

CARACTERIZACIÓN DEL COMPOSTAJE COLECTIVO DE ANIMALES DE COMPAÑÍA. CASO FUNERAVET, COLOMBIA^a

CHARACTERIZATION OF COLLECTIVE COMPOSTING OF ANIMALS COMPANIONS. FUNERAVET CASE, COLOMBIA

ADRIANA MARÍA CHAPARRO-AFRICANO^{b*}, BRAKNY FELIPE QUINTERO-SEPULVEDA^c,
KRYSTLE DANITZA GONZÁLEZ-VELANDIA^d, WILLIAM EDUARDO PULIDO-TALERO^e

Recibido 07-04-2025, aceptado 25-11-2025, versión final 04-12-2025.

Artículo Investigación

RESUMEN En Colombia el número de animales de compañía ha incrementado significativamente jalonando todo un segmento de mercado en servicios, incluyendo los servicios funerarios, importantes no solo por el manejo del duelo sino por la sanidad de la disposición de sus cadáveres. FUNERAVET, pionera en la prestación de estos servicios, ha realizado en 22 años más de 3193 servicios en cementerio, 17873 cremaciones individuales, 2429 compostajes y 75731 disposiciones colectivas. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar el compostaje colectivo de animales de compañía de FUNERAVET, para aportar a esta área del conocimiento en la que no se identificaron publicaciones en Colombia. Entre marzo y abril de 2024 se recolectó la información necesaria, se identificó un manejo de compostaje en pilas con un tiempo de tres a 3.5 meses, con formación de capas entre una mezcla de cascarilla de arroz, gallinaza y cadáveres, inoculados con microorganismos, hidratación, aireación, y volteo. Los análisis físico químico y microbiológico cumplen con la NTC 5167 salvo por el carbono oxidable total que está por debajo de la norma y por la carga de coliformes totales que es superior a la norma, lo que deriva de la relación C/N de la mezcla inicial y del exceso de hidratación.

PALABRAS CLAVES: Compostaje de cadáveres; compostaje de carcasas; compostaje de mortalidad; gestión ambiental; residuos sólidos orgánicos.

ABSTRACT: In Colombia, the number of pets has increased significantly, marking an entire market segment in services, including funeral services, important not only for the management of grief but also for the health of the disposal of their corpses. FUNERAVET, a pioneer in providing these services, has carried out more than 3193 cemetery services, 17873 individual cremations, 2429 composting and 75731 collective disposals in 22 years. This study aimed to

^aChaparro-Africano, A. M., Quintero-Sepulveda, B. F., González-Velandia, K. D. & Pulido-Talero, W. E. (2026). Caracterización del compostaje colectivo de animales de compañía. Caso Funeravet, Colombia. *Rev. Fac. Cienc.*, 15 (1), 50–63. DOI: <https://10.15446/rev.fac.cienc.v15n1.119716>

^bProfesora Programa Ingeniería Agroecológica, Corporación Universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO, Bogotá

* Autor correspondencia: achaparro@uniminuto.edu

^cIngeniero en Agroecología Programa Ingeniería Agroecológica, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá

^dProfesora Maestría en cambio climático y desarrollo sostenible, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá

^eProfesor Programa Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá

characterize the collective composting of companion animals at FUNERAVET, to contribute to this area of knowledge in which no publications were identified in Colombia. Between March and April 2024, the necessary information was collected, composting management in piles was identified with a time of three to 3.5 months, with the formation of layers between a mixture of rice husks, chicken manure and corpses, inoculated with microorganisms, hydration, aeration, and turning. The physical, chemical and microbiological analyzes comply with NTC 5167 except for the total oxidizable carbon that is below the standard and the total coliform load that is higher than the standard, which derives from the C:N ratio of the initial mixture and excess hydration.

KEYWORDS: Carcass composting; environmental management; mortality composting; organic solid waste, pets composting.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, entre los años 2023 y 2024, el 57 % de los hogares tenía un animal de compañía, con una mayor concentración en las grandes ciudades, correspondiendo a un 65 % de los hogares en Bogotá, y un 54 % en Cali y Medellín. Los perros son los preferidos en un 71 % de los hogares, seguidos por los gatos en un 51 %, los peces en un 2 % y otras especies en un 4 %, incluyendo fauna silvestre (Caballero, 2024).

