

Estudio comparativo de la efectividad de microorganismos eficaces y un inóculo propio en el proceso de compostaje colectivo de animales de compañía en La Calera (Colombia)*

Adriana María Chaparro Africano^a ■ Brakny Felipe Quintero Sepúlveda^b
■ William Eduardo Pulido Talero^c

Recibido: 09/06/2026 | **Aceptado:** 22/07/2026

Cómo citar: A. M. Chaparro Africano, B. F. Quintero Sepúlveda y W. E. Pulido Talero, "Estudio comparativo de la efectividad de microorganismos eficaces y un inóculo propio en el proceso de compostaje colectivo de animales de compañía en La Calera (Colombia)", *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 20, n.º 2, 8622, 2026. <https://doi.org/10.18359/rfcb.8622>

Resumen: En Bogotá se prestan servicios funerarios para animales de compañía desde hace 22 años, y una sola de las organizaciones funerarias tiene un promedio de treinta servicios por día. Tradicionalmente, se ha empleado el enterramiento y la incineración como métodos de disposición de cadáveres, pero debido a sus costos y riesgos sanitarios y ambientales, el compostaje ha sido cada vez más empleado. El objetivo de este estudio, del que no se encuentran otros reportes, fue comparar la efectividad de microorganismos eficaces (ME) frente a un inóculo propio (IP) y un Control (C), en el proceso de compostaje colectivo de animales de compañía en La Calera (Colombia). Durante dos meses del 2024 se hizo un experimento con dos tratamientos: ME, IP y un Control (C) sin inóculo, cada uno con dos réplicas y una mezcla de 750 kg de cadáveres, 100 kg de gallinaza, 600 kg de cascarilla para una relación C/N de 30, así como 1500 L de agua y 40 L de bioinóculo. No se identificaron diferencias significativas en temperatura, humedad relativa y pH, ni en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los dos tratamientos y el control del compostaje a los 58 días, pero sí hubo una diferencia significativa en la degradación de los cadáveres, que fue superior en el IP. El compostaje con el IP presentó resultados superiores frente al compostaje con ME, y este tiene resultados superiores en relación con el compostaje sin inóculos microbianos en diferentes variables, aunque estos no son concluyentes.

Palabras clave: carbono oxidable total; compostaje de carcasas; compostaje de mortalidad; residuos sólidos orgánicos.

* Artículo de investigación.

a Doctora en Agroecología, Universidad de Córdoba (España). Profesora titular de la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto), Colombia. Correo electrónico: achaparro@uniminuto.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9124-3005>

b Ingeniero en Agroecología de la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto), Colombia. Correo electrónico: brakny.quintero@uniminuto.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6630-3825>

c Doctor en Educación, Universidad Autónoma de Barcelona (España). Profesor de la Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Correo electrónico: william.pulido@unimilitar.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4813-8087>

Comparative Study of the Effectiveness of Effective Microorganisms and a Custom Inoculum in the Collective Composting of Companion Animals in La Calera, Colombia

Abstract: In Bogotá, funeral services for pets have been provided for 22 years; a single organization has an average of 30 services per day. Traditionally, burial and incineration have been used as methods of disposal of corpses, but due to its costs and health and environmental risks, composting has been increasingly used. The objective of this study, of which no other reports are found, was to compare the effectiveness of Efficient Microorganisms (EM) against an own inoculum (IP), and a Control (C), in the collective composting process of companion animals, in La Calera, Colombia. For two months of 2024, an experiment was carried out with two treatments: ME, IP and a Control (C) without inoculum, each with two replicates and a mixture of 750 kg of carcasses, 100 kg of chicken manure and 600 kg of husk, for a C/N ratio of 30, along with 1,500 L of water and 40 L of bio-inoculum. No significant differences were identified in temperature, relative humidity and pH, or in the results of the physicochemical and microbiological analyses of the two treatments and the composting control. at 58 days, but there is a significant difference in the degradation of the corpses, being higher in PI. Composting with IP presents superior results compared to composting with ME, and this compared to composting without microbial inoculums in different variables, although the findings are not conclusive.

Keywords: carcass composting; mortality composting; organic solid waste; total oxidizable carbon.

Estudo comparativo da eficácia de microrganismos eficientes e de um inóculo próprio no processo de compostagem coletiva de animais de companhia em La Calera (Colombia)

Resumo: Em Bogotá, serviços funerários para animais de companhia são prestados há 22 anos, e uma única organização funerária realiza em média trinta serviços por dia. Tradicionalmente, o enteramento e a incineração têm sido empregados como métodos de disposição de cadáveres; no entanto, devido aos seus custos e aos riscos sanitários e ambientais que apresentam, a compostagem tem sido cada vez mais utilizada. O objetivo deste estudo — sobre o qual não foram encontrados outros relatos na literatura — foi comparar a eficácia de Microrganismos Eficientes (ME) em relação a um inóculo próprio (IP) e a um Controle (C), no processo de compostagem coletiva de animais de companhia em La Calera, Colômbia. Durante dois meses de 2024, realizou-se um experimento com dois tratamentos: ME, IP e um Controle (C) sem inóculo, cada um com duas réplicas e uma mistura de 750 kg de carcaças, 100 kg de esterco de galinha e 600 kg de casca de arroz, para uma relação C/N de 30, juntamente com 1.500 L de água e 40 L de bioinóculo. Não foram identificadas diferenças significativas na temperatura, na umidade relativa e no pH, nem nos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas dos dois tratamentos e do controle de compostagem aos 58 dias; contudo, verificou-se diferença significativa na degradação das carcaças, que foi superior no tratamento com IP. A compostagem com IP apresentou resultados superiores em comparação à compostagem com ME, e esta, por sua vez, apresentou resultados superiores em relação à compostagem sem inóculos microbianos em diferentes variáveis, embora os achados não sejam conclusivos.

Palavras-chave: carbono oxidável total; compostagem de carcaças; compostagem de mortalidade; resíduos sólidos orgânicos.

Introducción

Para 2023 había un número significativo de animales de producción y compañía en el mundo, que alcanzaban un inventario de 1575,8 millones de bovinos [1], 27,22 billones de pollos [2] y 844 millones de perros y gatos [3]. En lo local, entre el 2023 y el 2024, el 57 % de los hogares colombianos tenía un animal de compañía.

Esta práctica fue más frecuente en Bogotá (65 %), Cali y Medellín (54 %), y los perros fueron los preferidos (71 %), seguidos por los gatos (51 %) [4]. Este incremento en el número de animales de compañía ha generado un impacto considerable en el mercado de bienes y servicios, y en el 2024 se calcularon gastos por más de 4,5 millones de pesos por animal [4].

