con 500 mL de MM activados.

De manera semanal, se realizó el proceso de volteado requerido para homogenizar el proceso de compostaje de toda la cuyinaza que duro 4 semanas.

3.1.8. Evaluación del proceso de compostaje

El proceso de compostaje se evaluó a lo largo de 1 mes donde se tomó cuenta la temperatura y humedad ambiental, temperatura de la composta y toma de muestras para los análisis fisicoquímicos.

3.1.8.1. Temperatura y humedad ambiental

Se llevó un registro diario de la temperatura y humedad ambiental máxima y mínima diaria a fin de tener registradas y ver si influyeron en el experimento. Esto se realizó por medio de un termohigrómetro Casio DQ 961, registrando las fichas de registro.

3.1.8.2. Temperatura de la composta

Se llevó un registro alternado de la temperatura interna de la composta, siguiendo la fase mesofílica, termofílica y de maduración del compostaje. La optimización de este proceso se evaluó mediante calorimetría, haciendo seguimiento de la eficacia de descomposición de cada uno de los tratamientos.

3.1.8.3. Toma de muestra

La evaluación fisicoquímica de la composta se realizó al mes de haber iniciado el proceso, donde se retiró 50 g de cada compostera. Una vez obtenida la muestra, se transportó al Laboratorio de Suelos y Foliare de la EEA Baños del Inca para su posterior análisis.

3.1.9. Evaluación fisicoquímica de la composta

3.1.9.1. Preparación de la muestra

Se tamizó la muestra de compost por cada tratamiento a través de un tamiz de 2 mm para eliminar partículas gruesas, mezclando bien la muestra tamizada para obtener una distribución homogénea, posterior se dejará al secado y molienda para desarrollar todos los análisis posteriores en el laboratorio de suelos y foliars de la EEI Baños del Inca.

3.1.9.2. Medición de pH:

Según la EPA 9045D (EPA, 2004) para la Medición de pH en Suelos y Enmiendas:

- Se calibró el potenciómetro de pH con soluciones tampón estándar de pH 4, 7 y 10.
- Se preparó una suspensión de compost/agua en una proporción de 1:2.
- Se introdujo el electrodo del potenciómetro en la suspensión y esperar a que la lectura se estabilice.
- Se registró el valor de pH de la suspensión.

3.1.9.3. Medición de la conductividad eléctrica:

Según la Norma ISO 11265 (1994) para Medición de Conductividad eléctrica:

- Se preparó una suspensión de compost/agua en una proporción de 1:5.
- Se calibró el conductímetro con una solución estándar de conductividad conocida.
- Se introdujo la sonda del conductímetro en la suspensión y esperar a que la lectura se estabilice.
- Se registró el valor de la conductividad eléctrica de la suspensión.

3.1.9.4. Medición de Humedad:

Siguiendo la metodología indicada por Bazán (2017) de Técnicas para el análisis de suelos y abonos:

- Se secó una muestra de compost a 105 °C durante 24 horas.
- Se calculó la humedad como la diferencia de peso entre la muestra húmeda (PMH) y la muestra seca (PMS), dividida por el peso de la muestra húmeda y multiplicada por 100%.

3.1.9.5. Medición de Materia orgánica:

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002) para la medición de Materia Orgánica por el Método de Walkley Black:

- Se pesó 0.5 g de la muestra tamizada en un matraz Erlenmeyer.
- Se añadió 10 mL de solución de dicromato de potasio 1N.
- Se añadió cuidadosamente 20 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Se agitó el matraz y calentarlo en una plancha a 150 °C durante 30 minutos.
- Se enfrió la mezcla y diluir con agua destilada hasta 100 mL.
- Se añadió 10 mL de la solución diluida a un matraz Erlenmeyer.
- Se añadió 2 gotas de indicador fenolftaleína.
- Se tituló con solución de sulfato de amonio ferroso (0.5 N) hasta que la solución vire a un color rosa pálido.
- Se calculó el porcentaje de Materia Orgánica (MO%) como la diferencia del volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (VB) y el volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (VM) dividido entre el peso de la muestra (PM), todo ello multiplicado por la normalidad del sulfato ferroso (N), el factor de corrección de humedad y las constantes 0,39 y 1,724 por 100%.

3.1.9.6. Medición de Nitrógeno total:

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002) para la medición de Nitrógeno total por el Método de Kjeldahl:

- Se pesó 0.5 g de la muestra tamizada en un matraz de digestión Kjeldahl.
- Se añadió 10 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Se calentó la mezcla en una plancha a 150 °C hasta que la solución se vuelva transparente.
- Se enfrió la mezcla y diluir con agua destilada hasta 100 mL.
- Se transfirió la solución digerida a un aparato de Kjeldahl.
- Se añadió NaOH al matraz de digestión para elevar el pH a 13.
- Se destiló el amonio presente en la muestra.
- Se recogió el amonio destilado en una solución de ácido bórico.
- Se añadió 2 gotas de indicador verde de bromocresol a la solución de ácido bórico.
- Se tituló con solución de ácido clorhídrico (0.1 N) hasta que la solución vire a un color verde claro.
- Se calculó el porcentaje de nitrógeno total (N%) como la diferencia entre volumen de ácido sulfúrico empleado en titular la muestra (VM) y el volumen de ácido sulfúrico empleado en titular blanco (VB) multiplicado por la normalidad exacta del ácido sulfúrico (N) y el peso equivalente del N (14), todo dividido entre el peso de la muestra (PM) y multiplicado por 100%.

3.1.9.7. Medición de Metales

Según la metodología para la determinación de metales en compost por MP-AES 4210 / EPA 3050:

- Se pesó 0.5 g de la muestra tamizada en un vaso de precipitados.
- Se añadió 5 mL de ácido nítrico concentrado y 2 mL de ácido clorhídrico concentrado a la muestra.
- Se cubrió el vaso de precipitados y calentó en una placa de calentamiento a 100 °C durante 2 horas.
- Se enfrió la mezcla y diluyó con agua destilada hasta 50 mL.
- Se ajustó el pH de la solución digerida a 2-3 con ácido nítrico o hidróxido de sodio.
- Se analizó la solución digerida en un MP-AES para determinar la concentración de los metales de interés.
- Se calculó la concentración de los metales ($[M]$) en el compost como el producto de la concentración del metal en solución ($[MS]$) y el volumen final (VF), entre el peso de la muestra (PM).

3.1.10. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Observación experimental: en esta investigación se recolectó información a través de la observación controlada de las variables.

Instrumentos:

- Fichas de registro: se registraron los datos diarios de temperatura y humedad además de los resultados de los análisis físicoquímicos.
- Fichas de cotejo: fueron representadas por los informes de ensayo de la cuyinaza inicial y final.

3.1.11. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El análisis estadístico de los datos recopilados para determinar si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos fueron procesados en el software IBM SPSS Statistics 31.0.0.0. Para ello se realizó el análisis de varianza ANOVA de dos factores y pruebas de homogeneidad.

CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Valores iniciales de la cuyinaza

Al recolectar la cuyinaza inicial de los galpones de la EEI Baños del Inca, se recogió una muestra la cual fue analizada previo al proceso de compostaje, a fin de determinar una excelente calidad en cuanto valores fisicoquímicos y nutricionales, representados en la tabla a continuación:

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica y nutricional inicial de la cuyinaza

Parámetro	Valor	Unidad	
Propiedades fisicoquímicas	pH	8.8	
	Conductividad eléctrica	1.0	
	Materia orgánica	59.0	
Macronutrientes	Nitrógeno (N)	2170	
	Fósforo (P)	19096.08	
	Potasio (K)	900.73	
Nutrientes secundarios	Calcio (Ca)	39643.09	
	Magnesio (Mg)	3621.91	
	Sodio (Na)	3895.76	
Micronutrientes	Hierro (Fe)	2496.74	
	Zinc (Zn)	164.25	
	Manganeso (Mn)	254.05	
	Cobre (Cu)	30.49	
	Molibdeno (Mo)	2.9	
	Níquel (Ni)	2.68	
	Bario (Ba)	32.49	
	Estroncio (Sr)	85.0	
	Metales pesados	Plomo (Pb)	3.08
		Cromo (Cr)	4.63
Cadmio (Cd)		0.25	
Arsénico (As)		0.17	
Cobalto (Co)		4.44	
Aluminio (Al)		1449.93	

4.1.2. Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje

4.1.2.1. Evolución de la temperatura interna del proceso de compostaje

El monitoreo de la temperatura interna de los tres tratamientos (T0, T1 y T2) se realizó de forma diaria durante todo el proceso de compostaje, junto con el registro de la temperatura ambiental. Esto se ajustó a las fases biológicas del compostaje: mesofílica (20–40 °C), termofílica (>40–55+ °C) y maduración (<40 °C). Aunque el análisis ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p = 0.857$), al comparar las temperaturas internas promedio, se observó que T2 alcanzó valores térmicos más elevados y sostuvo la fase termofílica por más días (8 días > 40 °C).

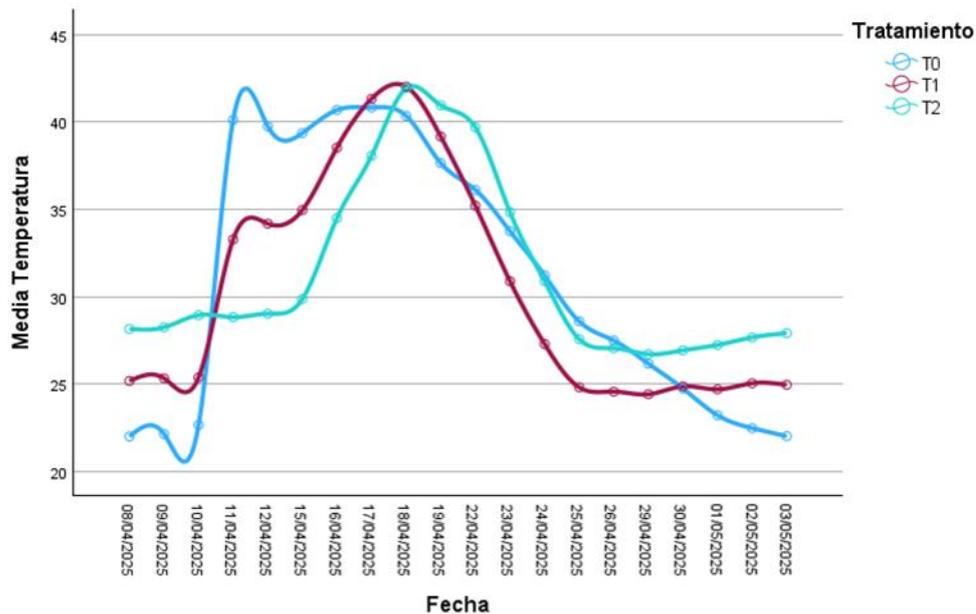


Figura 1. Curva térmica de los tres tratamientos durante el periodo de compostaje, con los datos de temperatura diaria

4.1.2.2. Relación de la temperatura ambiental con el proceso de compostaje

La temperatura interna es una consecuencia de la actividad microbiana propia del proceso del compostaje, donde la temperatura ambiental tiene poca influencia. Según los análisis de correlación de Pearson y los gráficos de regresión lineal realizados, se observó una disminución progresiva de la influencia de la temperatura ambiental en la evolución térmica del compost conforme se incorporaron activadores biológicos. El tratamiento T2 presentó la menor interacción con la temperatura ambiental con un 0,03% de varianza térmica y una correlación de Pearson de 0,053 ($p=0.083$), mientras que T0 si presento una relación dependiente entre su temperatura interna y la externa, con una varianza de 32,6% y una correlación de 0,57 ($p=0,011$).

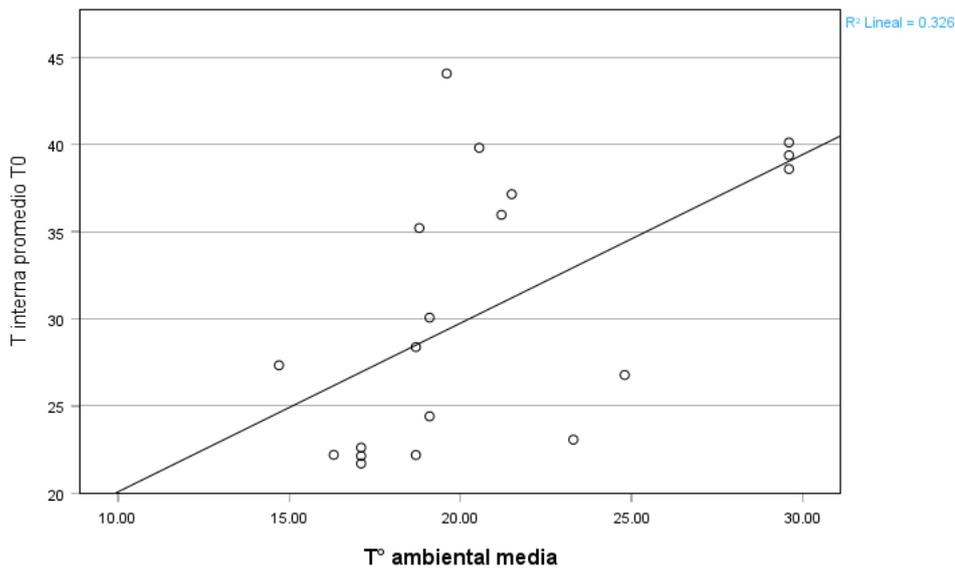


Figura 2. Relación entre la temperatura ambiental media y la temperatura interna promedio del tratamiento T0

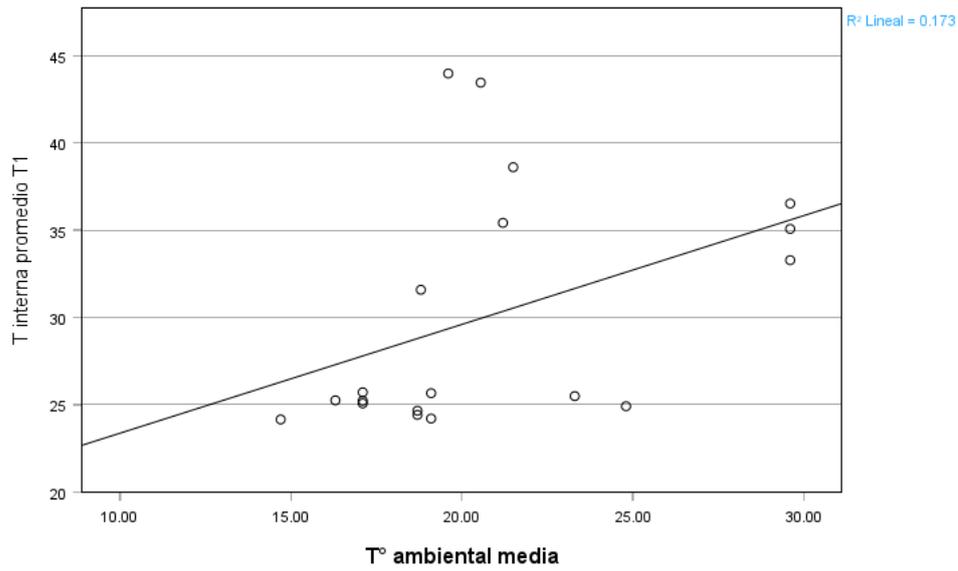


Figura 3. Relación entre la temperatura ambiental media y la temperatura interna promedio del tratamiento T1

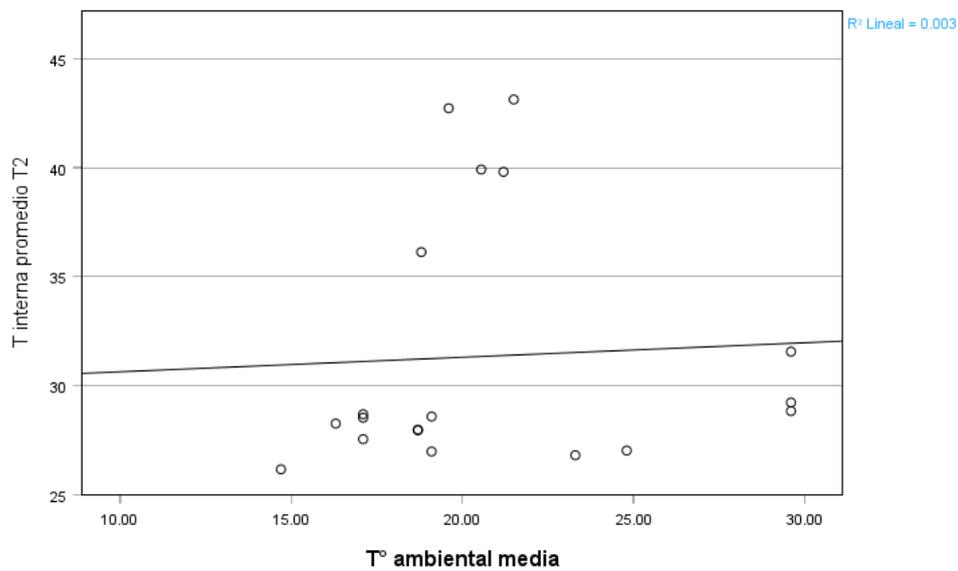


Figura 4. Relación entre la temperatura ambiental media y la temperatura interna promedio del tratamiento T2

4.1.3. Cambios fisicoquímicos del compostaje

4.1.3.1. Comparación del estado original de la cuyinaza con respecto a los tratamientos

a) pH

El valor inicial del pH fue de 8.8, indicando una condición alcalina propia de la cuyinaza fresca. Tras el compostaje, todos los tratamientos mantuvieron un pH ligeramente superior. Aunque un pH alcalino es común en compostajes ricos en nitrógeno, niveles muy altos pueden limitar la disponibilidad de ciertos micronutrientes. Sin embargo, en este caso, los valores se mantienen dentro de un rango aceptable para la agricultura (entre 6 y 9.5).

