

Implementación de un biodigestor para el aprovechamiento de heces caninas en la
producción de abono orgánico en Málaga, Santander

Gelver Antonio Mesa Fonseca

Trabajo de Grado para Optar al Título de zootecnista

Director

Luisa Fernanda Mendoza Morales

PhD(c) Biología Molecular y Biotecnología

Co- Directo

José Eduardo Acevedo Espinel

Esp. Etología

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Zootecnia

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Dedico este logro a mi madre, que ha sido un pilar muy valioso en mi vida por su amor incondicional, apoyo constante y por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y el esfuerzo siempre tienen recompensa, A mi familia, que siempre fue mi refugio y mi motivación en los momentos difíciles. A mis amigos, por acompañarme con su aliento y recordarme que los logros son más valiosos cuando se comparten. Y a mí directora de tesis, por su paciencia, guía y confianza en mi trabajo, cuya orientación fue clave para alcanzar este logro. Gracias a todos por ser parte de este importante capítulo de mi vida.

Gelver Antonio Mesa Fonseca

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios Todopoderoso, por haberme acompañado hasta este momento, por no soltarme de su mano y permitirme hoy plasmar en estas páginas este gran logro, que representa un importante avance en mi vida personal y profesional, expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. A mi familia, por ser mi apoyo incondicional y brindarme siempre la fuerza necesaria para seguir adelante; a mis docentes y directora de tesis, por su guía, paciencia y conocimientos compartidos; y a mis compañeros y amigos, por acompañarme con su aliento y motivación en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada pequeño avance. Este logro no es solo mío, sino también de quienes creyeron en mí y me motivaron a no rendirme, por su apoyo incondicional, paciencia y amor en cada momento de este proceso y a cada persona que, de una u otra manera, aportó su conocimiento, tiempo o palabras de ánimo: gracias por ser parte de este logro.

“Este logro es el resultado de mi esfuerzo y un testimonio de la importancia de la dedicación y la constancia.”

Gelver Antonio Mesa Fonseca

Tabla de contenido

Introducción 16

1. Objetivos 19

1.1 Objetivo General 19

1.2 Objetivos Específicos..... 19

2. Marco referencial..... 20

2.1 Marco teórico 20

2.1.1 Panorama de la tenencia de mascotas a nivel mundial, nacional y regional 20

2.2 Residuos generados por mascotas 20

2.2.1 Cálculo diario 21

2.3 Microorganismos 23

2.4 Parásitos intestinales 25

2.4.1 Toxocara canis..... 25

2.4.2 Ancylostoma spp 25

2.4.3 Dipylidium caninum 25

2.4.4 Giardia 25

2.4.5 Blastocystis spp 26

2.4.6 Entamoeba sp 26

2.4.7 Taenia spp 26

2.5 Virus 26

2.6 Fundamentos teóricos y prácticos del compostaje..... 27

2.6.1 Vermicompost..... 28

2.6.2 Compost con bioinoculantes 28

2.6.3 Ventajas del compost con bioinoculantes 29

2.7 Tipos de bioinoculantes o catalizadores..... 29

2.8 Compost 31

2.8.1 Fases del compost..... 32

2.8.2 Principales características biológicas del compost. 32

2.8.3 Estándares de calidad del compost 36

2.9 Compostaje aeróbico y anaeróbico 36

3 Composición bioquímica de las heces caninas37

4 Metodología 38

4.1 Consideraciones de bioseguridad 38

4.2 Preparación de los tratamientos-composteras 39

4.3 Catalizador biológico (inoculo microbial) 42

4.4 Proceso de compostaje 43

4.5 Monitoreo físico –químico de compost. 44

4.5.1 pH..... 44

4.5.2 Temperatura 44

4.6 Recolección de los lixiviados 45

4.7 Preparación de bioensayo general 46

4.7.1 Siembra y germinación de maíz 46

4.7.2 Siembra y germinación de pasto..... 47

4.8 Análisis estadístico 48

4.8.1 Bioensayos de crecimiento..... 48

5. Resultados y discusión..... 49

5.1 Proceso de compostaje 49

5.2 Monitoreo físico-químico 50

5.2.2 Temperatura 52

5.3 Bioensayos de germinación y crecimiento 53

5.4 Siembra de maíz (zea mays) en abono orgánico 54

5.5 Crecimiento vegetativo en maíz 56

5.6 Germinación pasto de corte (Pennisetum sp.) 58

5.7 Crecimiento vegetativo en pasto 60

6. Conclusiones y recomendaciones 62

Referencias bibliográficas 64

Apéndices..... 70

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Bacterias patógenas.....	24
Tabla 2 temperaturas y periodos para la destrucción de patógenos.....	27
Tabla 3 binoculantes para compost	30
Tabla 4 principales componentes químicos del compost.....	34
Tabla 5 comparación entre los procesos del compostaje aerobio y la digestión anaeróbica para el procesamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos	36
Tabla 6 tratamientos	41
Tabla 7 Montajes de tratamientos	41