Una sola empresa reporta un promedio de 30 servicios funerarios por día para animales de compañía [5]. Este incremento en el número de individuos por especie de animales domésticos también representa un reto para su disposición, sea de cadáveres completos o de partes de ellos. Los métodos de disposición de cadáveres han incluido tradicionalmente el enterramiento y la incineración. El entierro es uno de los métodos más practicados para contener los patógenos y garantizar su inactivación, aunque existen riesgos como la migración de patógenos, antibióticos y otras sustancias químicas al ambiente [6].

Por estos riesgos, la incineración se ha vuelto popular; sin embargo, el consumo de combustibles y la emisión de contaminantes es importante: se reportan 35 contaminantes en el proceso, que incluyen CO₂ (2,947 lb/t), NO_x (3,56 lb/t), PM₁₀ (3,036 lb/t), PM 2,5 (2,022 lb/t) y SO₂ (2,173 lb/t) [7]. En este sentido, el compostaje de residuos sólidos cárnicos o de cadáveres de animales ha sido una alternativa exitosa cuando se aseguran los procesos apropiados [8].

Los primeros registros de compostaje de mortalidad son de inicios de los años ochenta, y al parecer se efectuó primero en aves y luego se adaptó a otras especies animales [9]. Actualmente es una opción para producciones animales industrializadas, servicios funerarios para mascotas, clínicas veterinarias, plantas de beneficio y carnicerías

[10]. Incluso, agencias de bioseguridad en Estados Unidos, Canadá, Australia y Nueva Zelanda consideran al compostaje como el método preferido de disposición de mortalidades en casos de rutina y de emergencia [11].

El compostaje es un proceso en el que se descomponen diversos materiales gracias a la actividad de microorganismos como actinomicetos, bacterias, hongos, algas y protozoos. Debe realizarse en determinadas condiciones: materiales ricos en carbono, fuente de energía para los microorganismos, y ricos en nitrógeno, que forma más del 50 % de la masa celular bacteriana seca (relación C/N 20-40, idealmente 30), una humedad entre 40-60 %, un pH neutro o entre 5,5 a 8,5, oxígeno no menor al 5 % y temperaturas en el rango de 43,3 °C y 65,6 °C [12]. Estos microorganismos benéficos para el compostaje se encuentran naturalmente en muchos materiales orgánicos, sin embargo, también se pueden inocular mediante la adición de compost terminado fresco (hasta el 10 %) y microorganismos específicos o preparados biodinámicos [12], entre otros. La diversidad microbiana es importante en la descomposición de los materiales, pero también en el control de patógenos por el efecto de competencia, y por el aumento de temperatura resultado de la actividad microbiana. Los patógenos que se desean eliminar o inactivar incluyen bacterias, virus, hongos y protozoos.

Los microorganismos que se adicionan al compostaje se denominan bioinoculantes y están presentes en muchos ecosistemas. Algunos bioinoculantes incluyen bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*, y algunos hongos como *Aspergillus* sp. y *Talaromyces* sp., entre otros, que aceleran la descomposición de diferentes residuos orgánicos [13]. Dentro de estos binóculos están los microorganismos eficaces (ME), mezcla originada en los años sesenta gracias a las investigaciones del doctor Teruo Higa, en la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus, en Okinawa (Japón), quien realizó pruebas con más de 2000 especies de microorganismos e identificó 80 con efectos benéficos y múltiples como la estimulación del crecimiento de las plantas, el tratamiento de aguas negras, la reducción de malos olores y la

descomposición de residuos orgánicos, entre otros [14].

Los ME incluyen bacterias ácido-lácticas como *Lactobacillus* spp., con efecto antagonico frente a agentes fitopatogénos del suelo gracias a la reducción del pH y a la producción de péptidos con actividad antimicrobiana. Incluyen bacterias fotosintéticas como *Rhodospseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides* que pueden fijar nitrógeno. Incluyen levaduras como *Saccharomyces* spp., que pueden sintetizar sustancias antimicrobianas y etanol de acción antifúngica.

También hay actinomicetos, bacterias filamentosas que solubilizan la pared celular de plantas, insectos y hongos. El género *Streptomyces* inhibe hongos patógenos como: *Fusarium oxysporum* Schltdl, *Sclerotinia minor* Jagger y *Sclerotium rolfsii* Sacc.

Finalmente están los hongos fermentadores que aportan a la mineralización de carbono orgánico del suelo y pueden ser antagonistas de fitopatogénos; las principales especies son: *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Aspergillus oryzae* (Ahlburg) Cohn y *Mucor hiemalis* Wehmer, *Penicillium* sp. degrada ligninas y celulosa y *Trichoderma* sp. descompone la materia orgánica [14]. A los ME les atribuyen beneficios en el compostaje que incluyen: la fijación de nitrógeno atmosférico, la descomposición de materia orgánica, el antagonismo de fitopatogénos del suelo, la solubilización y el aumento de disponibilidad de nutrientes, la degradación de agentes tóxicos como los pesticidas y la limitación de la absorción de metales pesados por las plantas [14].

En el mundo, otros microorganismos y consorcios de microorganismos comerciales y no comerciales también son empleados comúnmente para optimizar el proceso de compostaje acelerando la descomposición de la materia orgánica, su mineralización y la acción de las enzimas microbianas, lo que repercute además en la calidad del producto final [15]. En este contexto, el objetivo de la investigación fue comparar la efectividad de ME frente a un inóculo propio (IP), en el proceso de compostaje colectivo de animales de compañía de una empresa de servicios funerarios, en el municipio de La Calera, Colombia.

La hipótesis planteada fue: el tratamiento con IP mejora el proceso de compostaje frente al tratamiento con ME y estos dos mejoran el proceso frente al control. Este estudio es novedoso frente a la literatura identificada, pues la evaluación de inóculos microbianos en el compostaje se ha realizado en animales de producción, no de compañía, y en Colombia no se reportan estudios equivalentes.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación mixta, aplicada y de tipo experimental durante el 2024, en la sede de una empresa que presta servicios funerarios para animales de compañía en donde funciona su cementerio y se realiza el compostaje colectivo e individual, en el municipio de La Calera, Cundinamarca, a una altura de 2718 m s. n. m., temperatura máxima promedio de 15 °C y mínima promedio de 5 °C, y humedad relativa promedio de 70 %-80 %.

Proceso de compostaje colectivo

El compostaje colectivo difiere del individual en que se procesan varios cadáveres simultáneamente. El compostaje incluye ocho pilas limitadas por tablas, paralelas entre ellas en grupos de cuatro pilas (figura 1), en un área cubierta, con superficie de tierra compactada. Cada pila de compostaje colectivo mide 1,2 m de ancho, 13,5 m de largo, 0,4 m de alto (lateral) y 0,6 m de alto (en el centro), para un área total aproximada de 129,6 m² por pila.