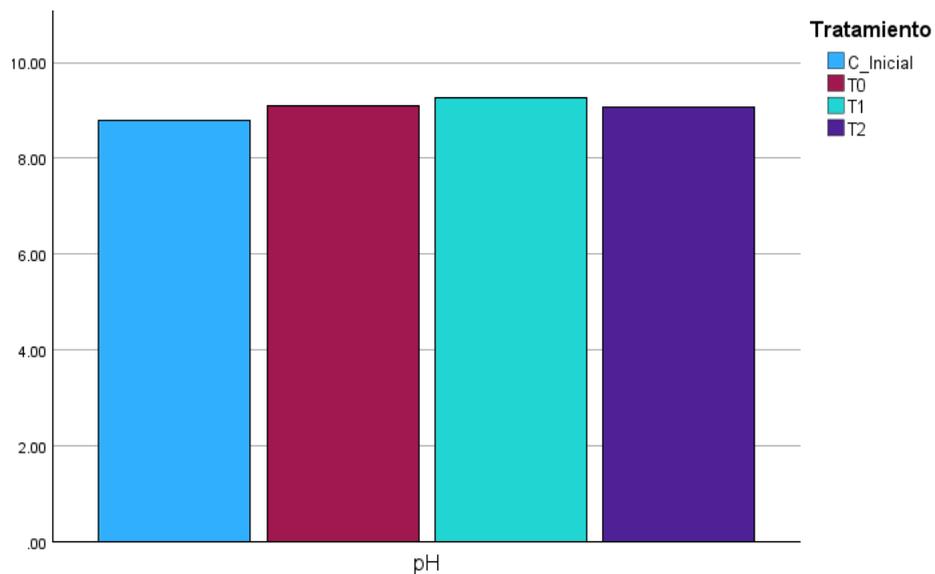


Figura 5. Comparación del valor medio de pH en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

b) Conductividad eléctrica

Se evidenció un incremento en la conductividad eléctrica en todos los tratamientos respecto al control inicial, producto de la mineralización y liberación de sales solubles. El tratamiento T1 presentó el valor más elevado, mientras que T2 mostró un ligero control.

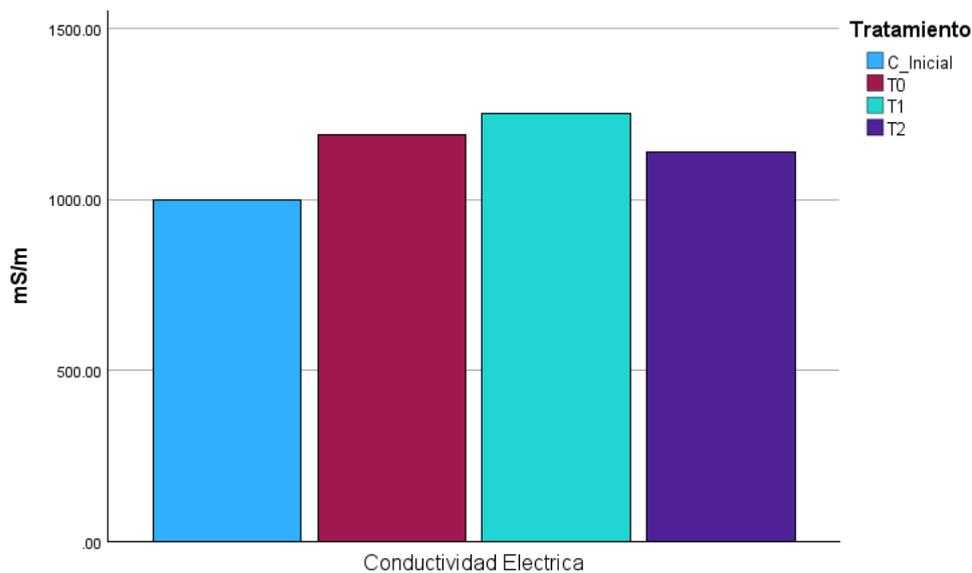


Figura 6. Comparación del valor medio de conductividad electrica en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

c) Materia orgánica

La disminución de materia orgánica fue consistente en todos los tratamientos, lo que responde al proceso natural de descomposición de residuos orgánicos. Sin embargo, los tratamientos T1 y T2 disminuyeron en un porcentaje ligeramente mayor que T0.

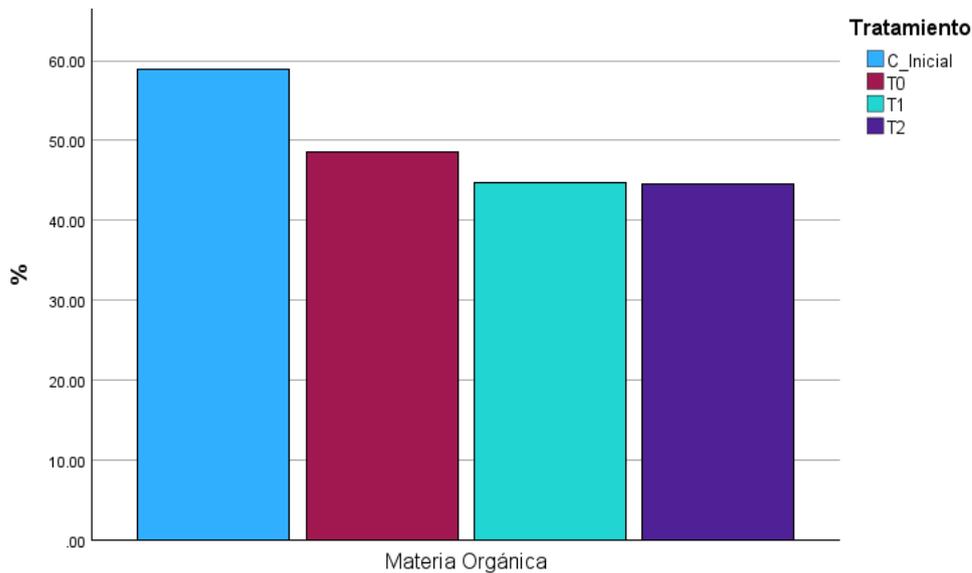


Figura 7. Comparación del valor medio del porcentaje de materia orgánica en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

d) Macronutrientes

Respecto al nitrógeno, se observa una tendencia a conservarse en los tratamientos inoculados, lo cual es deseable ya que este elemento suele perderse fácilmente por volatilización. El fósforo disminuyó de forma más evidente, pero los valores permanecen adecuados para suelos. El potasio mostró un aumento considerable en todos los tratamientos finales respecto al control, lo cual puede deberse a la solubilización y concentración por efecto de la degradación de la materia orgánica.

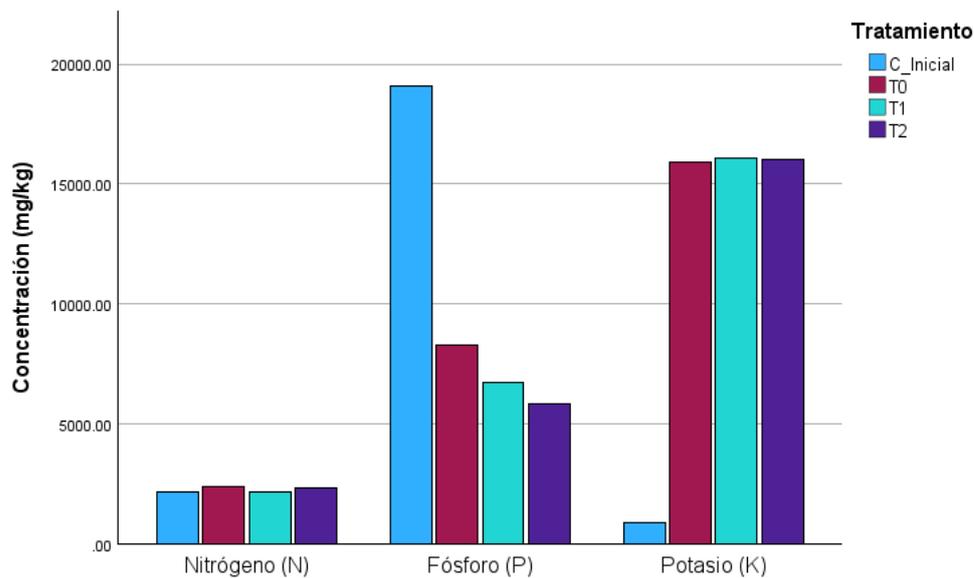


Figura 8. Comparación de los valores medios de los contenidos de macronutrientes (N, P, K) en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

e) Nutrientes secundarios

Los tratamientos compostados mostraron aumentos en calcio, magnesio y sodio con respecto a la cuyinaza original. Esto refleja una liberación natural de estos elementos durante la mineralización. T2 exhibió el mayor contenido de calcio, lo que puede relacionarse con una mayor estabilidad estructural del compost.

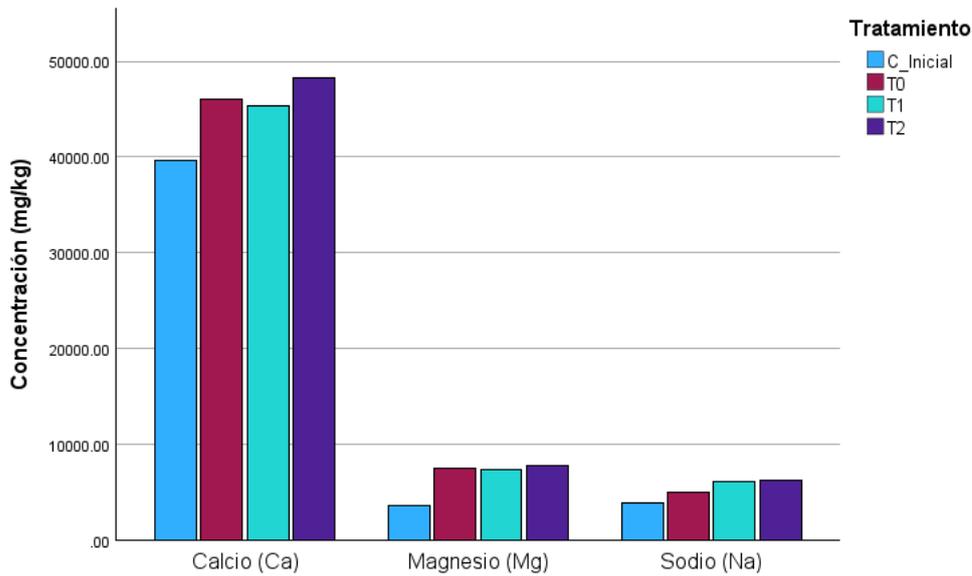


Figura 9. Comparación de los valores medios de los contenidos de nutrientes secundarios (Ca, Mg, Na) en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

f) Micronutrientes y metales traza

El análisis de los micronutrientes y metales traza contenidos en la cuyinaza, tanto en su estado inicial con respecto a los tres tratamientos, revela una excelente estabilidad de los elementos analizados, tales como hierro, manganeso, cobre, zinc y molibdeno, se mantuvieron con respecto al inicio, sin indicios de acumulación excesiva o pérdida significativa. En el caso del níquel, el bario y el molibdeno, se registraron valores muy bajos y constantes, lo cual es positivo dado su potencial tóxico en concentraciones elevadas. El uso de una escala logarítmica permitió apreciar estas diferencias sin distorsionar la visibilidad entre los elementos con concentraciones muy dispares.

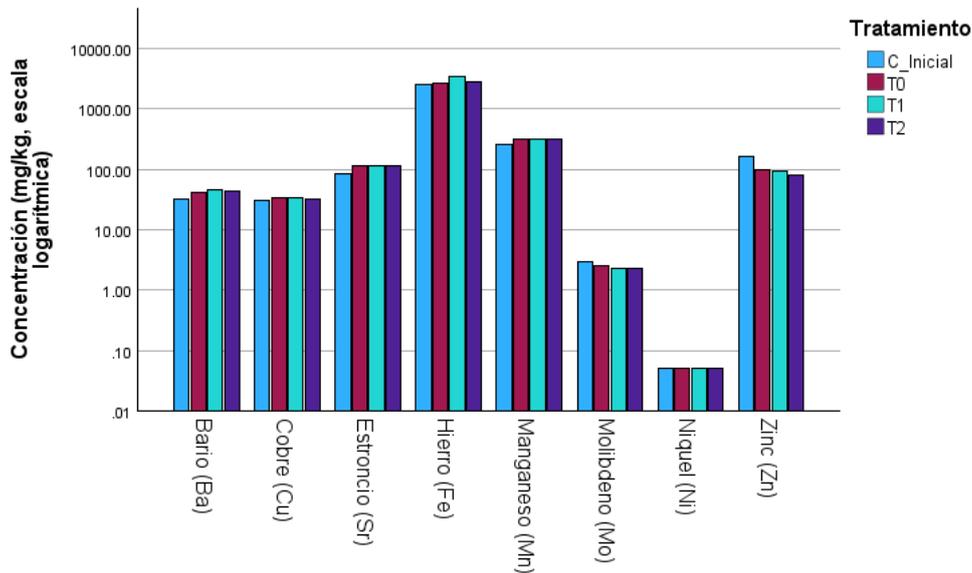


Figura 10. Comparación de los valores medios de los contenidos de micronutrientes y metales traza (Ba, Cu, Sr, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

g) Metales pesados

Los niveles de metales pesados en la cuyinaza compostada no se incrementaron tras el proceso, incluyendo reducción en casos como el plomo, que disminuyó en T2 en comparación con el control. El cadmio y el cromo se mantuvieron en niveles bajos y estables en todos los tratamientos. En cuanto al arsénico y el cobalto, a pesar que T0 mostró ligeras elevaciones, los valores permanecen dentro de rangos aceptables. El aluminio fue el metal más abundante, como es común en residuos orgánicos de origen animal.

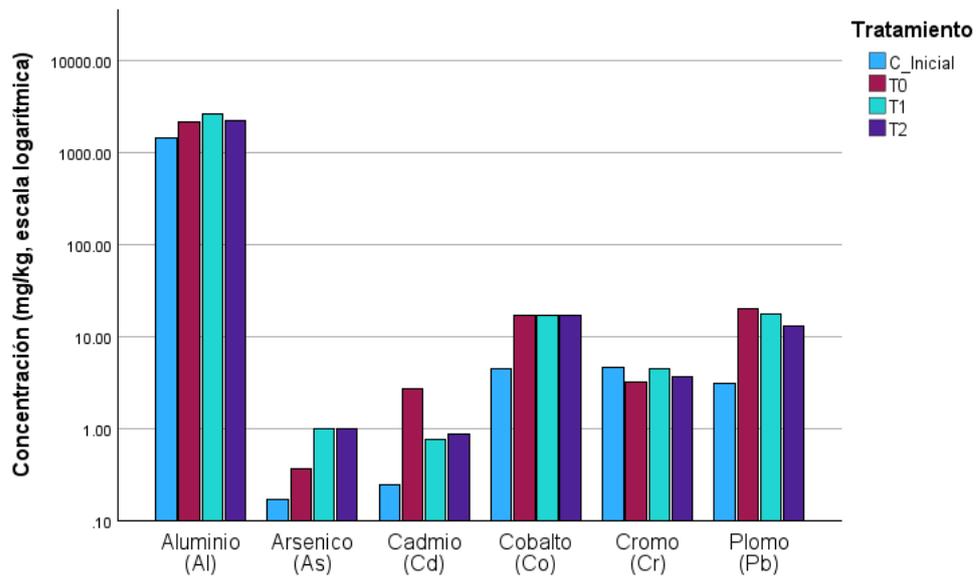


Figura 11. Comparación de los valores medios de los contenidos de metales pesados/toxicos (Al, Ar, Cd, Co, Cr, Pb) en la cuyinaza original y en compost finalizados con tratamientos T0 (control), T1 (inoculación con microorganismos eficientes) y T2 (inoculación con microorganismos de montaña).

4.1.3.2. Comparación de los valores fisicoquímicos entre los tratamientos

a) pH

El análisis del pH mostró que las diferencias observadas entre los grupos no fueron estadísticamente significativas según el ANOVA ($p > 0.05$). El aumento que se puede ver en caso del T1 y la menor movilización en el T2, no se puede afirmar que los tratamientos hayan influido significativamente en este parámetro.