Esta gran proporción de animales de compañía ha impulsado todo un segmento de mercado en servicios funerarios, dada su importancia en el manejo del duelo y por cuestiones sanitarias. En Bogotá se registran al menos 15 empresas que prestan estos servicios (Revista Semana, 2022). FUNERAVET, que presta sus servicios en Bogotá y fue la pionera entre todas estas empresas, ha realizado en 22 años más de 3193 servicios en cementerio, 17873 cremaciones individuales, 2429 compostajes y 75.731 disposiciones colectivas (Funeravet, 2024); el gerente reporta un aproximado de 30 animales de compañía por día (Revista Semana, 2022).

Los métodos de disposición de cadáveres han incluido tradicionalmente el enterramiento y la incineración. El entierro es uno de los más practicados, puede ser individual o colectivo, y su principio es la contención de los patógenos durante un período suficiente para garantizar su inactivación y evitar la migración de patógenos o toxinas a fuentes de agua superficiales y subterráneas, aunque existen riesgos como la transmisión de patógenos, antibióticos y otros productos químicos al medio ambiente (Chowdhury *et al.*, 2019). Las enfermedades zoonóticas, o compartidas entre animales vertebrados y humanos, son un riesgo de particular interés, pues se han identificado cerca de 200 (OMS, 2020).

Por estos riesgos, la incineración se popularizó, sin embargo, el impacto ambiental relacionado a las emisiones es importante, pues se reportan al menos 35 contaminantes en el proceso de incineración o cremación, siendo los principales, con sus correspondientes cantidades el CO_2 con 2.947 lb/t, el NO_x con 3.56 lb/t, PM_{10} con 3.036 lb/t, $PM_{2.5}$ con 2.022 lb/t, y el SO_2 con 2.173 lb/t (U.S. Environmental Protection

Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division , 2023).

Además de los riesgos de contaminación química o microbiológica, estos dos métodos de disposición de cadáveres tienen limitantes económicas importantes. En este sentido, el compostaje de cadáveres de animales ha sido una alternativa exitosa en términos sanitarios cuando se aseguran las condiciones adecuadas (Simões *et al.* , 2014), mientras, desde el punto de vista ambiental, puede capturar carbono y generar un abono orgánico de calidad (Alvarado-Raya *et al.*, 2023).

El compostaje de mortalidades se registra desde inicios de los años 80, siendo el compostaje de aves el primero del que se tiene registro (Morse, 2006). Además de aves, el compostaje también se ha empleado con éxito en cerdos, ganado vacuno y equino de diversas edades, ovejas, peces, y otros animales, incluyendo ciervos y otros animales silvestres accidentados en carretera, e incluso en eventos catastróficos por enfermedad, estrés, o la caída de un rayo (Dougherty, 1999). Incluso, agencias de bioseguridad en Estados Unidos, Canadá, Australia, y Nueva Zelanda consideran al compost como el método de disposición preferido para mortalidades animales, tanto en casos de rutina como de emergencia (Costa & Akdeniz , 2019).

El compostaje de cadáveres de animales es similar al de otros materiales orgánicos. En este compostaje los cadáveres de animales aportan nitrógeno y agua, mientras materiales como aserrín, y otros materiales fibrosos y voluminosos aportan carbono y porosidad. Estos materiales se compostan en una pila, sistema preferido para animales de tamaño medio y grande, en tres capas, la base y capa superior de material rico en carbono y la intermedia de cadáveres, así se absorben los lixiviados, y se evita la salida de malos olores y la proliferación de vectores. Estas capas se repiten hasta alcanzar la capacidad de la pila, luego se voltea para airearla y mezclarla una o dos veces durante el proceso, para luego pasarla a una pila de maduración. El calor producido dentro de la pila es suficiente para matar patógenos comunes, particularmente hay que controlar el proceso para eliminar patógenos con riesgo zoonótico o de transmisión entre animales y humanos. El tiempo requerido para el compostaje varía de dos a doce meses, según el tamaño del animal y el clima. Las pilas deben estar ubicadas en un lugar bien drenado, alejado de fuentes de agua y en algunos casos, deben tener cubierta, pueden tener la longitud requerida, pero no deben sobrepasar 12 pies de ancho y 6 a 7 pies de altura (Dougherty, 1999).

El proceso del compostaje es simple y complejo a la vez, en la primera fase las bacterias mesófilas descomponen la materia orgánica a temperaturas entre los 30 y 40°C, y al multiplicarse elevan la temperatura llegando incluso por encima de 70°C, lo que comprende la fase termófila y es fundamental para asegurar la inocuidad del material final. Finalmente viene la fase de maduración, en donde se reduce la temperatura y actúan mayormente mohos y actinomicetos estabilizando el material (Asociación PorKcolombia, 2016).