La figura 1 presenta la distribución de las pilas de compostaje y la infraestructura en que se desarrolló la investigación. El proceso de compostaje comienza con una primera capa en la primera pila, el jueves de la semana 1, que corresponde a compostaje reutilizado de capas anteriores, con una altura aproximada de 40 cm; luego se adicionan en el centro los cadáveres de animales de compañía que se han almacenado durante los ocho días previos en refrigeración, con una separación máxima de 10 cm entre ellos y de las tablas, y una altura de 10 cm, aproximadamente; en seguida se adiciona la mezcla de cascarilla de arroz y gallinaza, el agua y el inóculo de microorganismos.

El siguiente jueves se hace el mismo proceso en la pila dos y así sucesivamente hasta llegar a la pila



Figura 1. Pilas del compostaje de mortalidad ubicadas en La Calera

ocho en la semana ocho. Dos de las ocho pilas disponibles del compostaje colectivo no se incluyeron en el experimento para no afectar la operación de la empresa funeraria. En la semana nueve se comienza una segunda capa en la pila uno, de manera que cada pila recibe una nueva capa de materiales cada semana durante seis semanas hasta completar seis capas con los mismos materiales. El compost obtenido tras dos meses se recolecta y es tamizado para retirar partes de los cadáveres no compostados (huesos, piel) que se incineran, mientras lo demás es almacenado en costales.

Fase 1. Montaje de tratamientos

El diseño fue completamente al azar y se incluyeron seis de ocho pilas de compostaje disponibles para no afectar la operación de la empresa de servicios funerarios. En cada pila se dejaron dos capas de compostaje de ciclos anteriores, por lo que los tratamientos correspondieron a la tercera capa de compostaje. Cada tratamiento comenzó con una semana de diferencia y su compostaje tardó ocho semanas. Los tratamientos fueron:

- **Tratamiento 1:** ME 1 L/30 L de agua y 40 L/750 kg de cadáveres, réplicas ME1 y ME2. Los ME contienen: *Lactobacillus casei* $1,0 \times 10^6$ UFC (unidades formadoras de colonia)/ml, *Saccharomyces cerevisiae* $2,0 \times 10^4$ UFC/ml y *Rhodopseudomonas palustris* $2,5 \times 10^6$ UFC/ml [16].

Los ME son reconocidos por su rol en la aceleración de la descomposición de materia orgánica, la supresión de patógenos y la mejora de la calidad del compost. La premisa de su inclusión en el experimento es contrastar su efecto en el proceso de compostaje frente al de tratamiento IP y al control.

- **Tratamiento 2:** IP 1 L/30 L de agua y 40 L/750 kg de cadáveres, réplicas IP1 e IP2. Este inóculo se prepara en una caneca plástica con 100 L de agua, 2 kg de melaza, 500 g de levadura, 250 ml de leche, yogurt o kumis y restos de huesos del compost terminado; la mezcla se deja fermentar durante una semana agitando diariamente y tapando la caneca con polisombra, según se presenta en la figura 2. Este inóculo aún no ha sido caracterizado microbiológicamente.

La figura 2 presenta la producción del IP para el compostaje en La Calera. La premisa de inclusión del IP en el experimento es la evaluación comparativa de un insumo local, innovador y multiplicado artesanalmente por la empresa de servicios funerarios, que puede estar más adaptado a las condiciones ambientales, al material



Figura 2. Producción del inóculo propio en La Calera

compostado y a las prácticas de manejo de la empresa, y, por tanto, puede ser potencialmente más eficiente que los ME.

- **Control (C):** sin aplicación de inóculo, réplicas C1 y C2.

La inclusión de este control con dos réplicas tiene como propósito contrastar las diferencias en el compostaje entre pilas con y sin adición de inóculos microbianos, para determinar si estos últimos son realmente necesarios en este caso particular: materiales compostados, proceso de compostaje y condiciones ambientales. Debido al área y número de pilas disponibles, solo fue posible realizar dos réplicas para cada tratamiento y para el control, lo cual también fue requerido para no afectar la operación de la empresa.

Manejo de las pilas de compostaje

- **Materiales:** la mezcla representa una relación C/N de 30, según se presenta en la tabla 1, que difiere de la relación 19 a 22,7 que fue reportada en una caracterización previa de este compostaje [17], pues gracias a ese análisis previo pudo ser corregida para este experimento, así como también se redujo en 200 L el volumen de agua adicionada al pasar a 1500 L y 40 L del inóculo de microorganismos (sin diluir).

La tabla 1 presenta los materiales, las cantidades y sus proporciones, así como la relación carbono/nitrógeno (C/N) del compostaje colectivo evaluado en el experimento.

- **Riego:** la frecuencia dependió de la humedad y temperatura.
- **Aireación:** durante la fase termófila, sin superar 10 minutos por vez en la semana 2.

- **Volteo:** manualmente una sola vez en la fase mesófila 1 (semana 4), incluida la aplicación del inóculo a razón de 25 L/ME o de 25 L/IP, según el tratamiento.

Fase 2. Seguimiento y medición de parámetros

El seguimiento incluyó el registro de:

- **Temperatura (°C):** se midió con un termómetro analógico, cuatro veces por semana, en cuatro puntos a lo largo de cada pila y a dos profundidades: en el centro vertical de la pila y a 10-15 cm verticales de la superficie.
- **Humedad relativa (HR%):** se midió con el higrómetro Reotemp, cuatro veces por semana, en los mismos puntos que la temperatura.
- **pH:** se midió con un pHmetro digital, cuatro veces por semana, en los mismos puntos que temperatura y humedad.
- **Olores, insectos y lixiviados:** fueron registrados cuando se presentaron.

Análisis fisicoquímico y microbiológico

Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la Fundación para el Desarrollo Agroecológico, Social y Económico Sostenible Minuto de Dios (FUNDASES) a los 58 días de cada pila, entre las semanas 8 y 13 del experimento. El compost de las muestras no era madurado, pues ese proceso se hace en una única pila durante un plazo de 1,5 meses y allí no era posible tomar las muestras porque se mezcla el compost de todas las pilas para que finalice su proceso.

La muestra para los análisis fisicoquímico y microbiológico se tomó juntando muestras de

Tabla 1. Relación carbono/nitrógeno del compostaje colectivo

	Material 1	Material 2	Material 3	Material 4	Subtotal (kg)
Nombre de material	Cadáveres	Cascarilla	Gallinaza	Compostaje reutilizado	
Cantidad (kg)	750	600	100		1450
Relación C/N	5 [12]	66 [12]	7 [12]	6 [15]	NA
Porcentaje en peso (%)	52	41	7	No se suma, es la base de la pila	100
Relación C/N proporcional	2,6	27,3	0,48		30,4

compostaje de la parte superior, media e inferior de cada pila, repetidas en tres puntos diferentes a lo largo de cada pila (extremo, centro, extremo) en un balde, en donde se mezcló bien, y se tomó un kilogramo que se dispuso en una bolsa ziploc nueva y se entregó al laboratorio el mismo día.