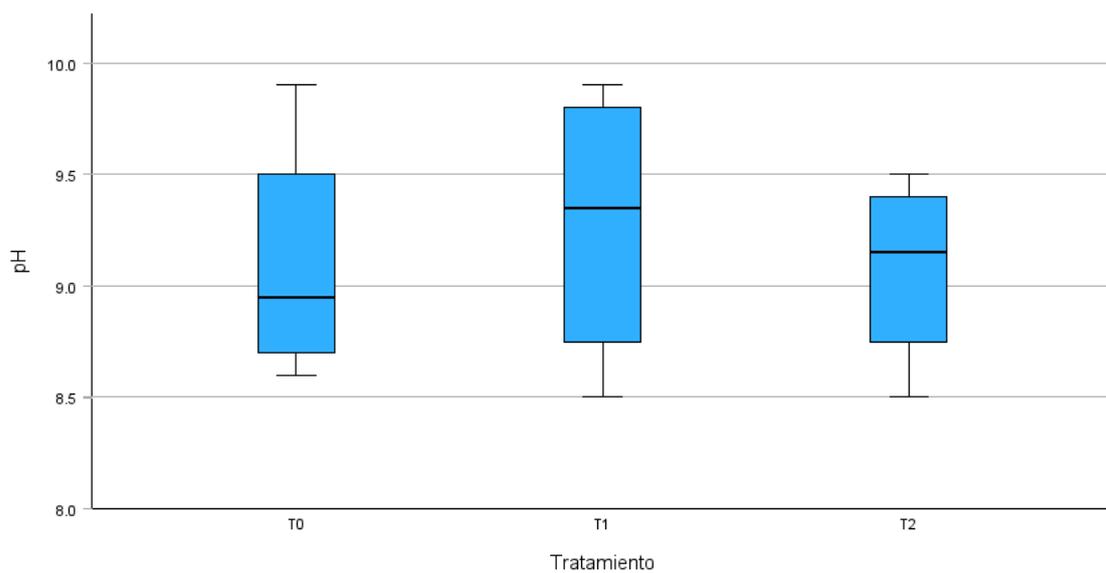


Figura 12. Diagrama de caja del pH final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

b) Conductividad eléctrica

Las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas (ANOVA, $p > 0.05$), aunque T2 muestra una tendencia a menores niveles de conductividad. Esto indica que el consorcio de MM sí contribuyen al solubilizar algunos elementos pero no de una manera relevante.

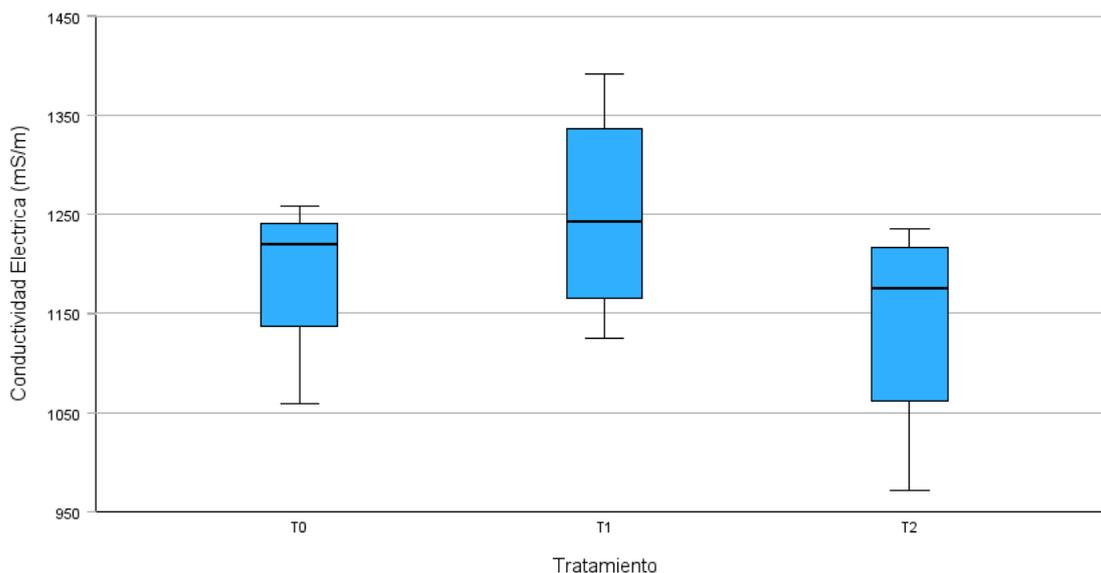


Figura 13. Diagrama de caja de la conductividad eléctrica final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

c) Materia orgánica

Se evidenciaron diferencias significativas (ANOVA, $p < 0.05$) entre tratamientos, con T1 y T2 presentando mayores reducciones. Esto refleja una degradación más eficiente de la materia orgánica por la acción de los microorganismos.

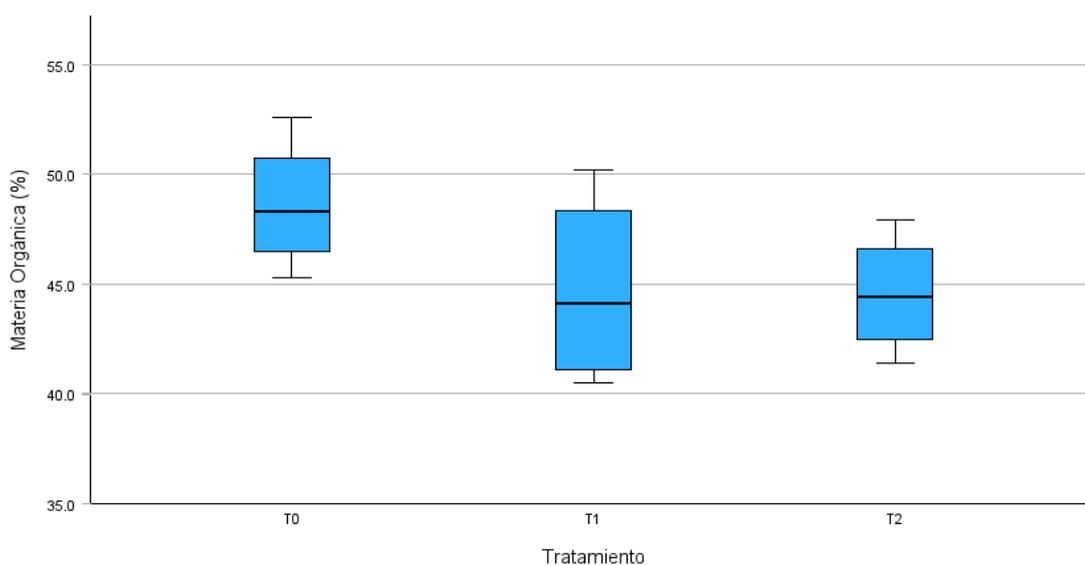


Figura 14. Diagrama de caja de la materia orgánica final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

d) Nitrógeno

Los valores de nitrógeno variaron levemente entre tratamientos. El valor p fue cercano a 0.05, sugiriendo diferencias marginales. T0 mostró valores ligeramente superiores, indicando una posible retención del nutriente, aunque no concluyente estadísticamente.

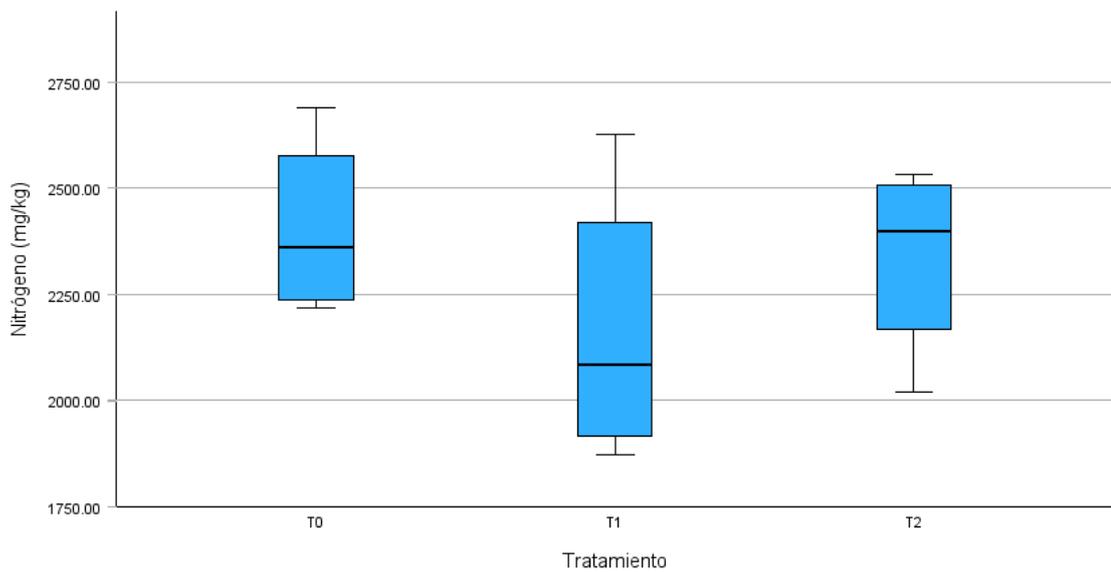


Figura 15. Diagrama de caja de la concentración de N final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

e) Fosforo

Se observa que T0 mantuvo el P a niveles más altos mientras que los tratamientos con EM y MM disminuyeron. Se obtuvo una ANOVA significativa ($p < 0.05$). Tukey: T0 difiere significativamente de T2. Esto sugiere que el tratamiento T2 impacta la disponibilidad de fósforo.

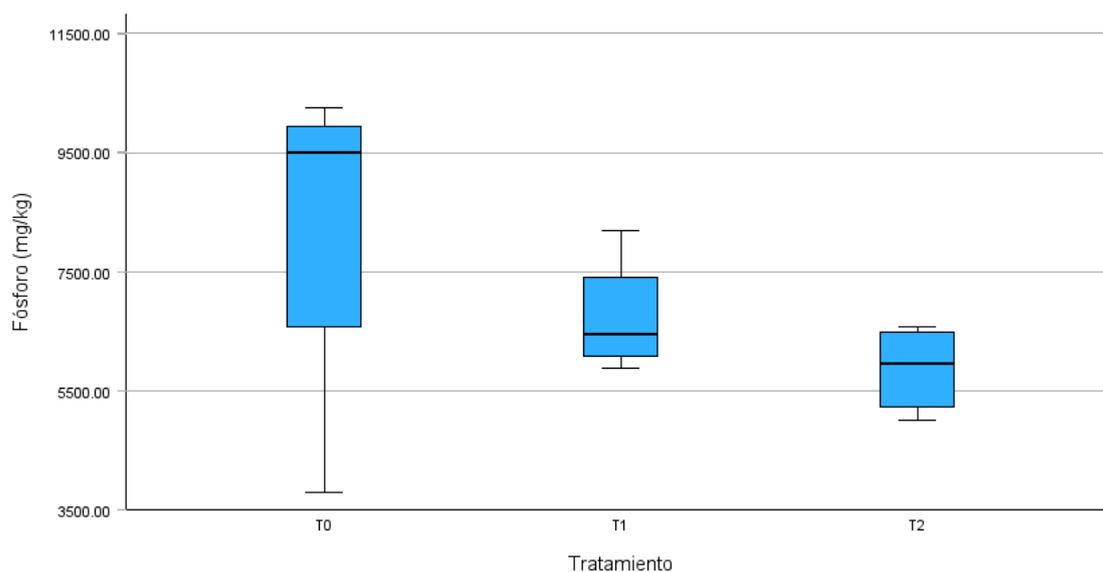


Figura 16. Diagrama de caja de la concentración de P final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

f) Potasio

Se observa que los tratamientos T0 y T2 mantuvieron valores de potasio más concentrados y similares entre sí, mientras que T1 presentó una mayor dispersión con valores extremos superiores, aunque con una mediana ligeramente inferior. El ANOVA no resultó significativo ($p > 0.05$), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Esto sugiere que todos los tratamientos conservaron niveles similares de potasio, a pesar de las diferencias visuales.

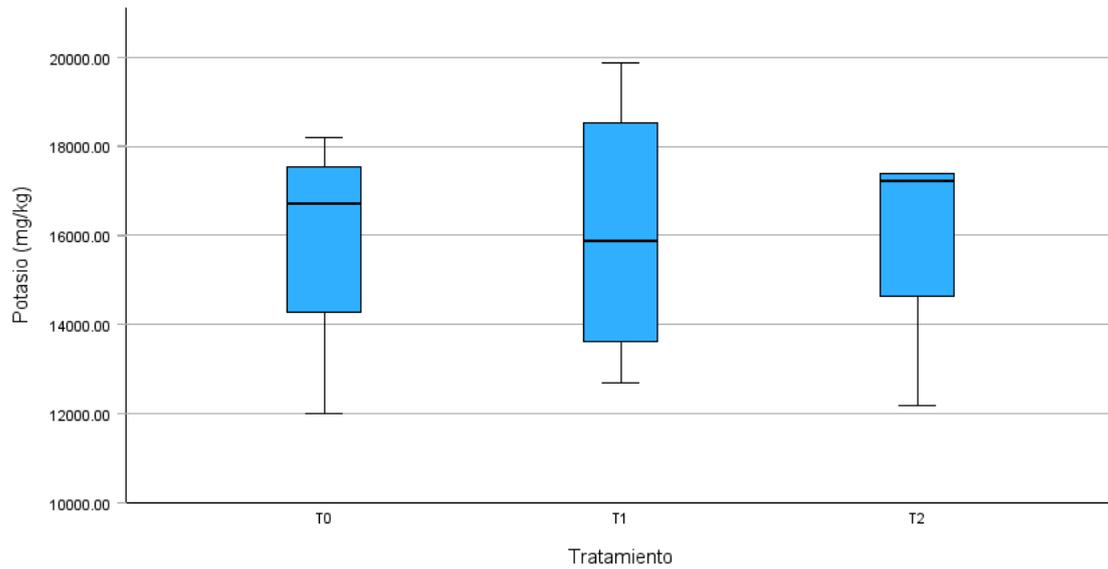


Figura 17. Diagrama de caja de la concentración de K final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

g) Calcio

Los tres tratamientos mantuvieron concentraciones elevadas de calcio, aunque se aprecia una tendencia creciente desde T0 hacia T2. T2 mostró la mediana más alta, así como un rango superior más extendido, lo cual podría indicar una mayor retención o disponibilidad del calcio. Sin embargo, el análisis de ANOVA no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), por lo que las variaciones observadas entre tratamientos no son concluyentes desde el punto de vista estadístico.

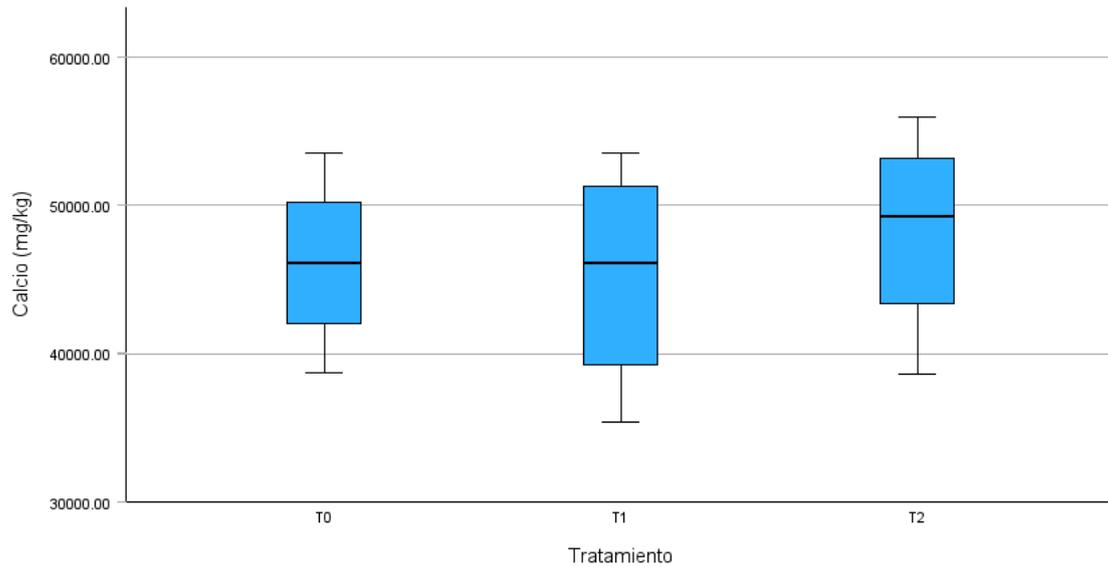


Figura 18. Diagrama de caja de la concentración de Ca final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

h) Magnesio

Los tratamientos mostraron comportamientos relativamente similares, aunque T2 registró la mediana más alta y una mayor dispersión de valores. T1 fue el tratamiento con menor rango intercuartílico. La prueba ANOVA no arrojó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo que indica que los cambios observados entre tratamientos pueden deberse a variabilidad natural más que a efectos del tratamiento aplicado.