Lista de Figuras

	Pág.
figura 1 Balance de un procesó de compostaje	35
figura 2 Evaluación de la cinética del pH durante 29 semanas en los 3 tratamientos analizados .	51
figura 3 Evaluación de la cinética de la temperatura durante 29 semanas en los 3 tratamientos analizados.....	53
figura 4 Evaluación de semillas de maíz nacidas en abono orgánico vs tierra	55
figura 5 Evaluación de la cinética de crecimiento del maíz durante 4 semanas en los 3 tratamientos experimentales y un tratamiento control.....	56
figura 6 aluación del crecimiento en la semana 4 en los diferentes tratamientos.....	58
figura 7 Evaluación de nacimiento de plántulas de semillas de pasto en abono orgánico vs tierra	59
figura 8 Evaluación de la cinética de crecimiento del maíz durante 4 semanas en los 3 tratamientos experimentales y un tratamiento control.....	60
figura 9 Evaluación del crecimiento en la semana 4 en los diferentes tratamientos.....	61

Lista de imágenes

	pag
imagen 1 Recolección de heces caninas	39
imagen 2 Manejo de heces con aditivos	39
imagen 3 Montaje de sistema de compostaje	40
imagen 4 Diseño de puerta de acceso al abono	40
imagen 5 Orden de las composteras	44
imagen 6 Medición de pH.....	46
imagen 7 Medición de tempera	45
imagen 8 Recolección de lixiviados	46

Lista de apéndices

	pág.
Apéndice A Germinación de maíz y siembra en abono orgánico	69
Apéndice B preparación de terreno	69
Apéndice C. Tratamientos del abono orgánico	69
Apéndice D. Siembra de pasto en abono.....	69

Glosario

Abono orgánico: Los abonos orgánicos incluyen todos los que provienen de animales y vegetales a partir del cual las plantas pueden adquirir grandes volúmenes de nutrientes, Con la degradación de estos fertilizantes, el suelo se enriquece con carbono orgánico y optimiza sus atributos físicos, químicos y biológicos. (Charris, & Flórez, 2014).

Aprovechamiento: Es la actividad adicional al servicio público de higiene que se realiza, implica la recogida de desechos aprovechables que se separan en el lugar de origen por los residuos por los usuarios se hace el traslado selectivo hasta el lugar de clasificación y uso o hasta la planta de utilización, junto con su categorización y pesaje. (Charris & Flórez 2014).

Compost: Resultado obtenido del proceso de compostaje. Está formado principalmente a través de materia orgánica consolidada. (Docampo,2013)

Compostaje: Procedimiento donde la materia orgánica presente en los desechos se transforma en una forma más estable, disminuyendo su volumen y generando un material adecuado, para la agricultura y la restauración de suelos. (Peña & Malagón, 2007)

Excrementos caninos: El producto de la digestión y la posterior absorción de los nutrientes alimenticios que se consumen están compuestos principalmente de las sustancias sólidas como el agua, las fibras y la celulosa se encuentran entre las sustancias sólidas que no se pueden filtrar Sustancias inorgánicas, grasas, bacterias. (Torres, 2022)

Residuo sólido: El foco principal está en un objeto, material, sustancia o elemento que resulta del consumo o uso de un producto en entornos domésticos o industriales, presenta colecciones de

carácter comercial, institucional o de servicios por el limpiador público También se considera como el residuo de cernido, que se deriva del barrido y limpieza de vías públicas y vías públicas Poda, poda de árboles y desechos animales, dividiéndose en materiales aprovechables y no aprovechables. (Romero, 2024)

Residuo sólido aprovechable: Cualquier sustancia, objeto o elemento que no sirve a quien lo crea, pero que puede ser explotado reutilizar para una nueva fase en un proceso más eficiente. (Hernández & Ilescas, 2025)