Los métodos del análisis fisicoquímico reportados por FUNDASES son los presentados a continuación. Azufre: NTC 5167/Turbidímetro. Boro: NTC 5167/SM 3111B-Absorción atómica. Calcio: NTC 5167/SM 3111D-Absorción atómica. Capacidad de intercambio catiónico: NTC 5167/Volumétrico. Capacidad de retención de humedad: NTC 5167/Volumétrico. Carbono oxidable total: NTC 5403/Walkley-Black/Colorimétrico. Cenizas: NTC 5167/Gravimétrico. Cobre: NTC 5167/SM 3111B-Absorción atómica. Densidad: NTC 5167/Gravimétrico. Fósforo: NTC 5167/NTC 53050-Colorimétrico. Hierro: NTC 5167/SM 3111B-Absorción atómica. Humedad: NTC 5167/Gravimetría. Magnesio: NTC 5167/SM 3111B-Absorción atómica. Manganeso: NTC 5167/SM 3111B-Absorción atómica. Nitrógeno total: NTC 5167/Volumétrico Kjeldahl. Pérdidas por volatilización: NTC 5167/Gravimétrico. pH: NTC 5167/Potenciómetro. Potasio: NTC 5167/SM 3500 K-B-Absorción atómica.

Los métodos para la cuantificación de los microorganismos reportados por FUNDASES son los siguientes. *Actinomicetos*: método norma interna para la enumeración de actinomicetos, técnica RCP. *Bacterias fijadoras de nitrógeno*: método norma interna para la enumeración de bacterias

fijadoras de nitrógeno, técnica RCP. *Bacterias mesófilas aerobias*: método NTC 4519:2009, técnica RCP. *Coliformes totales*: método NTC 4458:2007, técnica RCP. *Hongos (mohos filamentosos y levaduras)*: método norma interna para la enumeración de mohos y levaduras, técnica RCP. *Microorganismos solubilizadores de fosfato*: método norma interna para la enumeración de microorganismos solubilizadores de fosfato, técnica RCP. *pH*: método NTC 5264, técnica POT.

Análisis de resultados

Los resultados de temperatura, humedad relativa y pH, así como los de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, y la descomposición de los cadáveres a los 58 días fueron analizados mediante el programa Jamovi para identificar diferencias mediante el análisis multivariado de covarianza (Mancova), a partir de un valor de $p < 0,05$. También se aplicó la matriz de correlaciones para los datos de temperatura y descomposición de cadáveres.

Resultados

La tabla 2 presenta las medias y desviaciones estándar de los tratamientos IP, ME y C, y sus réplicas 1 y 2, para los parámetros de humedad relativa (HR %), temperatura (°C) y pH.

La tabla 2 presenta las medias y desviación estándar de los parámetros evaluados (humedad relativa, temperatura y pH) en las pilas de compostaje

Tabla 2. Medias y desviación estándar de humedad relativa, temperatura y pH para tratamientos y réplicas

	Tratamiento					
	IP1	IP2	ME1	ME2	C1	C2
Media (HR%)	46,55	54,31	48,43	51,24	51,6	49,92
Desviación estándar (HR%)	10,33	7,82	7,82	6,24	9,32	8,62
Media (T °C)	56,00	57,51	56,38	54,54	55,15	53,96
Desviación estándar (T °C)	10,18	10,70	9,39	7,71	9,80	8,73
Media (pH)	4,55	4,60	4,73	4,67	4,89	4,65
Desviación estándar (pH)	0,71	0,80	0,88	0,71	0,67	0,75

de cada tratamiento, su réplica y el control, para los 58 días de mediciones. La tabla 3 muestra un Mancova en el cual no se identifican diferencias significativas en humedades relativas, temperaturas y pH entre tratamientos y entre estos y el control. Todos los valores de p son superiores a 0,05.

La tabla 3 presenta el Mancova de las variables dependientes entre los dos tratamientos y el control. También se identificaron olores durante los primeros siete días y durante el volteo, insectos durante el volteo y lixiviados en los picos de humedad.

Tabla 3. Análisis Mancova para los parámetros evaluados (humedad relativa, temperatura y pH) por tratamiento y grupo control

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	0,0283	0,503	6	212	0,803
	Lambda de Wilks	0,972	0,504	6	210	0,805
	Traza de Hotelling	0,0289	0,501	6	208	0,807
	Raíz mayor de Roy	0,0253	0,894	3	106	0,447
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Temperatura	57,132	2	28,566	0,379	0,686
	Humedad relativa	42,857	2	21,428	0,383	0,683
	pH	0,699	2	0,350	0,951	0,390
Residuos	Temperatura	8080,302	107	75,423		
	Humedad relativa	5983,084	107	55,917		
	pH	39,353	107	0,368		

- *Análisis fisicoquímico:* en la tabla 4 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico.

Tabla 4. Resultados análisis fisicoquímico de tratamientos IP, ME y C [16]

Variables	IP1	IP2	ME 1	ME2	C1	C2	Referencia
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	22,5	51,51	92,7	80,48	43,87	80,3	Mínimo 30
Capacidad de retención de humedad (%)	163	154,1	180,4	147,5	163,3	140,8	Mínimo 100
Carbono orgánico oxidable total (%)	24,6	18,4	13,6	16,7	14,3	16,04	Mayor o igual que 15
Cenizas (%)	20,4	20	43,2	18,6	20,2	18,4	Máximo 60
Densidad (g/cm ³)	0,15	0,14	0,13	0,14	0,12	0,14	Máximo 0,6
Humedad (%)	9,53	5,56	7,86	7,09	5,06	6,57	Máximo 20
Nitrógeno total (%)	1,51	3,24	1,58	1,37	1,77	1,24	NA
Fósforo total (P ₂ O ₅) (%)	0,55	0,013	0,52	0,011	0,012	0,012	NA
Potasio total (%)	0,53	0,55	1,21	0,44	0,42	0,35	NA
pH	7,74	7,16	7,27	7,29	7,25	7,25	Mayor que 4 y menor que 9
Relación C/N	16,3	5,68	8,61	12,19	8,08	12,94	NA

La tabla 4 presenta los resultados del análisis fisicoquímico de los tratamientos, sus réplicas y el control. Las tablas 5, 6, 7 y 8 muestran los Mancova en los que no se identifican diferencias significativas entre los resultados de los análisis

fisicoquímicos, entre tratamientos, y entre estos y el control. La tabla 5 presenta el Mancova de la capacidad de intercambio catiónico, de retención de humedad y el carbono oxidable total para los dos tratamientos y el control.