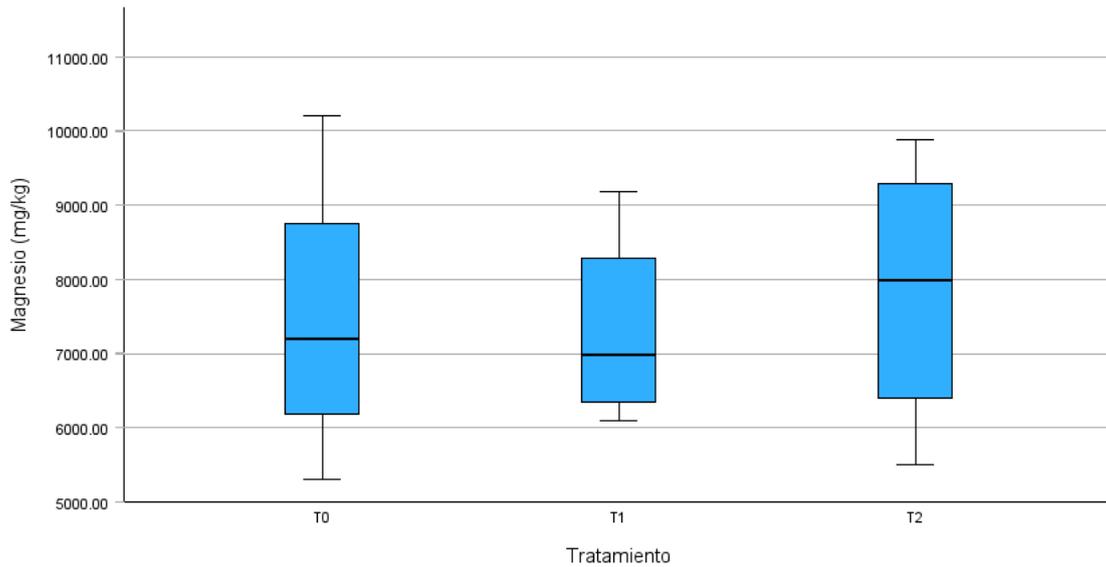


Figura 19. Diagrama de caja de la concentración de Mg final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

i) Sodio

Se observa un aumento progresivo de la concentración de sodio desde T0 hasta T2. La mediana se incrementa en cada tratamiento, con T1 y T2 mostrando rangos más amplios y mayores valores máximos. Sin embargo, la prueba de ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), lo que indica que, aunque existe una tendencia visual clara, esta no es suficiente para afirmar que los tratamientos modificaron de forma significativa el contenido de sodio

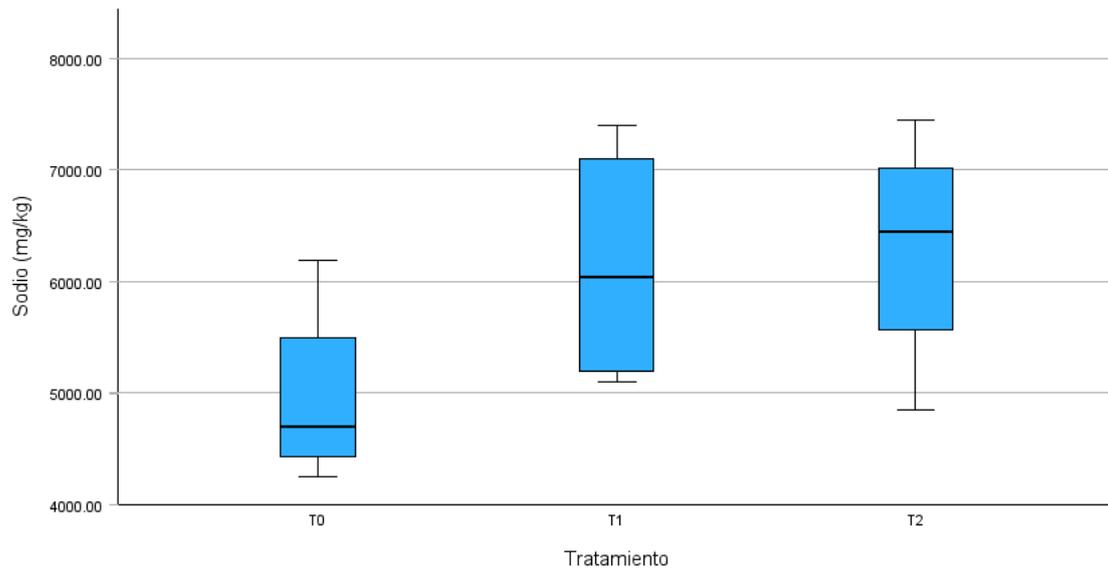


Figura 20. Diagrama de caja de la concentración de Na final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

j) Hierro

El tratamiento T1 presentó una mayor dispersión en los valores de hierro, alcanzando los valores máximos más elevados entre todos los tratamientos. La mediana también fue superior en T1, mientras que T0 y T2 mostraron valores más concentrados y similares. A pesar de esta diferencia visual, la prueba ANOVA no resultó significativa ($p > 0.05$), lo que sugiere que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que los tratamientos influyeron significativamente en la concentración de hierro.

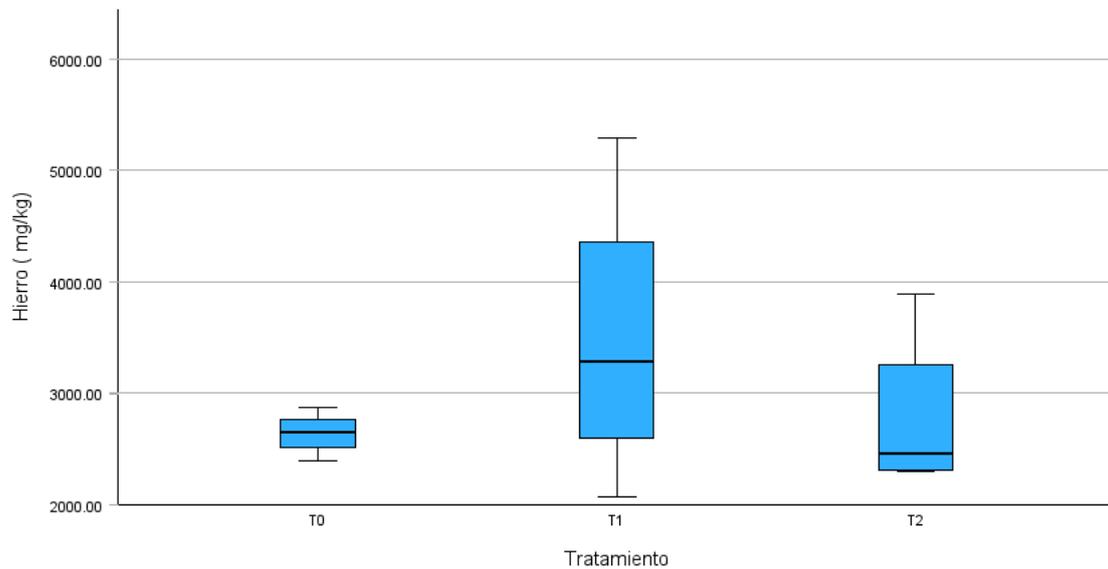


Figura 21. Diagrama de caja de la concentración de Fe final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

k) Zinc

Se observa una reducción gradual en los niveles de zinc desde T0 hacia T2. La mediana de T2 es la más baja, con un rango intercuartílico estrecho, mientras que T1 presenta la mayor dispersión y un valor máximo superior a los otros tratamientos. No obstante, la prueba ANOVA no resultó significativa ($p > 0.05$), por lo que no se puede afirmar estadísticamente que los tratamientos afectaron de forma significativa la concentración de zinc.

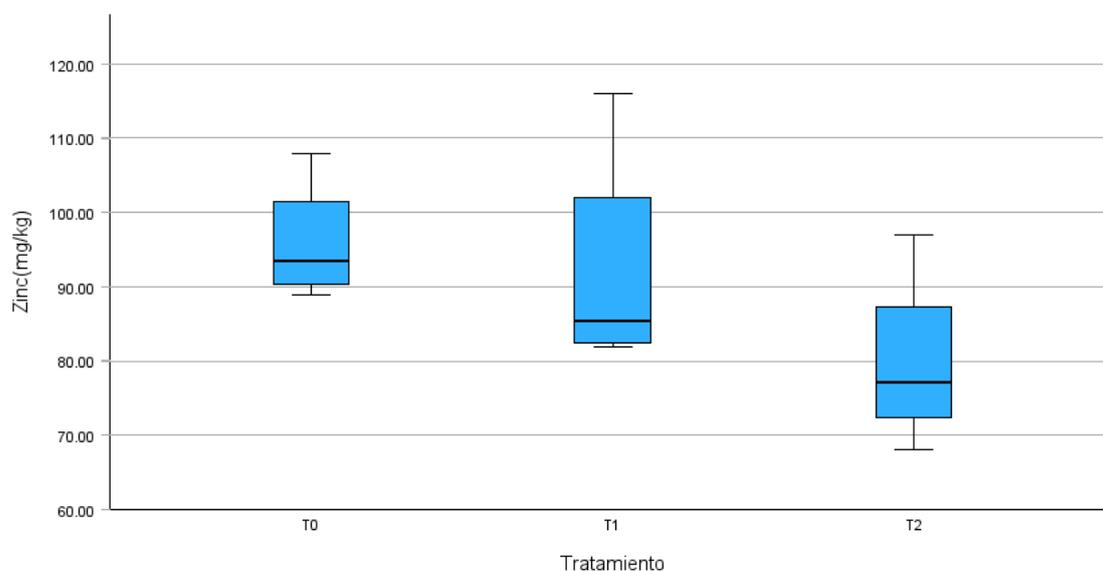


Figura 22. Diagrama de caja de la concentración de Zn final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

1) Manganeso

Se observa una distribución bastante uniforme entre los tratamientos, aunque T2 presenta la mayor dispersión y un valor máximo ligeramente superior. Las medianas son similares entre grupos. ANOVA no significativa ($p > 0.05$), indicando que no existen diferencias estadísticas importantes entre tratamientos para este micronutriente.

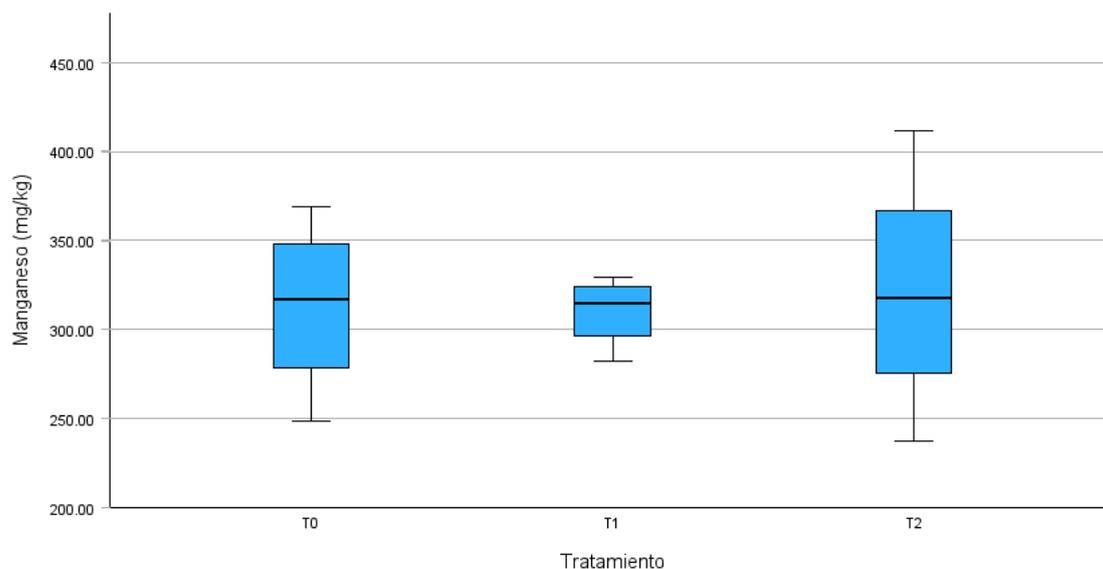


Figura 23. Diagrama de caja de la concentración de Mn final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

m) Cobre

Las concentraciones de cobre fueron similares entre tratamientos, con T2 mostrando una menor dispersión. T1 tuvo el rango más amplio, aunque la mediana fue casi igual para todos. ANOVA no significativa ($p > 0.05$), lo cual sugiere que no hay influencia del tratamiento sobre este parámetro.

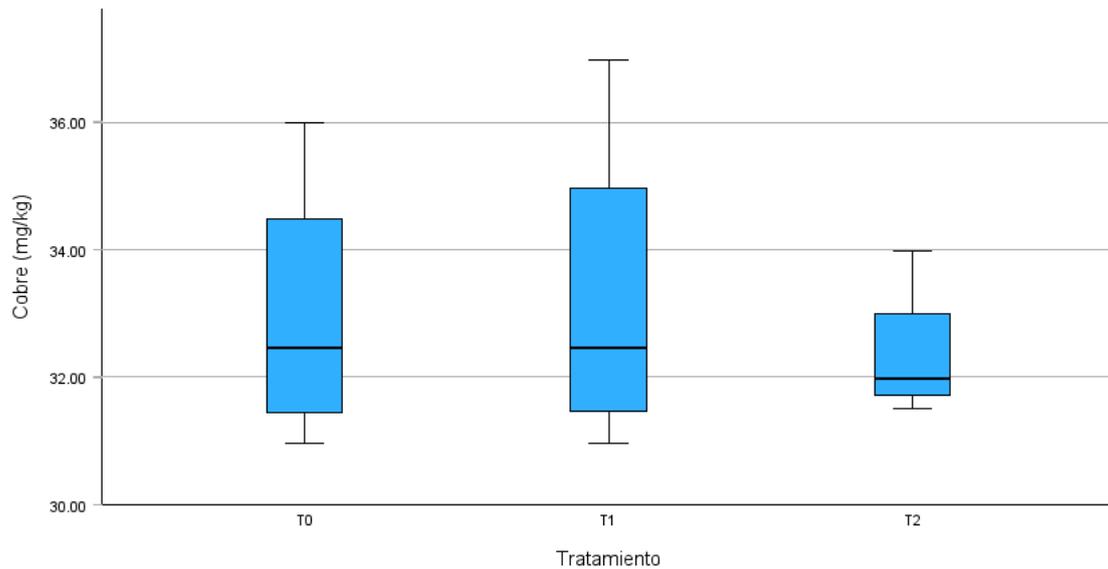


Figura 24. Diagrama de caja de la concentración de Cu final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

n) Molibdeno

T1 mostró la mayor dispersión, incluyendo valores extremos altos y bajos, mientras que T0 y T2 presentaron distribuciones más estrechas. Prueba de Kruskal-Wallis aplicada, sin diferencias significativas. Esto indica alta variabilidad interna, pero sin efecto claro del tratamiento.

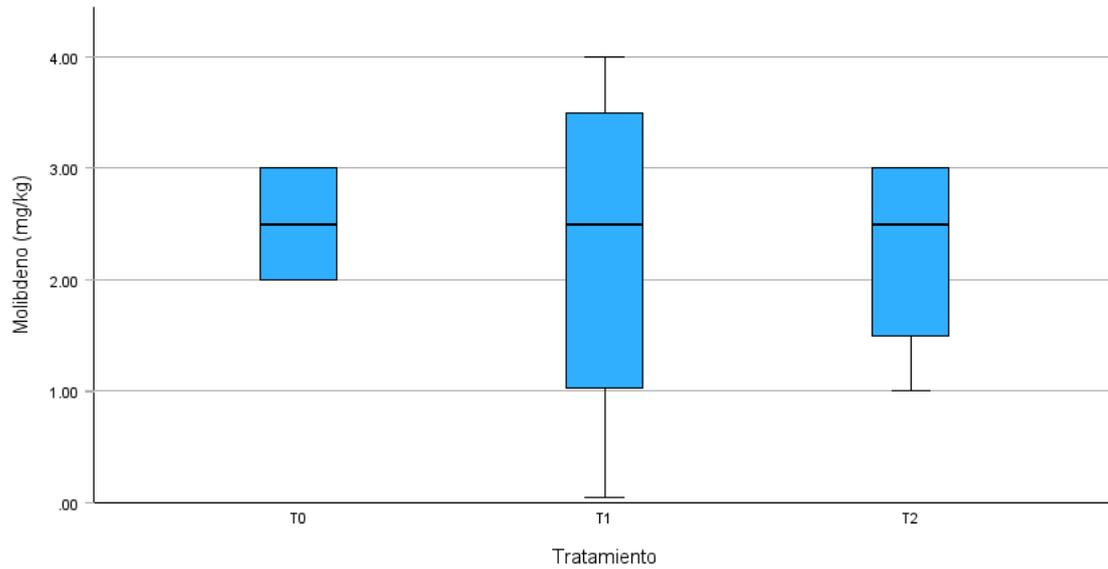


Figura 25. Diagrama de caja de la concentración de Mo final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

o) Bario

Las diferencias visuales entre tratamientos son leves. T1 mostró un rango más amplio. Siendo que la prueba ANOVA no significativa ($p > 0.05$), lo que indica que no se encontraron diferencias estadísticamente relevantes en los niveles de bario entre tratamientos.