Salud ambiental: El bienestar ambiental constituye un elemento fundamental importante de la salud pública Mejorando la calidad de vida teniendo en cuenta a la persona otro miembro del ecosistema. Por lo tanto, los factores ambientales que afectan la salud de nuestra población no se limitan a factores físicos, químicos o biológicamente, hay otros factores que influyen ecosistemas, entre ellos el cambio climático, biodiversidad y deforestación; impacto directo e indirecto Calidad de vida para individuos, familias y grupos. (Romero, 2024)

Zoonosis: son el grupo de enfermedades que impactan a los animales, que bajo ciertas circunstancias pueden ser transmitidos al ser humano y a la inversa. Hoy en día, estas enfermedades constituyen un elevado porcentaje de las personas. molestias registradas en numerosos países y que son el origen de significativas enfermedades, y de significativas dificultades, tanto para la salud de los animales como para la salud humana y comunitaria. (Santacruz & Flórez, 2014).

Pila: Depósito o lugar donde se hallen las materias que se están compostando. (Santacruz & Flórez, 2014).

Biol: Es un fertilizante orgánico líquido producido mediante la descomposición de materia orgánica como desechos animales, plantas verdes y frutas en ausencia de oxígeno. (ECOBIOGAS, 2015)

Ecocatalizador: El catalizador Bio-Orgánico está concebido para impulsar y agilizar las acciones de estimulación y aceleración, reacciones biológicas propias que provocan la degradación de elementos orgánicos. (Castaño, 2020).

Heces: Grupo de residuos sólidos o líquidos que conforman el producto terminado, procedimiento de la digestión. (Díaz Roa, C. A. 2020)

PH: Evaluación de la acidez o alcalinidad de un compuesto, es el coeficiente negativo de la cantidad de iones hidrógenos, una escala cuantitativa empleada para evaluar la acidez y fundamentalidad de un compuesto, valor absoluto del logaritmo decimal de la concentración iónica en términos absolutos, actividad del hidrógeno, aplicado como marcador de acidez (pH menor a 7) o de alcalinidad (pH superior a 7). (Díaz, 2020)

Temperatura: La calidad de los materiales compostables cambia durante el proceso de compostaje diferentes etapas del proceso debido a la interacción de diferentes grupos microorganismo, después de dos a seis días, la temperatura supera los 45°C, dado que el metabolismo microbiano es exotérmico, durante este proceso, durante la descomposición, se libera calor, lo que hace que la temperatura aumente. (Santacruz & Flórez, 2014).

Resumen

Título: Implementación de un biodigestor para el aprovechamiento de heces caninas en la producción de abono orgánico en Málaga, Santander*

Autor: Gelver Antonio Mesa Fonseca *

Palabras Clave: compostaje, patógenos zoonóticos, desechos sólidos, salud pública, fertilizante orgánico catalizador.

Descripción

La gestión de los residuos generados por animales de compañía representa un desafío tanto ambiental como sanitario. En particular, las heces caninas pueden considerarse un subproducto factible para la obtención de insumos de interés agrícola. En este contexto, la presente investigación se orientó a identificar una alternativa de aprovechamiento de las heces caninas, mediante su transformación en abono orgánico a través de tres estrategias de compostaje. Para ello, se establecieron tres tratamientos T1 -heces con aserrín, T2- heces con desechos de cocina y T3-heces con aserrín y desechos de cocina, todos con catalizador. El proceso de compostaje tuvo una duración de 29 semanas, durante las cuales se monitorearon semanalmente el pH y la temperatura en cada tratamiento, así como el volumen y el pH de los lixiviados. Para evaluar la efectividad del compostaje sobre el desarrollo vegetativo, se midió el crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) y pasto de corte (*Pennisetum purpureum*), registrando la altura en centímetros durante cuatro semanas en los dos tratamientos y en un grupo control, en el cual se empleó un sustrato tradicional. Los resultados mostraron que no hubo diferencias en la temperatura y el pH entre los tratamientos ($p > 0,05$). Sin embargo, en el desarrollo vegetativo de las plantas se encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$), destacándose el compost elaborado con residuos. La transformación de heces caninas mediante compostaje, empleando diversos tipos de sustratos, como resultado un producto orgánico estabilizado, con un pH próximo al neutro y libre de olores ofensivos, estas características indican que el material alcanzó un grado adecuado de madurez, lo que respalda su potencial uso como enmienda orgánica para suelos. A lo largo de las 29 semanas de monitoreo, la evolución del pH y la temperatura evidenció que, pese a las diferencias observadas entre los tratamientos, todos lograron alcanzar un nivel de estabilidad adecuado, coherente con los parámetros requeridos para obtener un compost de buena calidad.