Tabla 5. Análisis Mancova para la capacidad de intercambio catiónico, de retención de humedad y el carbono oxidable total de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	1,35	1,37	6	4	0,397
	Lambda de Wilks	0,103	0,705	6	2	0,687
	Traza de Hotelling	4,35	0,0	6	0	NaN
	Raíz mayor de Roy	2,78	1,86	3	2	0,369
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	2458,8	2	1229,39	3,182	0,181
	Capacidad de retención de humedad (%)	142,0	2	71,01	0,255	0,790
	Carbono orgánico oxidable total (%)	53,6	2	26,80	3,148	0,183
Residuos	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	1159,0	3	386,34		
	Capacidad de retención de humedad (%)	833,9	3	277,98		
	Carbono orgánico oxidable total (%)	25,5	3	8,51		

La tabla 6 describe el Mancova de cenizas, densidad y humedad de los tratamientos para los dos tratamientos y el control.

Tabla 6. Análisis Mancova para cenizas, densidad y humedad de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	0,876	0,520	6	4	0,774
	Lambda de Wilks	0,305	0,270	6	2	0,910
	Traza de Hotelling	1,68	0,00	6	0	NaN
	Raíz mayor de Roy	1,18	0,785	3	2	0,602
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Cenizas (%)	166,57	2	83,29	0,821	0,519
	Densidad (g/cm ³)	2,33e-4	2	1,17e-4	1,167	0,422
	Humedad (%)	3,84	2	1,92	0,618	0,596
Residuos	Cenizas (%)	304,28	3	101,43		
	Densidad (g/cm ³)	3,00e-4	3	1,00e-4		
	Humedad (%)	9,32	3	3,11		

La tabla 7 presenta el Mancova de nitrógeno, fósforo y potasio total de los tratamientos para los dos tratamientos y el control.

Tabla 7. Análisis Mancova para nitrógeno, fósforo y potasio total de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	1,35	1,39	6	4	0,391
	Lambda de Wilks	0,0131	2,58	6	2	0,305
	Traza de Hotelling	47,6	0,00	6	0	NaN
	Raíz mayor de Roy	47,0	31,3	3	2	0,031
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Nitrógeno total (%)	1,0452	2	0,5226	0,945	0,481
	Fósforo total (P ₂ O ₅) (%)	0,0914	2	0,0457	0,501	0,649
	Potasio total (%)	0,1992	2	0,0996	0,999	0,465
Residuos	Nitrógeno total (%)	1,6589	3	0,5530		
	Fósforo total (P ₂ O ₅) (%)	0,2737	3	0,0912		
	Potasio total (%)	0,2991	3	0,0997		

La tabla 8 presenta el Mancova de pH y relación C/N de los tratamientos para los dos tratamientos y el control.

Tabla 8. Análisis Mancova para pH y relación C/N de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	0,490	0,486	4	6	0,747
	Lambda de Wilks	0,511	0,399	4	4	0,802
	Traza de Hotelling	0,958	0,239	4	2	0,895
	Raíz mayor de Roy	0,957	1,44	2	3	0,365
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	pH	0,0465	2	0,0233	0,41449	0,694
	Relación C/N	0,3937	2	0,1969	0,00792	0,992
Residuos	pH	0,1684	3	0,0561		
	Relación C/N	74,6102	3	24,8701		

Análisis microbiológico: en la tabla 9 se muestran los resultados microbiológicos de los tratamientos, sus réplicas y el control.

Tabla 9. Resultados análisis microbiológico de tratamientos IP, ME y del control [16]

Variables	IP1	IP2	ME1	ME2	C1	C2
Actinomicetos	12 000	18 000	<1	63 000	18 000	9100
Bacterias fijadoras de nitrógeno	82 000	1 200 000	27 000	32 000 000	11 000 000	18 000
Bacterias mesófilas aerobias	27 000 000	270 000 000	27 000 000	37 000 000	270 000 000	1 600 000
Coliformes totales	1400	5300	14 000	800	13 000	14 000
Hongos (mohos filamentosos y levaduras)	14 000	100 000	14 000	33 000	51 000	720
Microorganismos solubilizadores de fosfato	<1	9000	91 000	18 000	<10	<1
pH	7,74	7,2	7,74	7,2	7,1	7,2

Nota: microorganismos en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g).

Por su parte, las tablas 10 y 11 muestran los Mancova en los cuales no se identifican diferencias significativas entre los resultados de los análisis microbiológicos entre tratamientos y entre estos y el control. La tabla 10 presenta el Mancova de actinomicetos, bacterias fijadoras de N y bacterias mesófilas aerobias de los tratamientos para los dos tratamientos y el control.

Tabla 10. Análisis Mancova para actinomicetos, bacterias fijadoras de N y bacterias mesófilas aerobias de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	1,00	0,673	6	4	0,684
	Lambda de Wilks	0,148	0,533	6	2	0,767
	Traza de Hotelling	4,73	0,00	6	0	NaN
	Raíz mayor de Roy	4,50	3,00	3	2	0,260
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Actinomicetos	3,98e + 8	2	1,99e + 8	0,292	0,766
	Bacterias fijadoras de nitrógeno	2,47e + 14	2	1,23e + 14	0,647	0,542
	Bacterias mesófilas aerobias	1,63e + 16	2	8,17e + 15	0,374	0,716
Residuos	Actinomicetos	2,04e + 9	3	6,81e + 8		
	Bacterias fijadoras de nitrógeno	5,72e + 14	3	1,91e + 14		
	Bacterias mesófilas aerobias	6,56e + 16	3	2,19e + 16		

La tabla 11 presenta el Mancova de coliformes totales, hongos y microorganismos solubilizadoras de fosfato de los tratamientos para los dos tratamientos y el control.

Tabla 11. Análisis Mancova para coliformes totales, hongos y microorganismos solubilizadoras de fosfato de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	1,42	1,63	6	4	0,332
	Lambda de Wilks	0,00404	4,91	6	2	0,179
	Traza de Hotelling	142	0,00	6	0	NaN
	Raíz mayor de Roy	141	94,0	3	2	0,011
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Coliformes totales	1,04e + 8	2	5,22e + 7	1,645	0,329
	Hongos (mohos filamentosos y levaduras)	1,40e + 9	2	6,99e + 8	0,408	0,697
	Microorganismos solubilizadoras de fosfato	3,66e + 9	2	1,83e + 9	2,030	0,277
Residuos	Coliformes totales	9,52e + 7	3	3,17e + 7		
	Hongos (mohos filamentosos y levaduras)	5,14e + 9	3	1,71e + 9		
	Microorganismos solubilizadoras de fosfato	2,70e + 9	3	9,02e + 8		

- *Descomposición general:* la tabla 12 muestra la descomposición de los cadáveres de animales de compañía por tratamiento, el control y sus réplicas.