Desde luego, además de la temperatura, que debe estar entre 43.3 y 65.5 °C, y para asegurar que ésta evolucione correctamente, se deben cuidar muchos más parámetros como la relación Carbono:Nitrógeno, que

debe ser de 20 : 40 con un ideal de > 30 ; la humedad, que debe estar en el rango de 40 - 65 %; el pH, que debe ser de 5.5 a 9; la aireación; así como la presencia de olores, lixiviados y vectores, como los más importantes (Dougherty, 1999).

No se han identificado muchos estudios de compostaje en animales de compañía. En Portugal se evaluó hace una década el compostaje de cadáveres de perros sin obtener una descomposición total a los 90 días, pero concluyendo que es una práctica eficiente (Simões *et al.* , 2014). En Colombia no se encontraron reportes de esta práctica en animales de compañía. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar el compostaje colectivo de animales de compañía realizado por FUNERAVET, para aportar a esta área del conocimiento y promover el desarrollo apropiado de esta práctica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el municipio de La Calera, Cundinamarca, Colombia, a una altura de 2718 m.s.n.m., con una temperatura máxima promedio de 15°C y mínima promedio de 5°C, y humedad relativa promedio de 70 - 80 %, en la sede de FUNERAVET en donde se realizan los servicios de cementerio, y el compostaje individual y colectivo de animales de compañía.

La fase 1 de la caracterización se efectuó en cuatro (uno a cuatro) de las ocho pilas de compostaje colectivo que incluye ocho pilas. Cada pila recibe una capa de materiales cada semana durante ocho semanas, la investigación abarcó este mismo periodo de tiempo. La fase 2, los análisis de laboratorio se realizaron a una sola muestra, que no correspondió al mismo material analizado en la fase 1, sino al material de la pila nueve, que corresponde a la pila de maduración, en donde el material está después de las ocho semanas y hasta completar 105 días. La investigación se desarrolló en dos fases:

Fase 1: Caracterización del proceso de compostaje colectivo. Se realizó entre marzo y abril de 2024 incluyendo revisión documental, entrevista a los encargados del compostaje, y observación participante, incluyendo aspectos como: infraestructura, manejo actual, insumos y la relación C/N de su mezcla, los tiempos del proceso, y la presencia de lixiviados, olores y vectores.

Esta fase incluyó el seguimiento del proceso de una capa de cada pila, con la medición de temperatura y el registro de la frecuencia de riego, aireación y volteo, así como de la presencia de lixiviados, olores y vectores. La temperatura se midió con un termómetro análogo cuatro veces por semana por los dos meses de descomposición, en cuatro puntos a lo largo de las ocho pilas de compostaje y a dos profundidades: en el centro vertical de la pila y a 10 - 15 cm verticales de la superficie. La temperatura registrada por día corresponde al promedio de los cuatro puntos y las dos profundidades.

La relación C/N de la mezcla de materiales compostados se calculó a partir de las relaciones C/N reportadas y a la fórmula propuesta por Dougherty (1999), que corresponde a la sumatoria del peso de cada material

multiplicado por su contenido de carbono, dividida entre la sumatoria del peso de cada material multiplicado por su contenido de nitrógeno.

Fase 2: Análisis fisicoquímico y microbiológico. Se extrajo una muestra de la pila de compost madurado, la pila número nueve, en la cual se deposita el compostaje que se saca de cada una de las pilas uno a ocho al cumplir dos meses de compostaje (compostaje no madurado), y antes de adicionar una nueva capa. El compost madurado analizado tiene 105 días de proceso en total, 60 días en las pilas de compostaje y 45 días en la pila de maduración. Estos análisis se llevaron a cabo en un laboratorio externo, de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 5167, que establece los requisitos para productos orgánicos utilizados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelo en la industria agrícola.

Los datos recolectados en estas dos fases se analizaron identificando aspectos favorables y por corregir, y se compararon con otras investigaciones reportadas en la literatura, generando algunas recomendaciones.

2.1. Resultados y discusión

2.1.1. Fase 1: Caracterización del compostaje colectivo

El compostaje colectivo ha resultado de un ejercicio de investigación, consultoría y experimentación en campo por parte de FUNERAVET, con el propósito de reducir su impacto ambiental sustituyendo la cremación o por lo menos, ofreciendo una alternativa más sostenible a la cremación y al entierro de animales de compañía. En este sentido, el compostaje colectivo se realiza en FUNERAVET desde el segundo semestre de 2023 (ver Figura 1).