* Trabajo de Grado*

** Instituto de Proyección Regional y Educación Distancia - IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Luisa Mendoza PhD(c) Biología Molecular y Biotecnología Codirector: José Eduardo Acevedo Espinel. Especialista etiología.

Abstract

Title: Implementation of a biodigester for the use of dog feces for the production of organic fertilizer in Malaga, Santander*

Author(s): Gelter Antonio Mesa Fonseca *

Key Words: composting, feces, solid waste, public health, organic fertilizer catalyst.

Description

The management of waste generated by pets represents both an environmental and a health challenge. In particular, dog feces can be considered a feasible by-product for obtaining inputs of agricultural interest. In this context, the present research aimed to identify an alternative use for dog feces by transforming them into organic fertilizer through three composting strategies. To this end, three treatments were established: T1 - feces with sawdust, T2 - feces with kitchen waste, and T3 - feces with sawdust and kitchen waste, all with a catalyst. The composting process lasted 29 weeks, during which the pH and temperature of each treatment were monitored weekly, as well as the volume and pH of the leachates. To evaluate the effectiveness of composting on vegetative development, the growth of corn (*Zea mays*) and cut grass (*Pennisetum purpureum*) plants was measured, recording the height in centimeters for four weeks in the two treatments and in a control group, in which a traditional substrate was used. The results showed that there were no differences in temperature and pH between the treatments ($p > 0.05$). However, significant differences ($p < 0.001$) were found in the vegetative development of the plants, with compost made from waste standing out. The transformation of dog feces through composting, using various types of substrates, resulted in a stabilized organic product with a pH close to neutral and free of offensive odors. These characteristics indicate that the material reached an adequate degree of maturity, which supports its potential use as an organic soil amendment. Throughout the 29 weeks of monitoring, the evolution of pH and temperature showed that, despite the differences observed between treatments, all achieved an adequate level of stability, consistent with the parameters required to obtain good quality compost.

Thesis*

** Institute for Regional Outreach and Distance Education (IPRED). Animal Husbandry Program.
Director: Luisa Mendoza PhD(c) Molecular Biology and Biotechnology Co-director: José Eduardo Acevedo Espinel. Etiology specialist.

Introducción

El número de canes en todo el mundo se ha incrementado de manera constante durante las últimas décadas. Según datos de la Federación Mundial Canina, se estima que existen aproximadamente 700 millones de perros en el planeta. Esta tendencia refleja no solo el crecimiento demográfico, sino también el papel cada vez más importante de los perros como animales de compañía. En el caso de Colombia, el Ministerio de Salud y Protección Social reportó en su informe Vacunación antirrábica de canes y felinos en Colombia, año 2017 una población cercana a cinco millones de perros (Sánchez & Ávila, 2020).

Con base en estas cifras, surge la necesidad de identificar y evaluar estrategias sostenibles de disposición final que permitan un manejo y aprovechamiento adecuado de las heces caninas, considerando su impacto potencial en la salud pública y el ambiente. En diferentes países se han desarrollado programas innovadores para mitigar este problema: por ejemplo, en Canadá, la ciudad de Toronto implementó el proyecto Dog Waste to Energy, mediante el cual los desechos de los parques caninos son recolectados y transformados en biogás y energía eléctrica a través de biodigestores anaeróbicos (City of Toronto, 2021). De manera similar, en España (Madrid y Barcelona) se han impulsado campañas municipales que promueven el compostaje comunitario de heces caninas, combinadas con residuos vegetales, para generar abonos orgánicos destinados a áreas verdes urbanas (Ayuntamiento de Madrid, 2020).

El objetivo principal de este estudio es evaluar la transformación de heces caninas en abono orgánico mediante tres estrategias de compostaje con diferentes sustratos, con el fin de determinar su potencial como fertilizante en el desarrollo vegetativo de plantas de interés zootécnico y

contribuir a la sensibilización ciudadana sobre la adecuada recolección y disposición de los excrementos de mascotas.

A diferencia de otros residuos orgánicos, los excrementos caninos presentan un alto contenido de nutrientes esenciales para las plantas, como nitrógeno, fósforo y potasio; sin embargo, también pueden contener patógenos que representan un riesgo para la salud pública. Experiencias en México y Chile han demostrado que el uso de biodigestores caseros y comunitarios, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, permite reducir de manera significativa la carga microbiana, logrando un abono seguro y estable (Núñez & Rivas, 2021). En la ciudad de Puebla (México), por ejemplo, proyectos piloto liderados por universidades locales han logrado transformar excretas caninas en compost libre de patógenos y apto para uso ornamental (Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla UPAEP, 2020).