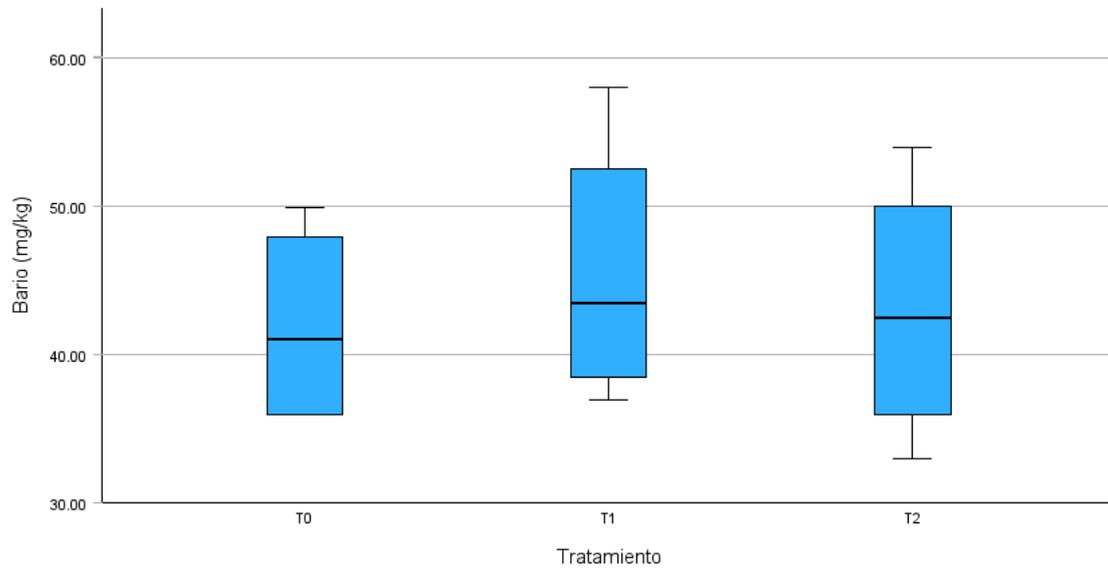


Figura 26. Diagrama de caja de la concentración de Ba final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

p) Estroncio

T0 mostró mayor dispersión y una mediana superior, seguido de T2. T1 fue el tratamiento más homogéneo. La prueba ANOVA no significativa ($p > 0.05$), indica que las variaciones entre tratamientos no son estadísticamente relevantes.

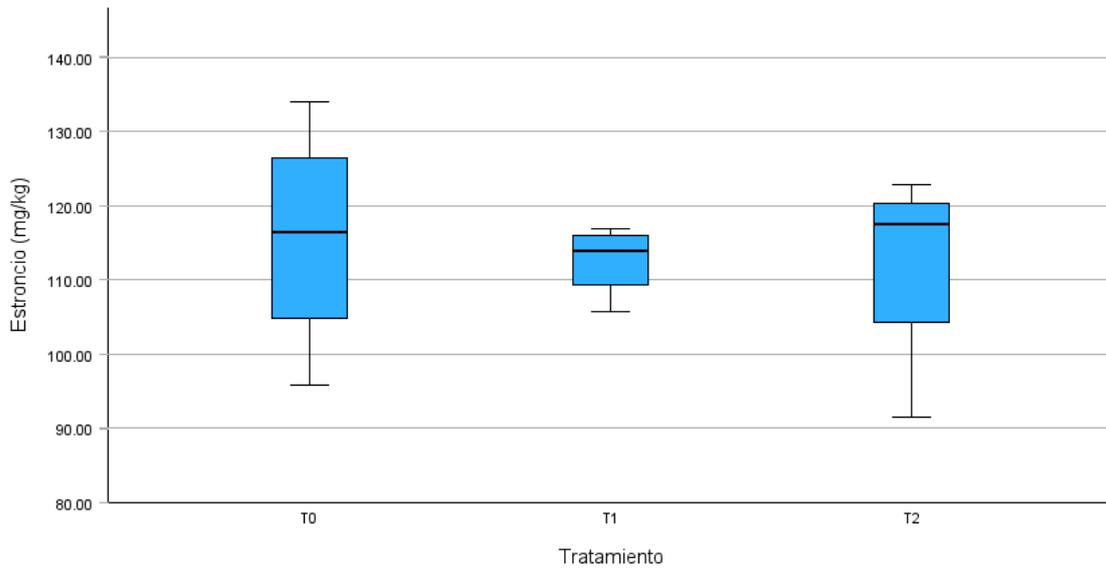


Figura 27. Diagrama de caja de la concentración de Sr final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

q) Plomo

El tratamiento T2 mostró una notable reducción en las concentraciones de plomo en comparación con T0 y T1. La mediana disminuyó progresivamente en los tratamientos. El análisis de ANOVA fue significativo ($p < 0.05$), y la prueba de Tukey identificó una diferencia estadísticamente significativa entre T0 y T2. Esto sugiere que el tratamiento T2 fue efectivo para reducir la concentración de plomo en el compost.

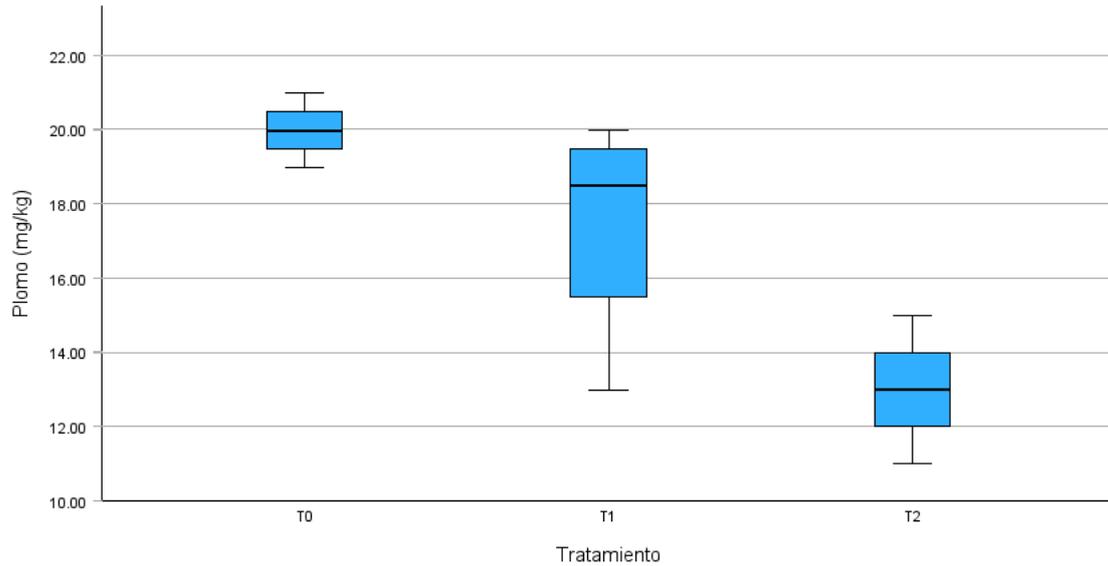


Figura 28. Diagrama de caja de la concentración de Pb final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

r) Cromo

Se observa un aumento notable de la mediana en el tratamiento T1. ANOVA significativa ($p < 0.05$) y Tukey mostró diferencia entre T1 y T0. Esto indica que el tratamiento T1 incrementó los niveles de cromo, posiblemente por mayor solubilización del metal en ese entorno.

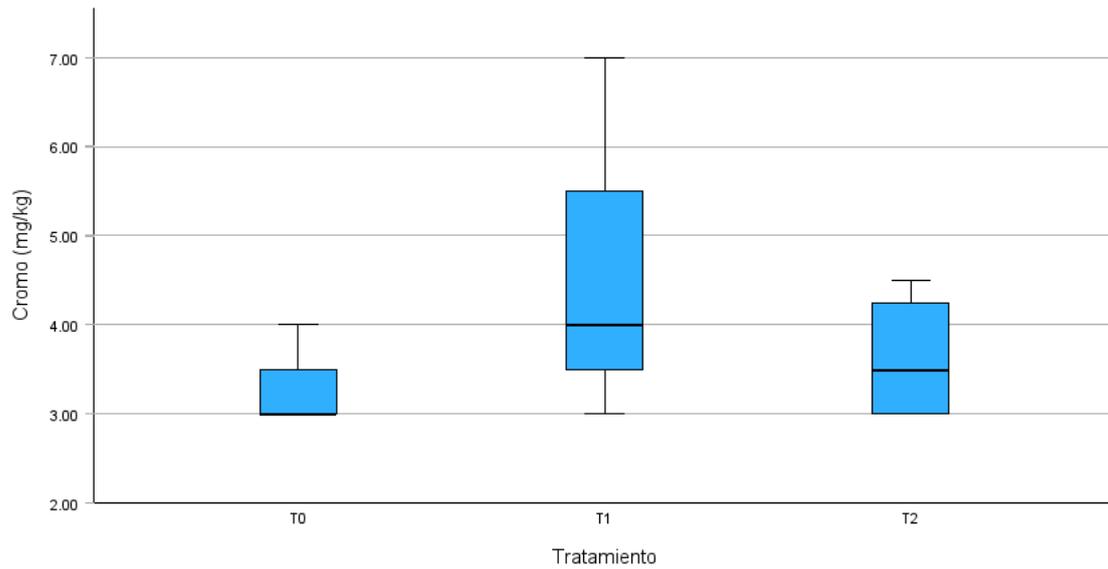


Figura 29. Diagrama de caja de la concentración de Cr final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

s) Cadmio

El cadmio presentó una disminución clara en los tratamientos T1 y T2 en comparación con T0. La prueba de Kruskal-Wallis fue significativa ($p < 0.05$), lo que sugiere que los tratamientos contribuyeron significativamente a la reducción del contenido de cadmio, posiblemente por inmovilización durante el proceso de compostaje.

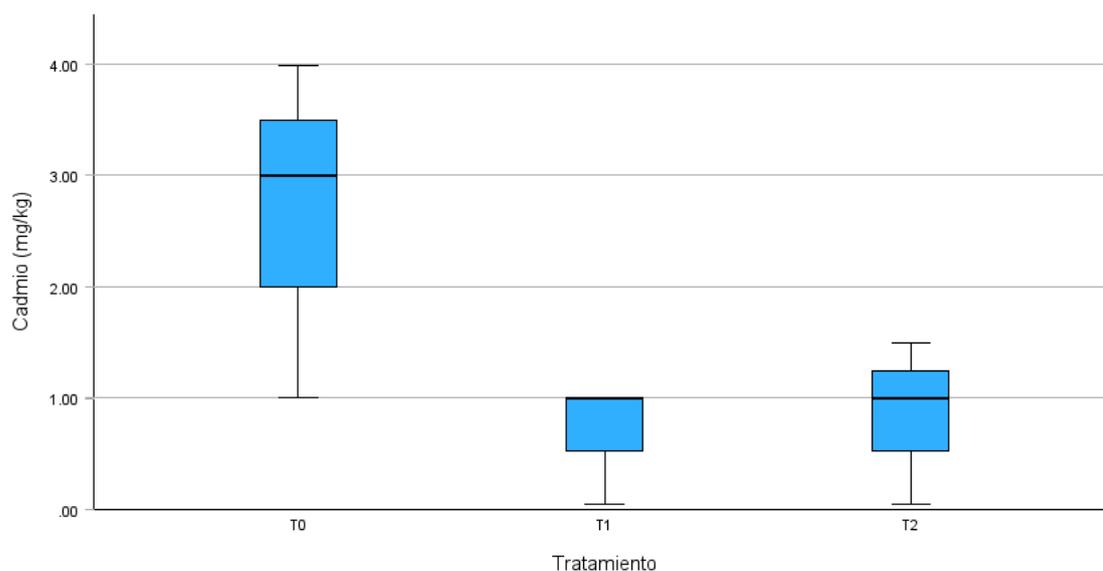


Figura 30. Diagrama de caja de la concentración de Cd final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

t) Arsénico

El valor de As fue constante en T2 (todos 1.0 mg/kg), mientras que en T0 y T1 se observaron mayores variaciones. La prueba de Kruskal-Wallis fue significativa ($p < 0.05$), aunque no se aplicó post hoc. El patrón sugiere que el tratamiento T2 estabiliza o concentra el arsénico en forma uniforme.

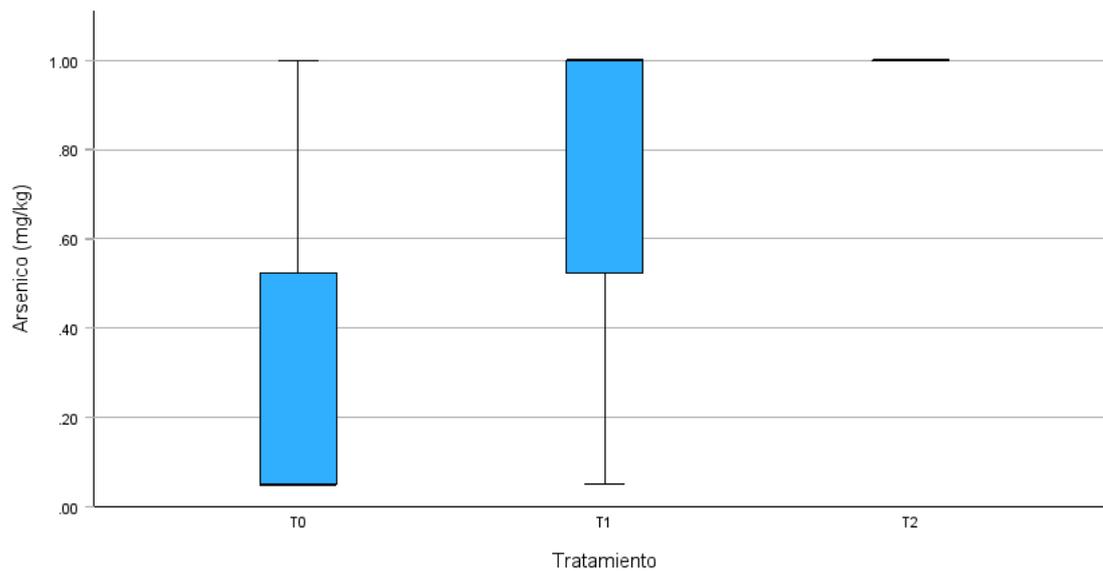


Figura 31. Diagrama de caja de la concentración de Ar final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

u) Cobalto

Las diferencias entre tratamientos fueron mínimas, con ligera disminución en T2. ANOVA no significativa ($p > 0.05$), indicando que no hubo diferencias estadísticamente relevantes en los niveles de cobalto.

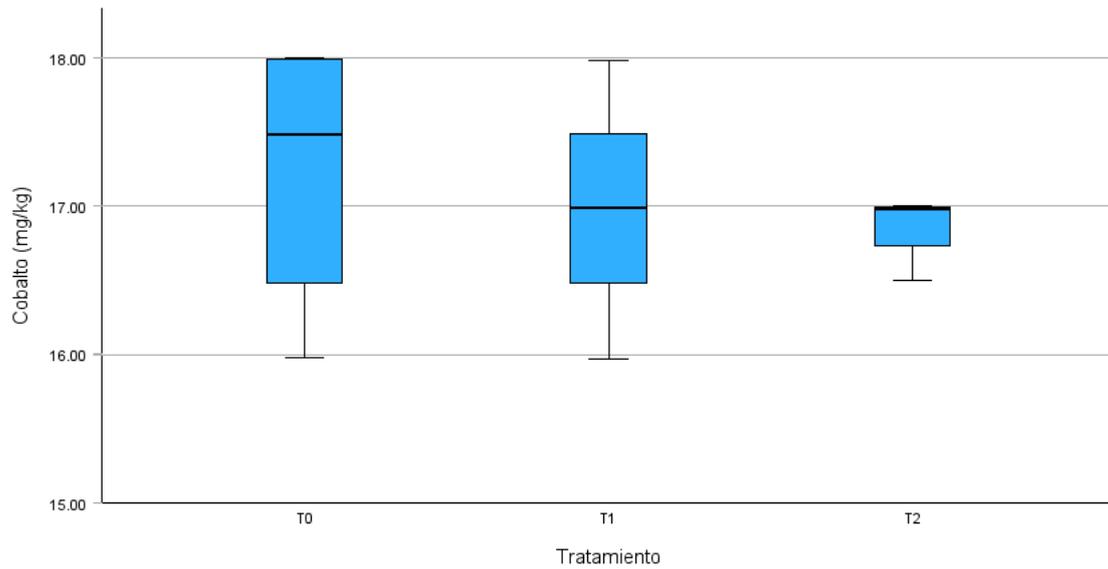


Figura 32. Diagrama de caja de la concentración de Co final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

v) Aluminio

El tratamiento T1 presentó una mayor mediana y dispersión en los niveles de aluminio. A pesar de esto, ANOVA no fue significativa ($p > 0.05$), lo que implica que las diferencias observadas no son estadísticamente concluyentes.