Figura 1: Pilas de compostaje colectivo. Fuente: Elaboración propia

El compostaje colectivo de FUNERAVET incluye ocho pilas limitadas por tablas, paralelas entre ellas en grupos de cuatro (ver Figura 2), en un área cubierta, con superficie de tierra compactada, con dimensiones de 50 m de largo por 30 m de ancho (1500 m^2). 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

Tabla 1: Insumos y cantidades teóricas, por capa para cada pila de compostaje colectivo

Capa / Insumo	Cascarilla de arroz	Gallinaza	Cadáveres	Agua	IP (inóculo propio)	Peso total
Capa 1	320 kg	320 kg	500 - 800 kg (50 - 100 Un)	1700 L agua lluvia	40 L	2.88 - 3.18 t
Capas 2 a 6	200 kg	200 kg	500 - 800 kg (50 - 100 Un)	1200 L agua lluvia	25 L	2125 - 2425 t

m^2 . Cada pila tiene forma de tronco de pirámide alargada, cuyo volumen aproximado es: $63.39 m^3$. Estas pilas cumplen los requisitos de Dougherty (1999), quien sugiere que tengan cualquier longitud pero que no superen 12 pies de ancho (366 cm) y 6 a 7 pies de altura (183 a 213 cm).

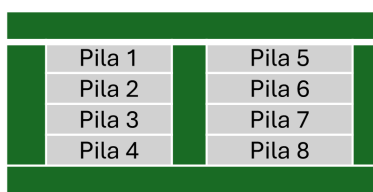


Figura 2: Distribución de las pilas de compostaje colectivo. Fuente: Elaboración propia

2.2. Insumos y proceso de compostaje colectivo

El proceso de compostaje comienza el día uno de la semana 1, cada jueves, cuando se hace una cama con heno a una altura aproximada de 40 cm para la capa 1, luego se adiciona en el centro una capa de cadáveres de animales de compañía que se han almacenado durante los ocho días previos, en refrigeración en las instalaciones de Bogotá, con una separación máxima de 10 cm entre ellos, hasta formar una capa de 10 cm de altura aproximadamente, seguida de una capa de la mezcla de cascarilla de arroz y gallinaza en proporciones 1 : 1 que ha sido premezclada en mezcladora de cemento, midiendo las proporciones con carretillas, hasta lograr una altura central de la pila de 0.6 m y lateral de 0.4 m. Luego de esto se adicionan aproximadamente 1700 L de agua y 35 - 40 L de un inóculo de microorganismos producido por FUNERAVET, sin diluir (ver Tabla 1).

El siguiente jueves se hace el mismo proceso en la pila dos y así sucesivamente hasta llegar a la pila ocho en la semana ocho. En la semana dos de cada pila, con regadera manual, se aplican entre 60 - 80 L de agua por pila. Luego de la primera capa de cada pila, cada semana se adiciona una nueva capa a cada pila, hasta llegar a la capa seis, con los materiales registrados en la Tabla 1.

Durante los primeros 30 días de cada pila se hace ventilación forzada con un soplador de un caballo de fuerza durante 5 o 10 minutos, y se monitorea la temperatura. Los lixiviados son absorbidos por cascarilla de arroz adicionada en el borde final de cada pila, la cual se reingresa en la misma pila cuando se hace volteo. A los 30 o 40 días se realiza el primer volteo manual de cada pila y se riega con una mezcla de 25 L del

inóculo de microorganismos sin diluir y entre 160 - 200 L de agua, acción que se repite cada mes.

El proceso de compostaje tarda dos meses para la sexta capa de cada pila, y se extiende a tres meses y una semana para la capa uno. Luego del compostaje de las seis capas de cada pila, a los tres meses y una semana de iniciado el proceso, aproximadamente un 10 % del compost se coloca en la pila nueve para su maduración por un mes y medio adicional, para un total de 105 días de compostaje, mientras el 90 % restante, entre 20 - 40 cm de altura, es dejado en cada pila como base para cada nuevo ciclo de compostaje.

En cálculos teóricos, en cada pila se descomponen entre 3 - 4.8 t de mascotas por pila, para un total de 18 - 28.8 t por pila y por año. Este peso total fue calculado a partir de las cantidades teóricas, pues como se explicó anteriormente, no se verifican los pesos.