Tabla 12. Descomposición general por tratamiento

Parámetro evaluado	IP	ME	C
Media temperatura	56,8 °C	55,5 °C	54,6 °C
Restos de cadáveres NO degradados	103 kg (13,7 % del peso inicial)	131 kg (17,46 % del peso inicial)	148 kg (19,73 % del peso inicial)

Por su parte, la tabla 13 expone los Mancova en los cuales no se identifican diferencias significativas entre los resultados de la descomposición, entre tratamientos y entre estos y el control.

Tabla 13. Análisis Mancova para restos de cadáveres y temperatura de los tratamientos IP, ME y C

Pruebas multivariadas						
		Valor	F	gl1	gl2	p
Tratamiento	Traza de Pillai	1,41	3,57	4	6	0,081
	Lambda de Wilks	0,0350	4,34	4	4	0,092
	Traza de Hotelling	14,9	3,72	4	2	0,223
	Raíz mayor de Roy	14,0	21,0	2	3	0,017
Pruebas univariadas						
	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	Restos de cadáveres	2065,33	2	1032,67	20,12	0,018
	Temperatura	7,00	2	3,50	2,10	0,269
Residuos	Restos de cadáveres	154,00	3	51,33		
	Temperatura	5,00	3	1,67		

La tabla 13 presenta el Mancova de restos de cadáveres y temperatura de los tratamientos para los dos tratamientos y el control.

Discusión

Los resultados de la tabla 2 muestran humedades relativas similares entre tratamientos y control, aunque mayores temperaturas en el tratamiento IP frente al ME y de estos dos frente al C, así como menores pH en IP frente a ME y de estos dos frente a C, a pesar de lo cual no se identificaron diferencias significativas en estos tres parámetros para los dos tratamientos y el control mediante el Mancova, en el cual todos los valores de *p* son superiores a 0,05, como se presenta en la tabla 3.

Los olores e insectos identificados se relacionan con la falta de oxigenación, debido a que solo se realizó un volteo y una aireación en todo el proceso de compostaje, lo cual se agravó cuando la humedad superó los rangos recomendados, y se notó que en algunos casos y momentos no quedaron bien tapados los cadáveres con la mezcla cascarilla y gallinaza.

Los dos tratamientos y el control tuvieron un comportamiento similar, aunque con importantes inestabilidades en los parámetros evaluados, especialmente humedad y temperatura, y con parámetros fuera de rango, en especial en el pH (ácido),

que se relacionan con la falta de estandarización del proceso de compostaje, ya que las cantidades de mezcla no se miden o pesan con rigor, lo que posiblemente determinó una relación C/N teórica más baja de lo establecido. Estos resultados también se deben a un exceso en la aplicación de agua al inicio y en otros momentos del proceso de compostaje, a un efecto poco eficaz de la aireación, y a que solo se realizó un volteo en todo el proceso. Estas particularidades del manejo también explican los olores, insectos y lixiviados.

Por estas mismas razones, algunos datos de HR (%), T y pH, y particularmente las medias de pH no están en los rangos recomendados por otros autores [12]: HR 40 % a 60 %, 43,3 °C a 65,6 °C, y 5,5 a 8,5-9 en pH. La HR por fuera de los rangos recomendados afecta la porosidad, y si la HR es alta se reduce la oxigenación del compostaje, la actividad microbiana y la temperatura, mientras que si la HR es baja se afecta la descomposición de la materia orgánica [18]. Por otro lado, las temperaturas altas, comunes en los resultados, se consideran un problema que debe atenderse con volteo o aireación eficaces [12], en este caso más frecuentes y homogéneos, para no afectar las poblaciones microbianas benéficas y al proceso de compostaje como un todo [19]. Finalmente, los pH son ácidos, lo que se relaciona con la presencia de olores en los primeros siete días y con el volteo, y se debe a la

volatilización de amonio y a la nitrificación microbiana, que produce a su vez grandes cantidades de CO_2 , y afecta el proceso de descomposición; estos pH ácidos también pueden deberse a una inadecuada relación C/N [18].

Todos los resultados fisicoquímicos de la tabla 4 están dentro de la norma NTC 5167 que aplica a abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelo, salvo dos muestras para carbono orgánico oxidable total y una muestra para capacidad de intercambio catiónico, aunque las diferencias respecto al valor de referencia no son grandes y no hay resultados concluyentes o tendencias entre tratamientos o en el control, por lo que las diferencias pueden deberse a que el manejo del compostaje no está del todo estandarizado, como ya se explicó.

La media de la relación C/N del compostaje para los tres tratamientos estuvo en 10,63, lo que determina una reducción de 2,82 veces frente a la relación inicial teórica (30), e indica una baja pérdida de carbono, aunque superior al trabajo reportado en bovinos de otros autores [20] en el que disminuyó mínimamente al pasar de 12 a 11, una reducción de energía atribuida a la dinámica actividad microbiana, la cual consume gran parte del carbono suministrado [10].

El Mancova de los resultados fisicoquímicos se realizó por separado con tres variables por vez, debido al número de variables dependientes analizadas (véanse las tablas 5 a 8). No se identificaron diferencias significativas en los resultados fisicoquímicos de los tratamientos y el control mediante el Mancova, y todos los valores de p son superiores a 0,05 en las pruebas multivariadas y univariadas, salvo para la raíz mayor de Roy en el Mancova de N, P y K, que arrojó un valor de $p = 0,031$, lo que podría indicar un efecto importante de los tratamientos en esta combinación de variables; sin embargo, ya que las demás pruebas multivariadas no fueron significativas, estos resultados no son concluyentes.

A pesar de esto, el tratamiento IP tiene valores superiores frente a ME y C en cinco variables: carbono orgánico oxidable total, nitrógeno, fósforo, pH y relación C/N; mientras ME es superior en cuatro variables: capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de humedad, cenizas

y potasio, y el C no es superior en ninguna variable, lo cual indica un beneficio por la adición de microorganismos al compostaje.

Según la tabla 5, ningún tratamiento, excepto ME2, cumple con el límite de UFC/g de la NTC 5167 para coliformes totales que debe ser <1000 , aunque los promedios de coliformes totales son más bajos para las muestras con inóculos microbianos: 3350 para IP, 7400 para ME frente a 13 500 para C, lo que sugiere una relación directa entre temperaturas más altas presentes en IP, y en segundo lugar en ME (véase la tabla 6), y una mayor higienización del compostaje, a pesar de lo cual no se cumple con la norma, lo que se puede deber a que la fase termófila no es consistente, posiblemente por un insuficiente volteo de las pilas y por variaciones importantes en la humedad. Estos resultados también sugieren un beneficio por la adición de microorganismos al compostaje, pero no son concluyentes.