En el contexto colombiano, algunos municipios como Medellín y Bogotá han comenzado a promover campañas de responsabilidad ambiental y recolección de residuos de mascotas, mientras que organizaciones comunitarias y protectoras de animales han explorado procesos de compostaje artesanal con resultados prometedores (Alcaldía de Medellín, 2022; (Instituto Distrital de Protección y Bienestar Animal IDPYBA, 2021).

En el municipio de Málaga, Santander, los excrementos caninos se encuentran dispersos en distintos espacios públicos, generando problemas de salud pública y contaminación ambiental. Con el fin de ofrecer una alternativa sostenible, se implementó un proceso de compostaje utilizando materia fecal canina recolectada con el apoyo de fundaciones de protección animal. El abono se elaboró en biodigestores caseros reciclables durante un periodo de 29 semanas, realizando pruebas físicas y químicas en las diferentes etapas de transformación y bajo distintos

tratamientos de compostaje. Como resultado, se obtuvieron tanto materia orgánica estabilizada como lixiviados, los cuales fueron aplicados en especies forrajeras (maíz y pasto de corte) para evaluar su efecto sobre el crecimiento vegetal (Nemiroff & Patterson, 2007).

¿estas heces caninas pueden ser abono orgánico? ¿qué potencial tienen las heces caninas?

Esta experiencia local busca integrarse a la tendencia global de economía circular y gestión sostenible de residuos orgánicos, demostrando que incluso los desechos de las mascotas pueden ser aprovechados mediante tecnología apropiada, educación ambiental y participación ciudadana.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

¿De qué manera la transformación de heces caninas mediante tres estrategias de compostaje con distintos sustratos influye en su viabilidad como abono orgánico para el desarrollo vegetativo de plantas de interés zootécnico, y cómo puede este proceso contribuir a la sensibilización ciudadana sobre la recolección y disposición adecuada de los excrementos de mascotas?

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia de tres estrategias de compostaje con diferentes sustratos en la transformación de heces caninas en abono orgánico.
- Evaluar el efecto del abono obtenido sobre el desarrollo vegetativo de maíz (*Zea mays*) y pasto de corte (*Pennisetum purpureum*).

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 Panorama de la tenencia de mascotas a nivel mundial, nacional y regional

Los perros han acompañado históricamente al ser humano, brindando compañía, protección y apoyo en diversas actividades como la seguridad, la detección de enfermedades o manejo de rebaños. Su presencia aporta bienestar y calidad de vida a las personas; sin embargo, los problemas asociados a los caninos no provienen de ellos, sino de la falta de responsabilidad de sus tenedores. Cuando los dueños permiten que los animales deambulen sin control o no se hacen cargo de la recolección de sus excretas, se generan riesgos para la salud pública, accidentes de tránsito y conflictos de convivencia. En este sentido, el manejo inadecuado de los perros en las ciudades evidencia la necesidad de fortalecer la educación ciudadana y el compromiso de las autoridades y fundaciones protectoras, con el fin de garantizar tanto el bienestar animal como la sana convivencia con la comunidad (Estrada. & Ortiz 2023).

En Colombia, para el año 2020 se estimaron alrededor 5 millones de perros. (Sánchez & Ávila, 2020) En Bogotá, habitan cerca de 1.200.000 animales, en su totalidad caninos, los cuales realizan sus necesidades fitosanitarias en promedio dos veces al día, en consecuencia, se crea un alto volumen de heces fecales que está siendo ignorado y puede afectar la salud pública. (Estrada & Ortiz, 2023).

2.2 Residuos generados por mascotas

Forero et al. (2020) indican que la cantidad de fibra que consume un perro influye directamente en el tamaño de sus heces: a mayor consumo de fibra, más voluminosas serán. En promedio, los canes de tamaño mediano producen alrededor de 200 a 600g de heces por

día Rivera & Castañeda, 2017). La cantidad exacta depende de varios factores, como su tamaño, la dieta (ya que una mayor cantidad de fibra aumenta el volumen) y su capacidad digestiva. En general, mientras más alimento consume, mayor será la cantidad de heces, a continuación se presenta una estimación del volumen de heces para 1200 caninos:

En una población estimada de 1.200 perros, considerando un promedio de 2 deposiciones diarias por animal, se generan aproximadamente 2.400 depósitos fecales cada día. Si cada uno de estos depósitos tiene una masa promedio de 600g, esto significa que, en conjunto, los perros de esta comunidad generan alrededor de 1.4 toneladas de heces por día, lo que evidencia la magnitud del impacto potencial sobre el entorno urbano, la salud pública y la gestión de residuos.