Como se ve en la Figura 3, la temperatura no se mide y registra todos los días, y no se mide el pH o la humedad. De otro lado, el riego, la aireación y el volteo se realizan, en teoría, cuando las temperaturas oscilan entre los 35 a 45°C, por lo que es claro que el proceso de compostaje no está estandarizado. Esto también se comprueba por la cantidad de cadáveres compostados en cada capa, que pueden oscilar entre 500 a 800 Kg.

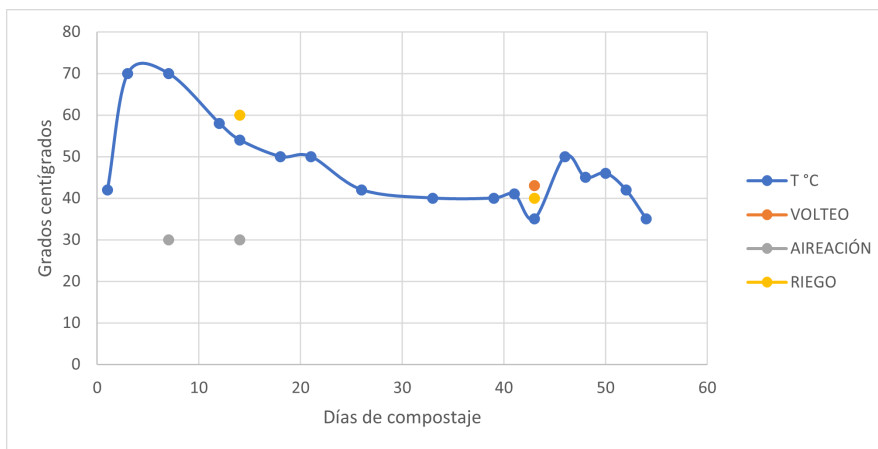


Figura 3: Temperatura, volteo, aireación y riego pila 4. Fuente: Elaboración propia

La temperatura se presenta en la Figura 3, tomando como ejemplo la pila 4, también se presentan los días en que se hizo volteo, aireación y riego. Los resultados de las demás pilas son similares.

La temperatura varía de acuerdo con la fase en la que se encuentra el compostaje, en este caso, la fase inicial (mesófila, menos de 45 °C) es breve, tardando de uno a dos días, seguida por una fase termófila (más de 45 °C) durante los días 2 a 23 / 24, cumpliendo con el mínimo propuesto por Roman *et al.* (2013), de 6 días y de Dougherty (1999) de tres días, luego viene una segunda fase mesófila entre los días 23 / 24 a 44 / 45, y dado el volteo que se realiza el día 43, el ingreso de oxígeno permite un nuevo crecimiento de

microorganismos, generando una segunda fase termófila breve entre los días 44 / 45 a 50, para finalmente terminar con una tercera fase mesófila entre los días 50 a 60. Posteriormente, el material tuvo un tiempo de maduración aproximado de un mes y medio en la pila nueve, para un total de 105 días de compostaje. Como se puede verificar en la Figura 3, la aireación no afecta la temperatura.

Dougherty (1999) sugiere asegurar una temperatura por encima de los 54.4 °C durante al menos tres días para asegurar un compostaje apropiado y la sanitización de los insumos, en este caso estas temperaturas ocurren durante unos 10 días. Mantener una temperatura por encima de 55 °C es sugerido por Roman *et al.* (2013), para eliminar *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas.

Las temperaturas en este estudio son mucho más altas a las registradas en el estudio de Simões *et al.* (2014), quienes compostaron cadáveres de perros, en donde pasan de 19 °C a 32.6 °C en el día 30 y a 24 °C en el día 60, lo que se debe a una alta relación *C/N* (67.6) que determina una menor actividad microbiana, y, por tanto, menor temperatura (Dougherty, 1999).

Tabla 2: Relación *C/N* en las capas de insumos del compostaje colectivo. La relación *C/N* de los cadáveres corresponde a la de aves (Dougherty, 1999), ya que para el momento del cálculo no se disponía del dato para animales de compañía, aunque no difieren mucho.