Los resultados de coliformes fueron levemente más altos que los de un estudio con cadáveres de una clínica veterinaria compostados durante más de 150 días, que tuvieron 1122 UFC/g [21]. Otro estudio con cadáveres y materia fecal de cerdos, y astillas de madera en tres tratamientos y un control (T1 y T3 con inóculo microbiano, T2 y control sin inóculo bacteriano), presentó conteos de coliformes inferiores en los tratamientos frente al control a los 45 días, con rangos de <1 a 10 000 UFC/g en T1, 1,8 a 19 950 UFC/g en T2, 1,2 a 66 000 UFC/g en T3, y 14 125 a 33 900 UFC/g en el control, lo que evidencia un efecto positivo del inóculo, salvo por el T2 que tiene los segundos conteos más bajos sin haber recibido inóculo, aunque la diferencia puede deberse a que el control recibió volteo al día 30 únicamente, mientras los tratamientos lo recibían cada 15 días [22].

Los datos de los estudios demuestran que, aunque la adición de inóculo microbiano es importante, la estandarización del manejo del compostaje y, particularmente, el volteo, cobran mucha importancia para favorecer la mezcla y homogenización del material, mejorar la porosidad, oxigenar las pilas y regular la temperatura y humedad, lo cual a su vez determina el pH, el contenido total de nitrógeno, la relación C/N, la materia seca y el carbono

total del compost, aunque un volteo excesivo también puede afectar la degradación del material [18] y la emisión de gases.

El Mancova de los resultados microbiológicos también se realizó por separado con tres variables por vez, debido al número de variables dependientes analizadas (véanse tablas 10 y 11). No se identificaron diferencias significativas en los resultados microbiológicos entre los tratamientos y el control, y todos los valores p fueron superiores a 0,05 en las pruebas multivariadas y univariadas, salvo para la raíz mayor de Roy en el Mancova de coliformes totales, hongos y microorganismos solubilizadores de fosfatos, que arrojó un valor $p = 0,011$, lo que podría indicar un efecto importante de los tratamientos en esta combinación de variables; sin embargo, estos resultados no son concluyentes.

A pesar de esto, el tratamiento IP presenta datos superiores al ME y al control en cinco variables: la cantidad de actinomicetos, bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, hongos filamentosos y levaduras; mientras ME es superior a los demás en dos variables: bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadores de fosfato. El control no presenta datos superiores en ninguna variable, lo que indica un beneficio por la adición de microorganismos al compostaje.

En casi todas las muestras se identificaron microorganismos beneficiosos como *Mucor* sp. (todas las muestras salvo IP2 y C1), *Aspergillus* sp. (en IP2, ME1 y C2) y *Penicillium* sp. (IP2 y C2), que están relacionados con el reciclaje de materia orgánica y a la producción de sustancias biológicamente activas [18] que benefician los procesos de compostaje en términos sanitarios, económicos y ambientales.

No se identificaron microorganismos solubilizadores de fosfato en IP1 e IP2. Tampoco se identificaron microorganismos patógenos como *Fusarium* sp., *Pythium* sp. y *Botrytis* sp., salvo en IP2 que se identificó *Fusarium* sp.

Para los resultados de la tabla 12, que analiza la descomposición general de los cadáveres, se registró un valor de $p = 0,018$ en el Mancova (véase tabla 13) para la variable de restos no descompuestos y de 0,269 para la variable de temperatura en las pruebas univariadas, y valores p mayores que 0,05 en todas las pruebas multivariadas, salvo

la raíz mayor de Roy con un $p = 0,017$. En la matriz de correlaciones entre estas dos variables se identifica una correlación positiva entre restos no descompuestos y temperatura (a mayor temperatura, menos restos no descompuestos), aunque no son significativas con un $p = 0,257$ para Pearson y 0,096 para Spearman, lo cual deberá confirmarse con una muestra mayor en futuros estudios.

Este resultado se explica porque mientras entre C y ME hay una diferencia de 0,9°C, y entre ME e IP de 1,3°C, entre IP y control la diferencia es de 2,2°C, y como reportan otros autores [18], la temperatura está directamente relacionada con la degradación de los materiales compostados debido a su relación con la dinámica de los microorganismos benéficos, por lo que IP logró degradar 86,3 % de los cadáveres frente a ME (82,54 %), y estos dos frente al control (80,27 %).

En este estudio se logró la descomposición de tejidos blandos, pero no se descompusieron huesos, y porciones de piel y pelo, lo cual supera a otro estudio realizado en perros durante 90 días [8]. Este estudio también superó en proporción de descomposición a otra investigación [20], en la cual, a los dos meses de compostaje, los cadáveres bovinos presentaban una descomposición aproximada del 60 %-65 %, con una degradación estimada del 90 % del contenido muscular, aunque después de cuatro meses solo quedaban algunos pequeños restos óseos.

Finalmente, los resultados de este estudio son similares a un estudio en porcinos y equinos, en el cual, a los 72 días, solo se reportó permanencia de pequeños restos óseos como mandíbulas, húmeros y fémures, lo cual se logró tal vez porque los cadáveres se abrieron para exponer las vísceras y acelerar el proceso de compostaje, y porque al proceso se destinó más tiempo que en este estudio [10].

Conclusiones

Los tres tratamientos tuvieron un comportamiento similar con importantes inestabilidades en los parámetros evaluados (temperatura, humedad y pH) y estuvieron fuera de lo sugerido o esperado (temperatura, humedad y especialmente pH, olores, lixiviados e insectos), lo que se debe a la falta

de estandarización del proceso de compostaje, a un exceso de agua al inicio del proceso, a la baja eficacia de la aireación, a que solo se realizó un volteo y a que la aireación no es eficiente.

No hay diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de humedad relativa, temperatura y pH entre los tratamientos y entre estos y el control mediante el Mancova.

No hay diferencias significativas concluyentes en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los dos tratamientos y el control a los 58 días. Aunque IP presenta datos superiores a ME y a C en carbono orgánico oxidable total, nitrógeno, fósforo, pH, relación C/N, actinomicetos, bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, hongos filamentosos y levaduras. ME es superior a IP y a C en: capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de humedad, cenizas, potasio, bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadores de fosfato. C no es superior en ninguna variable.

Se identificaron microorganismos beneficiosos como *Mucor* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. relacionados con la degradación de materia orgánica y a la producción de sustancias biológicamente activas.

Hay diferencias significativas en la descomposición de los cadáveres entre los dos tratamientos y el control, y una correlación, pero no significativa, entre la descomposición de cadáveres y la temperatura. Fue superior la descomposición de cadáveres en IP, seguida por ME y finalmente por C.