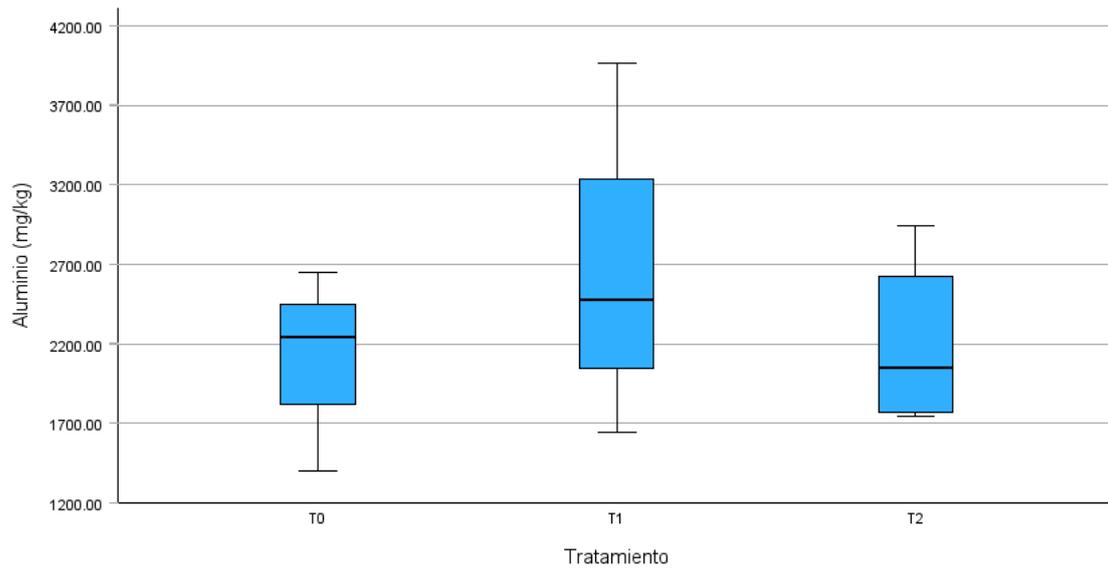


Figura 33. Diagrama de caja de la concentración de Al final del compost según tratamiento (T0, T1, T2).

4.2. DISCUSIÓN

Valor inicial de la cuyinaza

Los análisis iniciales de la cuyinaza revelaron un material rico en materia orgánica (59%), con un pH alcalino (8.8), y niveles elevados de fósforo (19096.08 mg/kg) y potasio (900.73 mg/kg). Estos valores confirman el alto potencial de la cuyinaza recolectada de la EEA Baños del Inca como materia prima para el compostaje y la producción de abonos orgánicos, lo cual concuerda con lo reportado por Murray-Núñez *et al.* (2023) y Mayra (2019), quienes destacan su riqueza en nitrógeno, fósforo y potasio en comparación con otros estiércoles. La composición química de la cuyinaza, incluyendo macro y micronutrientes, es un factor clave para su valor agronómico (Pascal Castillo, 2020). El pH inicial alcalino de 8.8 en la cuyinaza utilizada en este estudio es superior al pH de 6.93 reportado por Murray-Núñez *et al.* (2023) para excremento entero de cuy, lo que sugiere variaciones en la composición inicial de la materia prima que pueden influir en la dinámica del proceso de compostaje.

Un aspecto crítico es la detección de metales pesados como plomo (3.08 mg/kg), cadmio (0.25 mg/kg) y arsénico (0.17 mg/kg) en la cuyinaza inicial. Si bien estos niveles son considerablemente más bajos que los reportados por Pascal Castillo (2020) para cuyinaza cruda (Pb 14.99 ppm, Cd 1.89 ppm), la presencia de estos elementos exige un monitoreo riguroso para asegurar la calidad y seguridad del producto final, como lo enfatiza Zárate Caja (2019) en su investigación sobre la disminución de metales pesados en compost de estiércol de cuy.

Evolución de la temperatura durante el compostaje

Durante las 4 semanas del proceso, se observaron curvas térmicas típicas del compostaje, con todos los tratamientos alcanzando la fase termofílica ($>45\text{ }^{\circ}\text{C}$) y picos superiores a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ en T1 (EM) y T2 (MM). Estas temperaturas son cruciales para la higienización del material, ya que aseguran la eliminación de la mayoría de los patógenos y semillas de malezas, un requisito fundamental para un compost seguro y de calidad (INIA, 2013; Opanatura, n.d.; Rivero, 2021). La capacidad de los tratamientos con inoculantes (T1 y T2) para alcanzar picos superiores a $43\text{ }^{\circ}\text{C}$ es un indicador de una intensa actividad microbiana y una descomposición eficiente, cercanos a los $40\text{-}43\text{ }^{\circ}\text{C}$ máximos observados por Zárate Caja (2019) en su estudio de compostaje de cuyinaza.

La duración del compostaje de un mes, con un volteo semanal, es un período relativamente corto en comparación con los 4 a 6 meses que puede tardar un compost en estar listo para su uso sin inoculantes (INIA, 2020). Sin embargo, la rápida consecución de la fase termofílica y la estabilización de la temperatura interna, sin influencia significativa de la temperatura ambiental, indican que la inoculación con EM y MM aceleró eficazmente el proceso de descomposición, lo cual es consistente con los beneficios atribuidos a estos consorcios microbianos (OISCA & BID, 2009; Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025).

Cambios fisicoquímicos del compost final

Al finalizar el proceso, el pH se mantuvo en valores alcalinos sin diferencias significativas entre tratamientos. Este comportamiento es esperable en la fase de maduración del compost, donde el pH tiende a estabilizarse en un rango cercano a la neutralidad o

ligeramente alcalino (6.5-8.5), lo que indica que el compost final es apto para su aplicación sin causar estrés químico al suelo (Rivero, 2021).

La conductividad eléctrica (CE) fue mayor en T1 (EM), aunque sin diferencia significativa. Valores elevados de CE pueden indicar la presencia de sales solubles, lo cual es un factor para considerar para la aplicación del compost, especialmente en suelos sensibles o en altas proporciones (Gipuzkoa, s.f.). La Norma Técnica Peruana (NTP) 201.207:2020 establece un límite máximo de 5 dS/m para el compost de uso agrícola (INDECOPI, 2020).

La materia orgánica (MO) mostró una reducción notable en T1 (EM) y T2 (MM), indicando una mayor mineralización y descomposición, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa. Esta reducción es un signo de un proceso de compostaje exitoso, donde los microorganismos transforman la materia orgánica compleja en formas más estables (Gipuzkoa, s.f.). El contenido final de MO es un indicador clave de la calidad del compost, con la NTP 201.207:2020 exigiendo un mínimo del 20% (INDECOPI, 2020). La eficiencia de los tratamientos con inoculantes en la mineralización de la MO es un hallazgo positivo, aunque la falta de significancia estadística sugiere que el control también logró una descomposición considerable.

Transformaciones de macronutrientes (NPK)

La dinámica de los macronutrientes (NPK) en el compost final mostró comportamientos diferenciales. El nitrógeno se mantuvo estable en todos los tratamientos, sin diferencias significativas. Esto contrasta con estudios como el de Ordóñez Ruiz *et al.* (2025), quienes reportaron incrementos sustanciales de nitrógeno (467.46% con MM y 472.62% con EM)

en compost de residuos orgánicos (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025). La estabilidad del nitrógeno en este estudio podría indicar una buena retención del elemento, evitando pérdidas por volatilización, o bien que la cuyinaza ya poseía una forma de nitrógeno estable que no fue significativamente transformada en el corto período de compostaje.

El fósforo presentó una reducción significativa en T2 (MM) (ANOVA $p < 0.05$, Tukey: $T0 > T2$), lo que sugiere una posible inmovilización o transformación microbiana que lo hizo menos detectable por el método de análisis utilizado (MP-AES 4210 / EPA 3050). Este resultado difiere de lo esperado, ya que Ordóñez Ruiz *et al.* (2025) encontraron que los MM aumentaron el fósforo en un 83% en su compost (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025). La inmovilización de fósforo por la biomasa microbiana o la formación de compuestos insolubles en el pH alcalino podrían ser factores contribuyentes.

El potasio se mantuvo con variaciones leves sin diferencias estadísticamente significativas. Esto también contrasta con Ordóñez Ruiz *et al.* (2025), quienes observaron un incremento del 611% en potasio con MM y 395% con EM (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025). Las diferencias en la composición inicial de la cuyinaza y las condiciones específicas del compostaje podrían explicar estas variaciones en la dinámica de NPK en comparación con otros estudios. La NTP 201.207:2020 establece rangos para N (0.3-1.5%), P_2O_5 (0.1-1.0%) y K_2O (0.3-1.0%) en el compost final (INDECOPI, 2020).

Nutrientes secundarios y micronutrientes

No se observaron diferencias significativas para calcio, magnesio y sodio, aunque el sodio mostró una ligera tendencia a incrementar en T2 (MM). Estos resultados son parcialmente consistentes con Ordóñez Ruiz *et al.* (2025), quienes reportaron que MM disminuyó

ligeramente el calcio y magnesio, mientras que EM los aumentó, y ambos incrementaron el sodio (Ordóñez Ruiz *et al.*, 2025).

Entre los micronutrientes, el hierro se incrementó en T1 (EM), sin alcanzar significancia estadística. El zinc y el manganeso mostraron reducciones generales. La cuyinaza inicial es una fuente de estos micronutrientes (Pascal Castillo, 2020). Las reducciones observadas en Zn y Mn podrían deberse a su asimilación por la biomasa microbiana o a la formación de complejos insolubles durante el proceso de compostaje. Estos cambios, aunque no siempre significativos, pueden influir en la calidad agronómica del compost y su capacidad para suplir las necesidades de los cultivos.

Metales traza y pesados

Los resultados sobre metales traza y pesados son de particular interés. El cromo aumentó significativamente en T1 (EM), mientras que el plomo disminuyó considerablemente en T2 (MM) (ANOVA $p < 0.05$, Tukey: $T_0 > T_2$). El arsénico se incrementó en T2 (MM) de forma uniforme (KW $p < 0.05$). El cadmio presentó diferencias significativas, con menores concentraciones en T1 (EM) y T2 (MM). Estos resultados sugieren que el tipo de inoculante puede influir en la movilidad y transformación de metales durante el compostaje.

La disminución del plomo en T2 (MM) es un hallazgo positivo, aunque el aumento del cromo en T1 (EM) y del arsénico en T2 (MM) son aspectos que requieren atención. La investigación de Zárate Caja (2019) es un antecedente crucial aquí, ya que encontró que el compost con estiércol de cuy, incluso con la adición de EM, aún presentaba niveles elevados de arsénico (63 ppm) y plomo (258.6 ppm), superando la mayoría de los

estándares internacionales. La reducción del cadmio en T1 y T2 en este estudio es consistente con la capacidad de reducción del cadmio (42%) observada en el mismo estudio.

Las diferencias en los resultados de metales pesados entre este estudio y el de Zárate Caja (2019) pueden atribuirse principalmente a las concentraciones iniciales de metales en la cuyinaza. Los niveles iniciales de plomo (3.08 mg/kg), cadmio (0.25 mg/kg) y arsénico (0.17 mg/kg) en la cuyinaza de la EEA Baños del Inca son considerablemente más bajos que los que habrían estado presentes en la materia prima utilizada en el estudio de Zárate, cuyos niveles finales de compost fueron muy altos. Esto subraya la importancia crítica de la calidad de la materia prima inicial en la determinación de la seguridad del compost final.

Comparación con la normativa chilena NCh2880:2015

Un hallazgo fundamental de esta investigación es que todos los tratamientos cumplen con los límites establecidos por la Norma Chilena NCh2880:2015 para abonos orgánicos en cuanto a contenido de metales pesados. Específicamente, los niveles de plomo, cadmio y arsénico se encuentran muy por debajo de los valores máximos permitidos por esta normativa. Esto indica que el compost obtenido es seguro para uso agrícola según la normativa chilena vigente.

Este resultado contrasta directamente con la conclusión de Zárate Caja (2019), quien, basándose en sus hallazgos de altos niveles de arsénico y plomo en compost de cuyinaza que excedían los estándares internacionales (incluyendo la norma chilena para arsénico), recomendó que el compost obtenido no fuera utilizado en suelos agrícolas. La principal

razón de esta diferencia radica en la calidad inicial de la cuyinaza. Dado que la cuyinaza utilizada en este estudio presentaba concentraciones iniciales de metales pesados significativamente más bajas, el compost final pudo cumplir con los estrictos límites de la NCh2880:2015.

La capacidad de producir un compost de cuyinaza que cumple con una norma internacional de calidad como la chilena es un avance significativo para la valorización de este residuo en Cajamarca. Además, si cumple con la NCh2880:2015, cumpliendo así con la Norma Técnica Peruana NTP 201.207:2020, que establece límites para metales pesados como arsénico (20 mg/kg), cadmio (1 mg/kg) y plomo (150 mg/kg) (INDECOPI, 2020). Este resultado posiciona al compost de cuyinaza producido con inoculantes microbianos como una enmienda de suelo segura y viable para la agricultura en la región.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

Los tratamientos T0, T1 y T2 aplicados al compostaje de cuyinaza presentaron diferencias sustanciales en la transformación de parámetros fisicoquímicos y en la concentración de elementos metálicos. Se evidenció una mejora en la calidad del compost con la aplicación de microorganismos eficientes (EM) y microorganismos de montaña (MM), logrando mayores reducciones en los niveles de materia orgánica y metales pesados en comparación con el control.

Las transformaciones se agrupan de la siguiente manera: (i) Parámetros con reducción significativa, como la materia orgánica (-26.2% en T1) y el plomo (-64.5% en T2); (ii) Parámetros con disminución leve pero constante, como el fósforo (-31.1% en T2), arsénico (-23% en T1), y zinc (-18.3% en T2); (iii) Elementos con incremento no significativo, como el sodio (+12.5% en T2), hierro y cromo; (iv) Macronutrientes conservados, como el potasio y el nitrógeno, que no presentaron diferencias significativas.

Desde el punto de vista estadístico, el fósforo, el plomo, el cromo, el cadmio y el arsénico fueron los únicos parámetros con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, validadas mediante ANOVA y Kruskal-Wallis, y en algunos casos, complementadas con pruebas post hoc de Tukey. Los tratamientos finales en todas sus repeticiones cumplieron con los valores máximos permitidos establecidos por la norma chilena NCh2880:2015, particularmente en cadmio, plomo, arsénico y cromo, confirmando la inocuidad del bioabono.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una investigación en cuanto metagenómica de los grupos microbianos y sus metabolismos en cuanto la fijación de nitrógeno, la solubilización de nutrientes y la bioacumulación o biotransformación de metales pesados.

Se sugiere realizar una transferencia de tecnología sobre estos métodos a los agricultores relacionados con la industria familiar en crianza de cuyes a fin de que puedan conseguir un bioabono sostenible y de excelentes características para sus cultivos.

Se plantea agregar a la investigación un segundo proceso de compostaje mediante el uso de lombrices, a fin de evaluar como interactúa el proceso de humificación en correlación a la estabilización de pH a niveles más neutros.