Primera capa				
Material	Cadáveres	Cascarilla	Gallinaza	Total
Cantidad (Kg)	500-800	320	320	1140-1440
Relación <i>C/N</i>	5	66	7	22.7-19
Capas 2 a 6				
Material	Cadáveres	Cascarilla	Gallinaza	Total
Cantidad (Kg)	500-800	200	200	900-1200
Relación <i>C/N</i>	5	66	7	19-15.5

En la Tabla 2 se presentan las relaciones *C/N* de los insumos empleados en el compostaje colectivo y de su mezcla, para las seis capas de cada pila:

Dougherty (1999) propone una relación *C/N* de entre 20 a 40 con un ideal superior a 30, por lo que, según la Tabla 2, la relación *C/N* de la primera capa es baja, especialmente cuando el peso de los cadáveres alcanza los 800 kg (19). La relación *C/N* de las capas dos a seis es más baja, especialmente cuando el peso de los cadáveres alcanza los 800 kg (15.5), lo cual se correlacionó con la presencia de lixiviados, malos olores e insectos a lo largo de la investigación. Según la literatura, esta baja relación *C/N* pudo afectar la aireación y temperatura de las pilas por la mayor densidad de la mezcla o su menor porosidad, con la consecuente afectación a los microorganismos responsables del proceso, debido a la insuficiente aireación, agravada por la falta de volteo en esta fase, y porque la aireación no fue efectiva, lo cual genera que sea más lento, contaminante (emisión de gases efecto invernadero) y costoso el proceso de compostaje (Dougherty, 1999).

Tabla 3: Resultado del análisis físico químico del compost colectivo madurado. Fecha de emisión del informe: 2024-05-30. Nota: N. A. No Aplica

Variabes	Resultados	Referencia	Verificación
Capacidad de intercambio catiónico	94.9 meq/100g	Mínimo 30	Conforme
Capacidad de retención de humedad	117.2 %	Mínimo 100	Conforme
Carbono oxidable total	11,9 %	Mayor o igual a 15 %	No conforme
Cenizas	45.3 %	Máximo 60 %	Conforme
Densidad	0.47 g/cm ³	Máximo 0.6	Conforme
Humedad	8.61 %	Máximo 20	Conforme
Nitrógeno total (N)	1.80 %	-	N. A
pH	7,105	Mayor de 4 y menor de 9	Conforme
Relación C/N	6.61	-	N. A
Potasio Total (K)	1.11 %	N.A	N. A
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	0.85 %	N. A	N. A

La densidad de la mezcla de materiales compostados también se incrementa porque no se ha calculado la humedad de cada material, particularmente de la gallinaza y los cadáveres, que en el caso de los cadáveres de aves puede ser del 70 %, lo que afecta, como ya se estableció, la aireación de la mezcla, especialmente cuando se adiciona riego y el inóculo diluido en agua, generando un ambiente anaerobio y afectando todo el proceso (Dougherty, 1999).

2.3. Análisis fisicoquímico del compostaje colectivo

Los resultados de las Tablas 3 y 4 corresponden al compost maduro (105 días). Este compost maduro no ha salido de FUNERAVET y no se le ha dado un uso a la fecha.

Todos los parámetros físicoquímicos del compost colectivo madurado están dentro de la NTC 5167, salvo el carbono oxidable total, que está por debajo de 15 %, lo que se debe a la baja relación C/N de la mezcla de insumos presentada en la Tabla 2 como ya se describió y como soporta Dougherty (1999).

Esta explicación se ratifica al comparar estos resultados con los del estudio de Simões *et al.* (2014), en el cual el carbono orgánico total, que es equivalente al carbono oxidable total, fue de $54.1 \pm 2.41 \%$ a los 60 días del compostaje de cadáveres de perros, y de $54.4 \pm 0.57 \%$ a los 90 días, lo que deriva de una relación C/N reportada de 5.9 para los cadáveres de perros y de 191 para la viruta, y una mezcla de 2 : 1 cadáveres: viruta de madera, mientras la relación $C : N$ del compostaje final fue de 103 ± 10.10 . Contrariamente, en esta investigación, el carbono oxidable total es bajo (Tabla 3) porque la relación $C : N$ de los insumos era de 15.5 a 22.7, según la capa y el peso total de los cadáveres dispuestos, y derivó en una relación $C : N$ del material compostado y madurado de 6.61, ya que siempre hay una relación directamente proporcional entre el C y el N de los materiales compostados con el del compost final.

Tabla 4: Resultado del análisis microbiológico del compostaje colectivo antes del experimento. Identificación: 012-3-285-2024.