2.2.1 Cálculo diario

Considerando una población estimada de 1.200 perros en el área de estudio, y asumiendo un promedio de dos deposiciones diarias por animal, se calcula una generación total de 2.400 excretas por día. Si cada una de estas deposiciones tiene una masa promedio de 600g. lo que permite calcular la carga total de materia fecal generada por día:

$$2.400 \text{ depósitos} \times 600 \text{ g} = 1.440.000 \text{ g/día}$$

Al convertir esta cantidad a kilogramos, se obtiene un total de 1.440 kg de heces caninas por día, lo que equivale a 1.44 toneladas diarias, este volumen significativo de residuos orgánicos evidencia la necesidad de implementar estrategias de manejo responsable, como la recolección sistemática, el tratamiento mediante compostaje y la educación ciudadana sobre la disposición adecuada de excrementos de mascotas. Además, estos datos respaldan la viabilidad de aprovechar

este residuo como materia prima para la producción de abono orgánico, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la mejora de la salud pública. (Bernal,2020)

Con base en la estimación diaria de 1.440 kilogramos de heces caninas, generados por una población aproximada de 1.200 perros, se proyecta que en un periodo de 30 días se acumulan alrededor de:

$$1.440 \text{ kg/día} \times 30 \text{ días} = 43.200 \text{ kg/mes}$$

Esto equivale a 43.2 toneladas mensuales de residuos orgánicos de origen animal, lo que representa una carga significativa para el entorno urbano y los sistemas de gestión ambiental. Esta cifra refuerza la necesidad de implementar estrategias sostenibles como el compostaje controlado, la recolección responsable y la educación ciudadana sobre la disposición adecuada de excrementos de mascotas, además este volumen mensual puede ser aprovechado como insumo para la producción de abono orgánico, contribuyendo al desarrollo de plantas de interés zootécnico y a la reducción de impactos negativos sobre la salud pública y el paisaje urbano. (Bernal,2020)

Estas deposiciones, al ser desechadas de forma inadecuada, contaminan el suelo y las fuentes hídricas de agua potable, lo que representa un desafío constante para los dueños de mascotas (Center for Watershed 1999; De Frenne et al., 2022; Hobbie et al., 2017). Con frecuencia, los desechos caninos terminan en sumideros junto con bolsas plásticas utilizadas para su recolección. Estas bolsas, al ser mayoritariamente no biodegradables, impiden una descomposición segura de las heces, favoreciendo la contaminación por patógenos y contribuyendo al aumento de la contaminación ambiental (Cárdenas, 2021).

Por otro lado, las bolsas de plástico que se utilizan para recoger los excrementos de perro consiguen contaminar el medio ambiente, con un aproximado de 415 mil millones de bolsas de desechos de caninos utilizadas cada año a nivel mundial (Mai et al., 2022). En su mayoría estas bolsas de residuos de perro son utilizadas una sola vez y están creadas de materiales no renovables como petroquímicos de combustibles fósiles (Mai et al., 2022; Rydz et al., 2014). Estas bolsas de plástico con materiales sintéticos añadidos que proporcionan la ruptura rápida en micro plásticos cuando se exhiben a la luz solar y al calor (Narayan, 2017)

2.3 Microorganismos

La exposición a bacterias y parásitos patógenos presentes en las deposiciones caninas representa un riesgo significativo para la salud humana. Estas bacterias y parásitos pueden estar presentes incluso en las heces de perros aparentemente sanos, además, pueden sobrevivir en el ambiente durante semanas o incluso meses (Chaban et al., 2010; Stracke et al., 2020).

Las heces fecales de los caninos tienen una extensa diversidad de microorganismos, los cuales pueden representar riesgos para la salud pública y el medio ambiente, las heces se desintegran y liberan partículas al aire, contaminando el suelo y el agua (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades 2022; Overgaauw & vanKnapen, 2000).