Considerando que el material primario fue cuyinaza de galpones dedicados a la investigación, con alimentación balanceada, se recomienda realizar el proceso con cuyinaza más cercana a la realidad de la región con alimentación menos vigilada en cuanto factores como metales pesados y con presencia de agentes patógenos como *Salmonella* spp.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroPerú. (2023). El negocio del cuy en Cajamarca.
- Avilés, Diana, Martínez, Amparo, Landi, Vincenzo, y Delgado, J. V. (2014). El cuy (*Cavia porcellus*): un recurso andino de interés agroalimentario The guinea pig (*Cavia porcellus*): An Andean resource of interest as an agricultural food source. *Animal Genetic Resources/Ressources génétiques animales/Recursos genéticos animales*, 55, 87-91. doi:10.1017/S2078633614000368
- Bailón, Marlon Ricardo, y Florida, Nelino. (2021). Characterization and quality of compost produced and marketed in Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(1), 1-11. doi :10.29019/ENFOQUEUTE.644
- Bazán, Ruben. (2017). Manual De Procedimientos De Los Análisis De Suelos Y Agua Con Fines De Riego Programa Presupuestal 0089 Reducción De La Degradación De Los Suelos Agrarios.
- BioEM. (s. f.). EM«COMPOST® Microorganismos Eficaces. Recuperado de: www.bioem.com.pe
- Blandón C., G., Rodríguez V., N., y Dávila A., M. T. (1998). Caracterización microbiológica y físico química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. Recuperado de: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/753>
- Bustanza, Bustanza, Rocío, y Gomero, Luis. (2022). Optimization of the composting process with coffee pulp in the annex Unión Pucusani (Chanchamayo - Junín). *Idesia (Arica)*, 41(1), 85-95. doi:10.4067/S0718-34292023000100085
- Camacho, Fabricio, Uribe, Lidieth, Newcomer, Quint, Masters, Karen, y Kinyua, Maureen. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *UNED Research Journal* (Vol. 10).
- Castillo Huaman, Lady Cely. (2020). Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019.
- Castro-Hernández, M., García, P. y Ramírez, L. (2023) 'Evaluación de agentes físico-químicos y biológicos en compostaje: mejoras en estructura del suelo, transformación de nutrientes y supresión de patógenos', *Revista Colombiana de Ciencia del Suelo*, 11(2), pp. 45–62
- Chauca, Lilia. (1997). Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). Roma. *Compostaje Del Agricultor Experiencias en América Latina*. Recuperado de: www.fao.org/publications
- ESPE. (2014). IX Congreso de Ciencia y Tecnología *ESPE 2014*.
- FAO. (2023). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023.

doi:10.4060/CC3017ES

- FAOTERM. (s. f.). Portal Terminológico de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 10 de marzo de 2024 de: <https://www.fao.org/faoterm/es/>
- Gipuzkoa. (s.f.). Interpretación de los análisis de compost. Recuperado de https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2229015/interpretacioncompost_v1.pdf/26b0b56f-ff7d-af7c-56c6-0faac739b012
- Gobierno Regional De Cajamarca. (2023). El Plan de Desarrollo Regional Concertado PDRC Cajamarca al 2033. Cajamarca.
- Higa, Teruo. (2003). Effective Microorganisms: A Biotechnology for Mankind. Recuperado de: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:56274855>
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280.pdf>
- INDECOPI. (2020). NTP 201.207:2020 FERTILIZANTES. *Compost para uso agrícola. Requisitos.* Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2537217/RJ_221_2021.pdf
- INIA. (2013). *Revista INIA.* Recuperado de <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>
- INIA. (2020). *Compost INIA Kampenaike.* Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=QU8AD0eb_mY
- Julcamoro, Ángel, y Flores, Anghelo. (2023). Efecto de los microorganismos eficientes y la lombriz roja californiana en la producción de compost y vermicompost a partir de residuos orgánicos en La Huaraclla.
- Limo Segura, A. (2015) Avances en Lucha contra Desertificación y Sequía. Comisión Ambiental Regional La Libertad, Ministerio del Ambiente, Perú. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-lalibertad/archivos/public/docs/5711_0.pdf
- Mayra, M. (2019). Efecto Del Uso De Tres Abonos Orgánicos En Las Características Agronómicas Del Pasto Elefante (*Pennisetum Purpureum* Cv. Camerún) En Yurimaguas. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Recuperado de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/6712/Mayra_Tesis_Titulo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moreno, Joaquín, y Moral, Raúl. (2008). Compostaje. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Murray-Núñez, R., Orozco-Benítez, G., & Martínez-Orozco, J. (2023). Composición química de excremento entero, composta y lixiviado de la cama de cuyes (*Cavia porcellus*). *Abanico Agroforestal*, 8(1), e2022-12. Recuperado de <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/article/view/107>

- OISCA & BID. (2009). Manual Práctico de Uso de EM. Recuperado de https://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf
- Opanatura. (s.f.). Compost y Compostaje. Recuperado de <https://opanatura.com/compost-y-compostaje/>
- Ordóñez Ruiz, K. M., Ordóñez Sánchez, L. A., & Oblitas Quiroz, V. H. (2025). Comparación de la eficiencia de microorganismos eficientes y de montaña en el compostaje de residuos orgánicos. *Bionatura Journal*. Recuperado de <https://bionaturajournal.com/2025.02.01.7.html>
- Osorio, Nelson Walter. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 43-71). Medellín: Cenicafé. doi:10.38141/10791/0003_3
- Paredes, Manuel, Mantilla, José, Vilca, David, y Vallejos, Luis. (2020). Caracterización de nueve compostajes a base de residuos vegetales y pecuarios del Valle de Condebamba en los Andes del Norte Peruano. *Livestock Research for Rural Development*, 32(11).
- Pascal Castillo, M. I. (2020). *Uso de microorganismos del estiércol de Cavia porcellus L. (cuy) con potencial de biodegradación del petróleo biodiesel a nivel de laboratorio de la UNAS-Tingo María*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Recuperado de <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstreams/32e98256-cd7d-4786-b642-2441246b03ba/download>
- Pinos-Rodríguez, Juan M., García-López, Juan C., Peña-Avelino, Luz Y., Rendón-Huerta, Juan A., González-González, Cecilia, y Tristán-Patiño, Flor. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370.
- Puerta, Silvia María. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(1), 56-65. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511009>
- Rivero, F. A. (2021). *Evaluación de la fitotoxicidad de distintas concentraciones de té de vermicompost elaborado en base a residuos vegetales en un ámbito urbano*. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2021boqueteeduardojavier.pdf>
- Roben, Eva. (2002). Manual de Compostaje Para Municipios. Loja, Ecuador.
- Soliva, Montserrat, y López, Marga. (2004). Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Recuperado de: www.upc.cat
- SSSA. (2008). Glossary of Soil Science Terms | Soil Science Society of America. Recuperado el 10 de marzo de 2024 de: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/>

- Uribe, H. (2003) ‘Determinación de la calidad del compost: la relevancia de parámetros físicos, químicos y biológicos para un producto final óptimo’, Resumen de tesis, Universidad Nacional Agraria, Huánuco, Perú
- Valderrama, M. (2013). *Factibilidad de Aprovechamiento de los Lodos Residuales de la PTAR del Municipio de Chinavita (Boyacá)*. Universidad de Manizales.
- Vasudeo, S. (2021) ‘Consortios microbianos y sinergias en la producción de bioabonos sostenibles: enfoque en Microorganismos Eficientes (EM) y de Montaña (MM)’, *Revista ECIPerú*, 20(1), pp. 46–58
- Velásquez Reyes, C. (2004). *Análisis fisicoquímico proceso co-compostaje según NTC 5167 2004*. Universidad Industrial de Santander. Recuperado de <https://noesis.uis.edu.co/bitstreams/17cdcac8-d3d2-40a8-9f39-79202568c3ec/download>
- Vidurrizaga, Juan Manuel. (2011). Efecto de Cuatro Tipos de Abonos Orgánicos sobre el Rendimiento del Cultivo de *Lycopersicon esculentum* Mill «Tomate» Var. Regional, en la Comunidad de Zungarococha, Distrito de San Juan Bautista-Loreto. Loreto, Perú.
- Zambrano, Oscar. (2015). *Costos De Producción De Crianza Artesanal Y Tecnológica Del Cuy (Caviaporcellus) En Cajamarca*.
- Zárate Caja, R. B. (2019). *Mejoramiento del compost mediante la adición de estiércol de vacuno y de cuy para la disminución de la concentración de metales pesados en el CEPASC-Concepción, 2018*. Universidad Continental. Recuperado de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6992/2/IV_FIN_107_TE_Zarate_Caja_2019.pdf

APÉNDICES

Apéndice 1. Esquema del experimento

DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS EXPERIMENTO CUYINAZA								
BI		T0		T2		T0		T1
BII		T1		T0		T1		T2
BIII		T0		T2		T2		T1

Apéndice 2. Recolección de la cuyinaza



Apéndice 3. Preparación de los inóculos



Apéndice 4. Preparación de la cuyinaza, inoculación, instalación del experimento y toma de datos ambientales



Apéndice 5. Ficha de registro diario

Ficha de Recolección de Datos Diaria

Observaciones Adicionales:

.....
.....
.....

Fecha:			
Hora:			
Datos ambientales			
T° act:		H% act:	
T° mín:		H% mín:	
T° máx:		H% máx:	
Datos compostaje			
Caja	Tratamiento	Temperatura	Observaciones
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

.....
.....

Apéndice 6. Informe de datos de cuyinaza inicial

INFORME DE ENSAYO
N° 040481-24/AO/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : PP089 SUELOS
 Propietario / Productor : MARIETA CERVANTES
 Dirección del cliente : JR. WIRACOCHA SIN BAÑOS DEL INCA-CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestra
 Producto declarado : Abono orgánico
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s)* : BAÑOS DEL INCA/CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo* : 01/03/2024
 Fecha de recepción de muestra(s) : 01/03/2024
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 27/03/2024
 Cotización del servicio : 068-24-BI
 Fecha de emisión : 01/04/2024



Pro Suelos y Aguas
LABSAF

II. RESULTADO DE ANALISIS

ITEM	1						
Código de Laboratorio	AO013-BI-24						
Matriz Analizada	Abono						
Fecha de Muestreo*	01/03/2024						
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	12:10						
Condición de la muestra	Conservada						
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Estiercol de Cuy						
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH	unid. pH	0,1	8,8				
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	1,0				
Materia Orgánica	%	0,1	59,0				
Nitrógeno	mg/g	0,1	21,7				
Metales totales (**)							
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	1.449,93				
Arsénico (As)	mg/kg	0,05	0,17				
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	32,49				
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	39.643,09				
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	0,25				
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	4,44				
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	4,63				
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	30,49				
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	2.496,74				
Fósforo (P)	mg/kg	0,05	19.096,08				
Potasio (K)	mg/kg	0,05	900,73				
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	3.621,91				
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	254,05				
Moibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	2,90				
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	3.895,76				
Niquel (Ni)	mg/kg	0,05	2,68				
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	3,08				
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,05	85,00				
Zinc(Zn)	mg/kg	0,05	164,25				

Apéndice 7. Informe de ensayo cuyinaza final

INFORME DE ENSAYO N° 060706-24/AB/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : PP089 SUELOS
 Propietario / Productor : PP089 SUELOS
 Dirección del cliente : JR. WIRACOCCHA SIN BAÑOS DEL INCA-CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 12 muestras
 Producto declarado : Abonos
 Presentación de las muestras(x) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(x)* : BAÑOS DEL INCA-CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo* : 14/05/2023
 Fecha de recepción de muestra(s)* : 14/05/2024
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Follajes - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 03/06/2024
 Colización del servicio : 172-24-BI
 Fecha de emisión : 06/06/2024



Firmado digitalmente por:
 CABRERA HOYOS Hector
 Antonio FAU 20131365004 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 06/06/2024 14:54:53-0500

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6	
Código de Laboratorio	AB0165-BI-24	AB166-BI-24	AB167-BI-24	AB168-BI-24	AB169-BI-24	AB170-BI-24	
Matriz Analizada	Abono	Abono	Abono	Abono	Abono	Abono	
Fecha de Muestreo*	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	11:18	11:18	11:18	11:18	11:18	11:18	
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Compost Cuy T0-1	Compost Cuy T0-2	Compost Cuy T0-3	Compost Cuy T0-4	Compost Cuy T1-1	Compost Cuy T1-2	
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH	unad. pH	0,1	8,8	9,1	9,9	8,6	9,9
Conductividad Eléctrica	mS/cm	1,0	1216,0	1223,0	1258,0	1.059,0	1.206,0
Materia Orgánica	%	0,1	48,9	47,7	52,6	45,3	48,5
Nitrógeno	mg/g	0,1	26,90	24,62	22,18	22,58	18,72
Humedad	%	--	68,87	72,36	74,38	56,05	72,50
Metales totales (**)							
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	2251,95	2231,11	1400,72	2651,35	3984,04
Arsénico (As)	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	1,00	<0,05	<0,05
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	49,91	45,98	35,99	35,96	46,95
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	45418,25	38884,53	53489,30	46853,15	53546,45
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	17,97	16,99	18,00	15,98	17,98
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	2,99	3,00	3,00	4,00	7,00
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	31,94	32,99	35,99	30,97	31,98
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	2400,68	2638,94	2689,47	2970,13	5294,71
Fósforo (P)	mg/kg	0,05	3795,17	9646,14	9368,13	10249,75	5884,12
Potasio (K)	mg/kg	0,05	16869,63	11995,20	18198,36	16583,42	17182,82
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	7687,24	5297,88	10197,96	7292,71	9199,81
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	369,34	326,87	307,94	248,75	329,67
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	2,00	3,00	3,00	2,00	<0,05
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	6188,86	4798,08	4599,08	4255,74	6793,21
Níquel (Ni)	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	19,96	19,99	21,00	18,98	18,98
Estreñico (Sr)	mg/kg	0,05	113,80	118,95	133,97	95,90	114,89
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	88,94	94,96	107,98	91,91	82,92

ITEM	7	8	9	10	11	12	
Código de Laboratorio	AB171-BI-24	AB172-BI-24	AB173-BI-24	AB174-BI-24	AB175-BI-24	AB176-BI-24	
Matriz Analizada	Abono	Abono	Abono	Abono	Abono	Abono	
Fecha de Muestreo*	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	14/05/2023	
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	11:18	11:18	11:18	11:18	11:18	11:18	
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Compost Cuy T1-3	Compost Cuy T1-4	Compost Cuy T2-1	Compost Cuy T2-2	Compost Cuy T2-3	Compost Cuy T2-4	
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH	unad. pH	0,1	8,5	9,0	9,5	9,3	9,0
Conductividad Eléctrica	mS/cm	1,0	1392,0	1125,0	1235,0	1198,0	1152,0
Materia Orgánica	%	0,1	50,2	41,7	43,5	43,4	47,9
Nitrógeno	mg/g	0,1	26,28	22,09	20,21	24,85	25,32
Humedad	%	--	56,35	62,65	59,18	55,52	56,09
Metales totales (**)							
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	1840,02	2503,49	2942,29	2302,00	1746,25
Arsénico (As)	mg/kg	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	39,98	36,93	53,91	46,00	38,96
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	35378,77	43122,38	50319,49	48100,00	50944,06
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	1,00	<0,05	<0,05	1,00	1,00
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	16,99	15,97	16,97	17,00	16,98
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	3,00	3,99	3,99	3,00	3,00
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	36,98	32,94	31,95	32,00	33,97
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	2065,76	3140,35	3889,78	2616,50	2295,70
Fósforo (P)	mg/kg	0,05	6296,22	8195,25	4992,01	6415,00	6573,43
Potasio (K)	mg/kg	0,05	12662,38	14573,77	17372,20	17100,00	17362,62
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	6096,34	6588,14	8686,10	7300,00	9890,11
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	310,81	282,49	411,34	322,50	313,89
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	2,00	2,99	3,00	3,00	2,00
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	5096,94	5290,48	6589,48	7450,00	6293,71
Níquel (Ni)	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	17,99	12,98	14,98	13,00	12,99
Estreñico (Sr)	mg/kg	0,05	112,93	105,81	122,80	117,00	117,88
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	115,93	81,85	76,88	77,50	96,90

Apéndice 8. Ficha de registro de temperaturas

Fecha	T°	T° mín	T° máx	T0-1	T0-2	T0-3	T0-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-4	T2-1	T2-2	T2-3	T2-4
8/04/2024	29.6	15.9	30	39	46	55	20	38	29	46	20	32	40	20	23
9/04/2024	29.6	15.9	30	40	43	50	24	42	35	42	22	38	38	21	20
10/04/2024	29.6	15.9	30	42	42	44	27	44	35	44	24	39	39	24	24
11/04/2024	19.6	14.1	33.3	43	40	45	49	44	40	41	50	44	42	42	43
12/04/2024	20.55	13.6	33.3	41	39	40	39	41	42	41	50	39	36	40	44
15/04/2024	21.5	13.1	33.3	41	36	33	39	38	30	41	45	40	43	42	47
16/04/2024	21.2	13.1	33.3	43	37	31	33	36	30	41	35	40	46	36	38
17/04/2024	18.8	13.1	33.3	40	34	35	31	31	27	37	30	37	40	37	31
18/04/2024	19.1	12.4	33.3	37	32	31	20	23	20	39	21	31	42	22	20
19/04/2024	18.7	12.4	33.3	37	30	27	20	21	20	38	20	25	42	25	21
22/04/2024	14.7	10.9	33.3	34	27	28	20	20	20	36	20	20	44	21	20
23/04/2024	24.8	10.9	33.3	31	28	26	22	21	20	38	20	20	46	21	20
24/04/2024	19.1	10.9	33.3	29	23	25	20	20	20	37	20	20	47	21	20
25/04/2024	23.3	10.9	33.3	24	20	27	22	20	23	39	20	20	46	21	20
26/04/2024	18.7	10.9	33.3	20	21	27	20	20	20	37	20	20	49	20	23
29/04/2024	16.3	10.9	33.3	20	20	28	21	20	20	41	20	21	50	21	21
30/04/2024	17.1	10.9	33.3	20	20	26	20	20	20	38	22	20	50	20	20
1/05/2024	17.1	10.9	33.3	20	20	28	20	20	20	39	21	22	53	20	20
2/05/2024	17.1	10.9	33.3	20	20	30	20	20	21	41	20	20	54	20	20