Variabes	Resultados	Unidad	Verificación
Actinomicetos	NE1100	UFC/g	No aplica
Bacterias mesófilas aerobias	27×10^7	UFC / g	No aplica
Coliformes totales	72×10^2	UFC / g < 1000	No conforme
Hongos (Mohos filamentosos y levaduras)	14×10^4	UFC/g	No aplica
Microorganismos solubilizadoras de fosfato	< 100000	UFC/g	No aplica

Un compost con bajo carbono orgánico oxidable no es un abono orgánico suficientemente bueno, ya que solo esa pequeña fracción del carbono de la materia orgánica del compost podría ser oxidada y descompuesta por los microorganismos. Esto determina una escasa liberación de nutrientes para las plantas, afectando la fertilidad del suelo y el crecimiento saludable de los cultivos. En este sentido, la función del carbono oxidable es mejorar la estructura del suelo a partir de la formación de agregados estables, lo que aumenta su porosidad, infiltración y retención de agua, reduciendo el riesgo de erosión y mejorando la disponibilidad de agua para las plantas (Chambers *et al.*, 2024).

Otros resultados físico - químicos de este estudio también varían frente a los del estudio de Simões *et al.* (2014): el N total es 3.6 veces más alto (1,8 % Vs 0.7 ± 0.17 %), lo que deriva, principalmente, de la menor relación C/N de los insumos de este estudio, lo que también explica el pH más ácido (7.5 Vs $8,6 \pm 0.26$). De otro lado, la humedad es una tercera parte de la del estudio de (Simões *et al.* , 2014) (8,6 % Vs 27.5 ± 5.38 %) y las cenizas son muy superiores (45.3 % Vs 2.1 ± 1.02 %). Todas estas diferencias se deben también a la relación C/N.

2.4. Análisis microbiológico

Según los resultados de la Tabla 4, los coliformes totales exceden en más de 7 veces la norma. Esto se puede deber al uso de una gran proporción de gallinaza como insumo del compost, sumada a las heces de los cadáveres que contienen coliformes fecales. También se puede deber a que la fase termófila requiere más tiempo para asegurar la inactivación de las bacterias, pues, aunque la *E. Coli* no requiere más de 60 °C durante 60 minutos para inactivarse (Jones & Martin, 2003), la carga bacteriana del material empleado pudo ser excesiva. Otra explicación puede ser que el material analizado, aunque se considera compost madurado, pudo contaminarse con compost no madurado como se reporta en otros casos (Dougherty, 1999), ya que se adiciona en una sola pila para no afectar la operación de FUNERAVET. Una última explicación es que el compost que se considera madurado aún no lo es y requiere más tiempo para su estabilización química y

microbiológica. El estudio de Simões *et al.* (2014) no reporta análisis microbiológico.

Es posible también que la simple estandarización del compostaje, asegurando la proporción C/N , reduciendo el exceso de agua adicionada, y aumentando el volteo, asegure un proceso más aeróbico y estable, cuyo compost logre cumplir con los parámetros físico - químicos y microbiológicos de la NTC 5167.

3. CONCLUSIONES

El proceso de compostaje cumple en general con el manejo reportado para compostaje en pilas, incluyendo la formación de capas, el uso de insumos aportantes de C y de N, la aireación, el volteo, la hidratación, y en este caso, la inoculación con microorganismos, lo que deriva en las fases mesófilas y termófilas reportadas, aunque al haber un volteo el día 43, ocurren una segunda fase termófila y una segunda fase mesófila.

A pesar de esto, el compostaje no está estandarizado, la relación teórica de C/N de los insumos del compostaje resulta variable y muy baja, mientras la relación real es desconocida porque los insumos no se pesan, sino que se miden en volumen. El agua adicionada resulta excesiva, lo que se determinó por la continua lixiviación, determinando todo esto la presencia de olores, lixiviados, vectores, y muy posiblemente la pérdida de carbono y la emisión de otros contaminantes a la atmósfera.

La aireación no sustituye al volteo en su propósito de adicionar Oxígeno al compostaje, pues no genera modificaciones en la temperatura, a diferencia del volteo.

El material final aún no está madurado o estabilizado, al no cumplir con todos los parámetros de la NTC 5167, particularmente los coliformes totales, por lo que es necesario ajustar el proceso de compostaje para asegurar que el compost alcance un estado de higienización y estabilidad adecuado.

Para dar un uso al compost final y cumplir la NTC 5167, además de reducir la carga de coliformes totales, se requiere aumentar la proporción de carbono oxidable, lo que se corrige aumentando la relación C/N .

4. RECOMENDACIONES

Ajustar la relación C/N a más de 30, reducir el aporte de agua y estandarizar el proceso de compostaje. La estandarización implica determinar la humedad de los materiales, asegurar su pesaje y las proporciones adecuadas para mantener la relación C/N superior a 30, de manera que se controlen los lixiviados, los malos olores y la presencia de insectos.