Tabla 1

Bacterias patógenas

Microorganismos	Morfología/Fisiología	Enfermedades asociadas	Observaciones clave
Salmonella spp	Bacilos móviles, no esporulados	Gastroenteritis, fiebre tifoidea, septicemia	Alta resistencia ambiental
Campylobacter spp	Gramnegativas, curvadas en espiral	Gastroenteritis aguda	Zoonótico, prevalente en países en desarrollo
E. coli O157:H7	Bacilo gramnegativo, toxina Shiga	Colitis hemorrágica, SUH	Alta virulencia, brotes alimentarios
E. coli enterotoxigénica (ETEC)	Produce enterotoxinas	Diarrea del viajero, infantil	Frecuente en países en desarrollo
E. coli enteropatógena (EPEC)	Adhiere a células intestinales, destruye microvellosidades	Diarrea acuosa en niños pequeños	Importancia pediátrica
E. coli enteroinvasiva (EIEC)	Invade y destruye células del colon	Disentería con sangre y moco	Similar a Shigella
E. coli enteroagregativa (EAEC)	Forma biopelícula sobre epitelio intestinal	Diarrea persistente	Afecta a niños e inmunodeprimidos
E. coli uropatógena (UPEC)	Coloniza tracto urinario	Infecciones urinarias (ITU)	No entérica, principal causa de ITU
Clostridium spp (ej. C. difficile)	Bacilos formadores de esporas resistentes	Colitis pseudomembranosa	Riesgo hospitalario, alta resistencia ambiental
Shigella spp	Bacilos gramnegativos, no móviles	Shigelosis (disentería bacilar)	Transmisión fecal-oral, impacto en comunidades vulnerables

2.4 Parásitos intestinales

2.4.1 *Toxocara canis*

Presente principalmente a perros, especialmente cachorros. Pertenece a la familia Ascarididae y es el agente etiológico de la toxocaríais humana, una zoonosis de importancia en salud pública, especialmente en regiones con condiciones sanitarias deficientes. La ascariidiasis es producida por nematodos de los géneros *Ascaris*, *Toxocara*, se encuentra en intestinos, hígado, pulmones, etc. perros y gatos, la transmisión es directamente de animal a animal o de animal a humano o a través del suelo, agua, vegetales o los objetos que contienen huevos de parásitos pueden transmitirse a través de vectores pasivos. (Castellanos, Rodríguez & Santos, 2011).

2.4.2 *Ancylostoma spp*

Género de nemátodos parásitos intestinales que afectan principalmente a mamíferos, incluidos humanos, perros y gatos. Son conocidos como “gusanos ganchudos” por la forma curva de su extremo anterior, y son agentes causales de la anquilostomiasis, una enfermedad parasitaria de importancia médica y veterinaria. (Ríos, Arias, Gómez, Pérez, Cadavid & Jaramillo, 2023).

2.4.3 *Dipylidium caninum*

Cestodo parásito (gusano plano segmentado) que afecta principalmente a perros y gatos, aunque puede infectar a niños de forma accidental. Es conocido como la “tenia del perro” Su ciclo de vida involucra hospedadores intermediarios como pulgas y piojos. (Ramírez, 2022)

2.4.4 *Giardia*

Parásito microscópico que se aloja en el intestino del ser humano y de algunos animales. Aunque es diminuto e invisible al ojo humano, puede generar grandes molestias como diarrea, dolor abdominal, náuseas y cansancio (Salazar, 2021).

2.4.5 *Blastocystis spp*

Parásito intestinal muy común en todo el mundo, aunque todavía rodeado de cierto misterio, ya que no siempre provoca síntomas. En algunas personas puede asociarse con dolor abdominal, diarrea o malestar general, mientras que en otra pasa inadvertida. (Catacora, 2022).

2.4.6 *Entamoeba sp*

Grupo de parásitos microscópicos que viven en el intestino humano. Aunque algunas especies no causan problemas, otras pueden provocar enfermedades intestinales, generando diarrea, dolor abdominal e incluso cuadros más graves si llegan a otros órganos. (Lema, 2012).

2.4.7 *Taenia spp*

Causa dolor abdominal, pérdida de peso, malestar digestivo e incluso complicaciones más graves si sus larvas migran a otros órganos. (Salazar, 2021).

2.5 Virus

Si bien los virus son menos usuales en heces, algunos de ellos producen problemas gastrointestinales como el parvovirus canino logran estar presentes en perros infectados. (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades 2022; Overgaauw & vanKnapen, 2000).

La eficacia del proceso de compostaje y de otras tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos depende, en gran medida, de alcanzar temperaturas capaces de inactivar los principales patógenos presentes en la materia orgánica. En este sentido, diversos microorganismos muestran variaciones en la temperatura y el tiempo necesarios para su destrucción, lo que constituye un criterio fundamental para garantizar la inocuidad del producto final. En la Tabla 1 se presentan los rangos de temperatura y los periodos de exposición requeridos para la eliminación de diferentes agentes patógenos de importancia en salud pública y sanidad animal.