El compost obtenido en los dos tratamientos y en el control cumplió con los requisitos establecidos en la NTC 5167, excepto en dos réplicas respecto al contenido de carbono orgánico oxidable total, en una réplica en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico, en todas las réplicas excepto una con relación a los coliformes totales y en una réplica debido a la presencia de *Fusarium* sp.

Limitaciones de la investigación y recomendaciones

Haber dispuesto de dos réplicas por tratamiento y para el control determina un bajo poder estadístico para establecer el efecto de los inóculos evaluados

en términos fisicoquímicos y microbiológicos, no así en parámetros como la temperatura, la HR y el pH que contaron con cuatro mediciones semanales por dos meses. Esta limitación resultó de la intención de no afectar la operación de la empresa.

Se sugiere desarrollar nuevos estudios, con por lo menos tres réplicas por tratamiento y control, asegurando un mayor control de las variables y un mayor número de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Se sugiere estandarizar el proceso de producción del inóculo y realizar su análisis microbiológico para comprender mejor su aporte al proceso de compostaje.

Conflicto de intereses

Se declara que la empresa funeraria de mascotas financió los análisis de laboratorio, pero no el trabajo de los investigadores.

Comité de Ética

El proyecto no requirió aprobación del Comité de Ética porque no experimentó con animales vivos o personas y no empleó datos personales sensibles. Por otro lado, no se introdujo una práctica nueva que generara riesgo ambiental, sino que se compararon tres prácticas ya aplicadas en el compostaje por parte de la empresa de servicios funerarios para mascotas: el uso de dos inóculos diferentes y el compostaje sin inóculos microbianos. Esta empresa funeraria cumple con los permisos de operación y ambientales según las normas nacionales y del municipio en donde opera.

Referencias

- [1] Statista, *Global cattle population from 1990 to 2025*, 2025 [en línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/263979/global-cattle-population-since-1990/>
- [2] Statista, *Number of chickens worldwide from 1990 to 2025*, 2025 [en línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/263962/number-of-chickens-worldwide-since-1990/>
- [3] Statista, *Dog and cat population worldwide*, 2019 [en línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1044386/dog-and-cat-pet-population-worldwide/>

- [4] Cifras y Conceptos, *Informe sobre mascotas*, oct. 2024 [en línea]. Disponible en: <https://www.cifrasyconceptos.com/wp-content/uploads/2025/01/Informe-sobre-Mascotas.pdf>
- [5] Revista Semana, “Así funciona el negocio de las funerarias de mascotas | Semana noticias” (video de YouTube), 29 sep. 2022. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=56tK55Uhhv0>
- [6] S. Chowdhury, G.-H. Kim, N. Bolan et al., “A critical review on risk evaluation and hazardous management in carcass burial”, *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 123, pp. 272-288, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.019>
- [7] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, *2020 National Emissions Inventory Technical Support Document: Miscellaneous Non-Industrial*. Durham, NC: EPA, 2023.
- [8] B. Simões Valente, E. Gonçalves Xavier, M. V. Tabeleão Pilotto et al., “Compostagem na gestão de cadáveres de cães”. *Rev. Eletrônica Gest. Educ. Tecnol. Ambient. (REGET)*, vol. 18, n.º 4, pp. 1389-1399, 2014 [en línea]. Disponible en: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/15066/pdf>
- [9] D. E. Morse, K. Friendshuh, M. Hanks, et al., *Composting animal mortalities*. Minnesota: Agricultural Development Division, Minnesota Department of Agriculture, 2001.
- [10] G. Mejía y J. D. Ruiz, *Compostaje de mortalidad como alternativa para el manejo del cadáver y el residuo del equino en el Centro de Veterinaria y Zootecnia CES*. Medellín: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES, 2015.
- [11] T. Costa y N. Akdeniz, “A review of the animal disease outbreaks and biosecure animal mortality composting systems”. *Waste Manag.*, vol. 90, pp. 121-131, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.047>
- [12] M. Dougherty, *Field guide to on-farm composting*. Nueva York: Plant and Life Sciences Publishing (PALS), 1999.
- [13] L. Díaz, *Evaluación del efecto de la adición de un bioinoculante durante el proceso de compostaje de mortalidad en granja porcícola de Lérida, Tolima* [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Programa de Microbiología Industrial, 2019.
- [14] M. Morochó y M. Leiva, “Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas”. *Cent. Agríc.*, vol. 46, n.º 2, pp. 93-103, 2019. <https://doi.org/10.38141/rca.v46i2.900>
- [15] D. Roy, S. Kumar Gunri, S. Neogi et al., “Effect of microbes in enhancing the composting process: a review”. *Int. J. Plant Soil Sci.*, vol. 34, n.º 23, pp. 630-641, 2022. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i232469>
- [16] Fundación para el Desarrollo Agroecológico, Social y Económico Sostenible Minuto de Dios (FUNDASES), *Hoja de manejo: EM Inóculo Microbial para compostaje*. Bogotá: FUNDASES, 2024 [en línea]. Disponible en: <https://fundases.com/wp-content/uploads/2026/03/I-GPR-06-V00-HOJA-DE-MANEJO-EM-Inoculo-Microbial-para-Compostaje.pdf>
- [17] A. M. Chaparro-Africano, B. F. Quintero-Sepúlveda, K. D. González-Velandia et al., “Caracterización del compostaje colectivo de animales de compañía. Caso Funeravet, Colombia”. *Rev. Fac. Cienc.*, vol. 15, n.º 1, pp. 50-63, 2026. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v15n1.119716>
- [18] M. Rastogi, M. Nandal y B. Khosla, “Microbes as vital additives for solid waste composting”. *Heliyon*, vol. 6, n.º 2, art. e03343, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>
- [19] W. Zhai, X. Li, X. Duan et al., “Development of a microbial protease for composting swine carcasses, optimization of its production and elucidation of its catalytic hydrolysis mechanism”. *BMC Biotechnol.*, vol. 22, n.º 1, art. 36, 2022. <https://doi.org/10.1186/s12896-022-00779-7>
- [20] R. Flynn y R. Hagevoort, *Whole Animal Composting of Dairy Cattle. Guide D-108*. Las Cruces, NM: New Mexico State University Cooperative Extension Service, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, 2007 [en línea]. Disponible en: https://pubs.nmsu.edu/_d/D108/
- [21] S. Villamizar, “Quality and microbiological safety of a daily mortality compost produced in a veterinary faculty at São Paulo state”. *Innovaciencia*, vol. 9, n.º 1, pp. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.15649/2346075X.1242>
- [22] A. Matiz-Villamil, I. C. Chamorro-Tobar, A. Sáenz-Aponte et al., “Management of swine mortalities through the use of a mixed composting-accelerating bio-inoculant”. *Heliyon*, vol. 7, n.º 1, art. e05884, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05884>