Apéndice 9. Estadística descriptiva de los tratamientos

Estadísticos descriptivos

Tratamiento	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar	
T0	pH	4	8.6	9.9	9.100	.5715
	Conductividad Electrica	4	1059	1258	1189.00	88.593
	Materia Orgánica	4	45.3	52.6	48.625	3.0434
	Nitrógeno	4	2218.00	2690.00	2407.0000	216.82251
	Aluminio (Al)	4	1400.72	2651.35	2133.7825	525.57681
	Arsenico (As)	4	.05	1.00	.2875	.47500
	Bario (Ba)	4	35.96	49.91	41.9600	7.09469
	Calcio (Ca)	4	38684.53	53489.30	46111.3075	6072.40909
	Cadmio (Cd)	4	1.00	3.99	2.7475	1.25500
	Cobalto (Co)	4	15.98	18.00	17.2350	.95925
	Cromo (Cr)	4	2.99	4.00	3.2475	.50169
	Cobre (Cu)	4	30.97	35.99	32.9725	2.17422
	Hierro (Fe)	4	2400.68	2870.13	2644.8050	192.36349
	Fósforo (P)	4	3795.17	10249.75	8264.7975	3002.39105
	Potasio (K)	4	11995.20	18196.36	15911.1525	2703.54582
	Magnesio (Mg)	4	5297.88	10197.96	7468.9475	2027.95493
	Manganeso (Mn)	4	248.75	369.34	313.2250	50.06674
	Molibdeno (Mo)	4	2.00	3.00	2.5000	.57735
	Sodio (Na)	4	4255.74	6188.86	4960.4400	849.03074
	Niquel (Ni)	4	.05	.05	.0500	.00000
	Plomo (Pb)	4	18.98	21.00	19.9825	.82480
	Estroncio (Sr)	4	95.90	133.97	115.6550	15.70560
	Zinc(Zn)	4	88.84	107.98	95.9225	8.41767
	N válido (por lista)	4				
T1	pH	4	8.5	9.9	9.275	.6449
	Conductividad Electrica	4	1125	1392	1250.75	113.465
	Materia Orgánica	4	40.5	50.2	44.725	4.4769
	Nitrógeno	4	1872.00	2628.00	2167.0000	338.90707
	Aluminio (Al)	4	1640.02	3964.04	2638.7700	967.59419
	Arsenico (As)	4	.05	1.00	.7625	.47500
	Bario (Ba)	4	36.93	57.97	45.4575	9.33651
	Calcio (Ca)	4	35378.77	53546.45	45279.5400	7861.13265
	Cadmio (Cd)	4	.05	1.00	.7625	.47500
	Cobalto (Co)	4	15.97	17.98	16.9825	.82062
	Cromo (Cr)	4	3.00	7.00	4.4975	1.73302
	Cobre (Cu)	4	30.97	36.98	33.2175	2.63414
	Hierro (Fe)	4	2065.76	5294.71	3481.1925	1343.09905
	Fósforo (P)	4	5884.12	8195.25	6742.9075	1011.25574
	Potasio (K)	4	12692.38	19888.07	16084.2600	3133.80677
	Magnesio (Mg)	4	6096.34	9190.81	7317.7125	1358.74713
	Manganeso (Mn)	4	282.49	329.67	310.4450	20.17580
	Molibdeno (Mo)	4	.05	4.00	2.2600	1.68446
	Sodio (Na)	4	5096.94	7395.56	6144.0475	1127.34305

	Niquel (Ni)	4	.05	.05	.0500	.00000
	Plomo (Pb)	4	12.98	19.99	17.4850	3.11235
	Estroncio (Sr)	4	105.81	116.93	112.6400	4.83734
	Zinc(Zn)	4	81.85	115.93	92.1625	16.06664
	N válido (por lista)	4				
T2	pH	4	8.5	9.5	9.075	.4349
	Conductividad Electrica	4	972	1235	1139.25	116.554
	Materia Orgánica	4	41.4	47.9	44.525	2.7573
	Nitrógeno	4	2021.00	2532.00	2338.0000	231.16372
	Aluminio (Al)	4	1746.25	2942.29	2197.4675	556.11698
	Arsenico (As)	4	1.00	1.00	1.0000	.00000
	Bario (Ba)	4	33.00	53.91	42.9675	9.02488
	Calcio (Ca)	4	38646.09	55944.06	48252.4100	7205.06563
	Cadmio (Cd)	4	.05	1.50	.8875	.60605
	Cobalto (Co)	4	16.50	17.00	16.8625	.24199
	Cromo (Cr)	4	3.00	4.50	3.6225	.74835
	Cobre (Cu)	4	31.50	33.97	32.3550	1.09989
	Hierro (Fe)	4	2295.70	3889.78	2779.1850	754.83685
	Fósforo (P)	4	4992.01	6573.43	5864.9675	756.11922
	Potasio (K)	4	12198.70	17382.62	16013.3800	2546.48362
	Magnesio (Mg)	4	5499.40	9890.11	7843.9025	1887.57196
	Manganeso (Mn)	4	237.48	411.34	321.2525	71.16258
	Molibdeno (Mo)	4	1.00	3.00	2.2500	.95743
	Sodio (Na)	4	4849.49	7450.00	6295.6650	1081.70094
	Niquel (Ni)	4	.05	.05	.0500	.00000
	Plomo (Pb)	4	11.00	14.98	12.9925	1.62484
	Estroncio (Sr)	4	91.49	122.80	112.2925	14.10121
	Zinc(Zn)	4	68.00	96.90	79.8200	12.18558
	N válido (por lista)	4				

Apéndice 10. Pruebas de normalidad de los datos

	Tratamiento	Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	T0	.250	4	.	.908	4	.472
	T1	.245	4	.	.933	4	.610
	T2	.198	4	.	.958	4	.764
Conductividad Electrica	T0	.370	4	.	.808	4	.117
	T1	.153	4	.	.993	4	.971
	T2	.294	4	.	.871	4	.301
Materia Orgánica	T0	.214	4	.	.979	4	.898
	T1	.250	4	.	.927	4	.576
	T2	.145	4	.	.996	4	.987
Nitrógeno	T0	.254	4	.	.910	4	.484
	T1	.230	4	.	.914	4	.503
	T2	.238	4	.	.899	4	.426
Aluminio (Al)	T0	.323	4	.	.899	4	.425
	T1	.306	4	.	.919	4	.531
	T2	.263	4	.	.884	4	.356
Arsenico (As)	T0	.441	4	.	.630	4	.001
	T1	.441	4	.	.630	4	.001
	T2	.	4	.	.	4	.
Bario (Ba)	T0	.300	4	.	.838	4	.190
	T1	.221	4	.	.933	4	.612
	T2	.171	4	.	.989	4	.950
Calcio (Ca)	T0	.205	4	.	.980	4	.904
	T1	.185	4	.	.979	4	.899
	T2	.242	4	.	.965	4	.809
Cadmio (Cd)	T0	.330	4	.	.894	4	.400
	T1	.441	4	.	.630	4	.001
	T2	.324	4	.	.901	4	.437
Cobalto (Co)	T0	.278	4	.	.872	4	.305
	T1	.254	4	.	.945	4	.682
	T2	.422	4	.	.679	4	.006
Cromo (Cr)	T0	.439	4	.	.638	4	.002
	T1	.363	4	.	.840	4	.195
	T2	.297	4	.	.851	4	.229
Cobre (Cu)	T0	.247	4	.	.926	4	.574
	T1	.292	4	.	.884	4	.357
	T2	.377	4	.	.802	4	.105
Hierro (Fe)	T0	.238	4	.	.967	4	.826
	T1	.267	4	.	.949	4	.710
	T2	.335	4	.	.768	4	.056

Fósforo (P)	T0	.393	4	.	.743	4	.033
	T1	.308	4	.	.875	4	.317
	T2	.267	4	.	.900	4	.431
Potasio (K)	T0	.348	4	.	.847	4	.216
	T1	.185	4	.	.982	4	.915
	T2	.415	4	.	.669	4	.005
Magnesio (Mg)	T0	.285	4	.	.938	4	.642
	T1	.227	4	.	.923	4	.554
	T2	.172	4	.	.987	4	.942
Manganeso (Mn)	T0	.208	4	.	.984	4	.926
	T1	.257	4	.	.933	4	.613
	T2	.243	4	.	.963	4	.798
Molibdeno (Mo)	T0	.307	4	.	.729	4	.024
	T1	.189	4	.	.974	4	.866
	T2	.283	4	.	.863	4	.272
Sodio (Na)	T0	.326	4	.	.857	4	.251
	T1	.276	4	.	.878	4	.331
	T2	.249	4	.	.961	4	.784
Niquel (Ni)	T0	.	4	.	.	4	.
	T1	.	4	.	.	4	.
	T2	.	4	.	.	4	.
Plomo (Pb)	T0	.246	4	.	.951	4	.723
	T1	.314	4	.	.854	4	.240
	T2	.249	4	.	.946	4	.690
Estroncio (Sr)	T0	.203	4	.	.987	4	.940
	T1	.274	4	.	.904	4	.454
	T2	.381	4	.	.787	4	.081
Zinc(Zn)	T0	.296	4	.	.878	4	.330
	T1	.353	4	.	.760	4	.048
	T2	.325	4	.	.895	4	.406

a. Corrección de significación de Lilliefors

Apéndice 11. Pruebas ANOVA

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	.095	2	.048	.153	.860
	Dentro de grupos	2.795	9	.311		
	Total	2.890	11			
Materia Orgánica	Entre grupos	42.747	2	21.373	1.737	.230
	Dentro de grupos	110.722	9	12.302		
	Total	153.469	11			
Sodio (Na)	Entre grupos	4275653.841	2	2137826.921	2.028	.187
	Dentro de grupos	9485497.435	9	1053944.159		
	Total	13761151.276	11			
Niquel (Ni)	Entre grupos	.000	2	.000	.000	1.000
	Dentro de grupos	.000	9	.000		
	Total	.000	11			

Apéndice 12. Pruebas Post Hoc ANOVA

Comparaciones múltiples

Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	
H	HSD Tukey	T0	T1	-.1750	.3941	.898	-1.275
			T2	.0250	.3941	.998	-1.075
		T1	T0	.1750	.3941	.898	-.925
			T2	.2000	.3941	.870	-.900
		T2	T0	-.0250	.3941	.998	-1.125
			T1	-.2000	.3941	.870	-1.300
	Bonferroni	T0	T1	-.1750	.3941	1.000	-1.331
			T2	.0250	.3941	1.000	-1.131
		T1	T0	.1750	.3941	1.000	-.981
			T2	.2000	.3941	1.000	-.956
		T2	T0	-.0250	.3941	1.000	-1.181
			T1	-.2000	.3941	1.000	-1.356
Materia Orgánica	HSD Tukey	T0	T1	3.9000	2.4802	.305	-3.025
			T2	4.1000	2.4802	.274	-2.825
		T1	T0	-3.9000	2.4802	.305	-10.825
			T2	.2000	2.4802	.996	-6.725
		T2	T0	-4.1000	2.4802	.274	-11.025
			T1	-.2000	2.4802	.996	-7.125
	Bonferroni	T0	T1	3.9000	2.4802	.451	-3.375
			T2	4.1000	2.4802	.398	-3.175
		T1	T0	-3.9000	2.4802	.451	-11.175
			T2	.2000	2.4802	1.000	-7.075
		T2	T0	-4.1000	2.4802	.398	-11.375
			T1	-.2000	2.4802	1.000	-7.475
Sodio (Na)	HSD Tukey	T0	T1	1183.60750	725.92843	.283	-3210.4037
			T2	1335.22500	725.92843	.212	-3362.0212
		T1	T0	1183.60750	725.92843	.283	-843.1887
			T2	151.61750	725.92843	.976	-2178.4137

Niquel (Ni)	Bonferroni	T2	T0	1335.2250 0	725.92843	.212	-691.5712	
			T1	151.61750	725.92843	.976	-1875.1787	
		T0	T1	- 1183.6075 0	725.92843	.412	-3312.9908	
			T2	- 1335.2250 0	725.92843	.297	-3464.6083	
		T1	T0	1183.6075 0	725.92843	.412	-945.7758	
			T2	- 151.61750	725.92843	1.000	-2281.0008	
	T2	T0	1335.2250 0	725.92843	.297	-794.1583		
		T1	151.61750	725.92843	1.000	-1977.7658		
	Niquel (Ni)	HSD Tukey	T0	T1	.00000	.00000	1.000	.0000
				T2	.00000	.00000	1.000	.0000
			T1	T0	.00000	.00000	1.000	.0000
				T2	.00000	.00000	1.000	.0000
T2			T0	.00000	.00000	1.000	.0000	
			T1	.00000	.00000	1.000	.0000	
Bonferroni		T0	T1	.00000	.00000	1.000	.0000	
			T2	.00000	.00000	1.000	.0000	
		T1	T0	.00000	.00000	1.000	.0000	
			T2	.00000	.00000	1.000	.0000	
		T2	T0	.00000	.00000	1.000	.0000	
			T1	.00000	.00000	1.000	.0000	

Apéndice 12. Pruebas de Kruskal Wallis

Estadísticos de prueba^{a,c}

	Conductividad Electrica	Nitrógeno
N	12	12
Mediana	1211.00	2286.0000
Chi-cuadrado	2.000 ^b	2.000 ^b
gl	2	2
Sig. asin.	.368	.368
Sig. Monte Carlo Sig.	.768 ^c	.768 ^c
Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior .757	Límite inferior .757
	Límite superior .778	Límite superior .778

Estadísticos de prueba^{a,c}

	Aluminio (Al)	Arsenico (As)
N	12	12
Mediana	2276.9750	1.0000 ^d
Chi-cuadrado	2.000 ^b	
gl	2	
Sig. asin.	.368	
Sig. Monte Carlo Sig.	.768 ^c	
Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior .757	Límite inferior .757
	Límite superior .778	Límite superior .778

Estadísticos de prueba^{a,c}

	Bario (Ba)	Calcio (Ca)
N	12	12
Mediana	42.9800	47476.5750
Chi-cuadrado	.000 ^b	2.000 ^b
gl	2	2
Sig. asin.	1.000	.368
Sig. Monte Carlo Sig.	1.000 ^c	.768 ^c
Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior 1.000	Límite inferior .757
	Límite superior 1.000	Límite superior .778

Estadísticos de prueba^{a,c}

	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)
N	12	12
Mediana	1.0000	16.9900
Chi-cuadrado	5.250 ^f	.750 ^f
gl	2	2
Sig. asin.	.072	.687

Sig. Monte Carlo Sig.		.196 ^c	1.000 ^c	
	Intervalo de confianza al	Límite inferior	.185	1.000
	99%	Límite superior	.206	1.000

Estadísticos de prueba^{a,e}

	Cromo (Cr)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)		
N	12	12	12		
Mediana	3.4950	31.9900	2654.2050		
Chi-cuadrado	2.000 ^b	.000 ^b	2.000 ^b		
gl	2	2	2		
Sig. asin.	.368	1.000	.368		
Sig. Monte Carlo Sig.	.768 ^c	1.000 ^c	.768 ^c		
	Intervalo de confianza al	Límite inferior	.757	1.000	.757
	99%	Límite superior	.778	1.000	.778

Estadísticos de prueba^{a,e}

	Fósforo (P)	Potasio (K)		
N	12	12		
Mediana	6494.2150	16984.8150		
Chi-cuadrado	2.000 ^b	2.000 ^b		
gl	2	2		
Sig. asin.	.368	.368		
Sig. Monte Carlo Sig.	.768 ^c	.768 ^c		
	Intervalo de confianza al	Límite inferior	.757	.757
	99%	Límite superior	.778	.778

Estadísticos de prueba^{a,e}

	Magnesio (Mg)	Manganeso (Mn)		
N	12	12		
Mediana	7296.3550	316.2500		
Chi-cuadrado	2.000 ^b	.000 ^b		
gl	2	2		
Sig. asin.	.368	1.000		
Sig. Monte Carlo Sig.	.768 ^c	1.000 ^c		
	Intervalo de confianza al	Límite inferior	.757	1.000
	99%	Límite superior	.778	1.000

Estadísticos de prueba^{a,e}

	Molibdeno (Mo)	Plomo (Pb)
N	12	12
Mediana	2.4950	18.4850
Chi-cuadrado	.000 ^b	8.000 ^b
gl	2	2
Sig. asin.	1.000	.018
Sig. Monte Carlo Sig.	1.000 ^c	.039 ^c
Intervalo de confianza al Límite inferior	1.000	.034
99% Límite superior	1.000	.044

Estadísticos de prueba^{a,e}

	Estroncio (Sr)	Zinc(Zn)
N	12	12
Mediana	115.9100	88.3950
Chi-cuadrado	2.000 ^b	6.000 ^b
gl	2	2
Sig. asin.	.368	.050
Sig. Monte Carlo Sig.	.768 ^c	.141 ^c
Intervalo de confianza al Límite inferior	.757	.132
99% Límite superior	.778	.149