Sustituir la aireación por volteo o lo que es lo mismo, incrementar el número de volteos, para lo que se sugiere adquirir un brazo mecánico y pulir su labor con volteo manual para asegurar la calidad del proceso, todo esto para garantizar una adecuada aireación del compost, mantener una temperatura más estable, promover la actividad microbiana necesaria para la descomposición, y asegurar la higienización del compostaje.

Asegurar la medición constante de temperatura, humedad, pH, y el monitoreo de olores, lixiviados y vectores. Mantener el registro permanente de estos parámetros, así como de las cantidades de insumos, cantidad de compost obtenido, y en general todos los datos del proceso, para hacer una evaluación y ajuste periódico.

Solarizar, compostar, o idealmente vermicompostar la gallinaza previamente a su adición al compostaje, para reducir la carga de coliformes totales, especialmente fecales.

Separar el compost madurado del compost que entra en proceso de maduración para evitar la contaminación del primero.

Repetir los análisis físico - químicos y microbiológicos luego de corregir y estandarizar el compostaje, para verificar los resultados del proceso.

Recalcular el área y número de pilas requeridas para compostar los cadáveres recibidos por FUNERAVET, pues la estandarización del proceso, y la corrección de la relación C/N, seguramente incrementará el área necesaria.

Contribución de los autores

Adriana-María Chaparro-Africano y Krystle-Danitza González-Velandia dirigieron y codirigieron el trabajo, Brakny-Felipe Quintero-Sepulveda llevó a cabo la investigación, William-Eduardo Pulido-Talero y los demás autores realizaron el análisis de los datos y escribieron el artículo.

Referencias

- Alvarado-Raya, H., Escamilla-García, P. E., Estrada-Chavira, M. E., Pérez-Soto, F. & Moreno-López, K. E. (2023). La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 119(1), 2-18, <https://doi.org/10.12706/itea.2022.012>
- Asociación PorKcolombia. Fondo Nacional de la Porcicultura. Área técnica. (2016). Cartilla N. 1. *Compost de la mortalidad*. Bogotá: Asociación PorKcolombia. Fondo Nacional de la Porcicultura. https://porkcolombia.co/sostenibilidad_y_r_s/minicartilla-00/

- Caballero, C. (2024). Razón pública. Obtenido de *Por una tenencia más responsable de mascotas*: <https://razonpublica.com/una-tenencia-mas-responsable-mascotas/>
- Chambers, L., Mirabito, A., Brew, S., Nitsch, C., Bhadha, J., Hurst, N. & Berkowitz, J. (2024). Evaluating permanganate oxidizable carbon (POXC)'s potential for differentiating carbon pools in wetland soils. *Ecological Indicators*, 167, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112624>.
- Chowdhury, S., Kim, G.-H., Bolan, N. & Longhurst, P. (2019). A critical review on risk evaluation and hazardous management in carcass burial. *Process Safety and Environmental Protection*, 123 , 272-288, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.019>
- Costa, T.& Akdeniz, N. (2019). A review of the animal disease outbreaks and biosecure animal mortality. *Waste Management*, 90 , 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.047>
- Dougherty, M. (1999). Field guide to on-farm composting. . New York: Plant and Life Sciences Publishing (PALS).
- Funeravet (2024). Funeravet. Obtenido de <https://funeravet.com.co/somos-funeravet.php>
- Jones, P. & Martín, M. (2003). A Review of the Literature on the Occurrence and Survival of Pathogens of Animals and Humans in Garden Compost. Research report. <https://ucanr.edu/sites/default/files/2016-05/240557.pdf>
- Morse, D. E. (2006). Composting animal mortalities. Minnesota: Agricultural Development Division, Minnesota Department of Agriculture. <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/2018-05/compostguide.pdf>
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (29 de 07 de 2020). Organización Mundial de la Salud - OMS. Obtenido de Zoonosis: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>
- Revista Semana. (29 de 09 de 2022). Revista Semana. Obtenido de Así funciona el negocio de las funerarias de mascotas | Semana noticias: <https://www.youtube.com/watch?v=56tK55Uhf0>
- Roman, P., Martínez, M. & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- Simões Valente, B., Gonçalves Xavier, E., Tabeleão Pilotto, M. V. & da Silva Pereira, H. (2014). Compostagem na gestão de cadáveres de cães . Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* - REGET V. 18(4), 1389-1399, <http://dx.doi.org/10.5902/2236117015066>.

U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division. (2023). 2020 National Emissions Inventory Technical Support Document: Miscellaneous Non-Industrial . Durham: EPA.