Tabla 2*Temperaturas y periodos para la destrucción de patógenos*

Microorganismos	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
<i>Salmonella Tifosa</i>	55-60	30
<i>Salmonela Sp</i>	55	60
<i>Shigela Sp</i>	50	60
<i>Entamoeba Histolitica</i>	45	Pocos segundos
<i>Taenia</i>	55	Poco segundos
<i>Echerichia coli</i>	55	60
Huevos de áscaris	50	60

Nota: adaptado de Charris Santacruz, V. A., & Madariaga Flórez, P. G. (2014).

2.6 Fundamentos teóricos y prácticos del compostaje

El compostaje es un proceso orgánico aeróbico en donde los microorganismos degradan residuos orgánicos para formar compost, un fertilizante natural, reduciendo residuos orgánicos, optimizando la productividad del suelo y reduciendo el uso de fertilizantes químicos, desintegración orgánica de desechos homogenizados bajo diferentes condiciones en este caso aeróbicas hecha de diferentes materiales quedando muy parecido al humus, donde este proceso se realiza por maquinaria o mano de obra humana (Díaz Roa, C. A. 2020).

Varios elementos físicos, químicos y biológicos logran afectar el proceso de compostaje, como lo son temperaturas ambientales, pH, ventilación, humedad y estructura como lo es tamaño, variedad de microorganismos y la correlación carbono a nitrógeno (C: N) Los más importantes propósitos de compostar materia prima en especial orgánica es bajar niveles

de concentraciones de organismos nocivos, que afectan al suelo entre ellas reduciendo malezas a niveles seguros, aplacar la fitotoxicidad de material crudo inestable, produciendo un material orgánico para el suelo que obtenga nutrientes reutilizables con buena biomasa reduciendo los gases de efecto invernadero producidos por desechos inorgánicos (Bernal et al., 2017; Insam & de Bertoldi, 2007).

2.6.1 Vermicompost

El vermicompost, también conocido como estiércol de lombriz, es un abono orgánico obtenido mediante el proceso de vermicompostaje, que utiliza lombrices (principalmente las rojas californianas) para descomponer la materia orgánica, como residuos de comida y hortalizas. Estas lombrices asimilan los restos y los transforman en un estiércol natural rico en nutrientes (Hřebečková et al., 2022).

Sus beneficios mejoran el vigor del suelo, Desarrolla la acción microbiana, mejora productividad del suelo y su aforo para detener agua y nutrientes, actuando como fertilizante nativo rico en fósforo, potasio, nitrógeno y magnesio y calcio, principales para el desarrollo de las plantas, controlando insectos y enfermedades. Contiene microorganismos útiles que ayudan a eliminar patógenos, ayudando a reducir la suma de desechos orgánicos que finalizan en sumideros. (Hřebečková et al., 2022).

2.6.2 Compost con bioinoculantes

Un enfoque moderno para el manejo de residuos orgánicos es el compostaje con bioinoculantes, el cual complementa el proceso tradicional mediante la adición de microorganismos específicos que aceleran y mejoran la descomposición de la materia orgánica. Estos microorganismos, que incluyen bacterias, hongos y virus beneficiosos, contribuyen a

optimizar la eficiencia del compost y a incrementar su valor como fertilizante. (Salas, & Gómez. (2020).

2.6.3 Ventajas del compost con bioinoculantes

El compostaje con bioinoculantes ofrece múltiples ventajas, entre ellas la aceleración del proceso de descomposición gracias a la acción de microorganismos específicos que optimizan la actividad biológica y reducen el tiempo de maduración. Además, mejora la calidad del compost al incrementar la concentración de nutrientes disponibles y favorecer un producto más estable y homogéneo, estos bioinoculantes también contribuyen a la reducción de patógenos y olores, aumentando la inocuidad del abono resultante, al tiempo que enriquecen el microbiota del suelo con microorganismos benéficos que potencian la salud de las plantas. En conjunto, estas características se traducen en una mayor eficiencia agronómica y en un manejo ambientalmente sostenible de los residuos orgánicos. . (Salas, & Gómez. (2020).

2.7 Tipos de bioinoculantes o catalizadores

En los procesos de compostaje, el uso de bioinoculantes se ha consolidado como una estrategia para acelerar la descomposición de la materia orgánica y mejorar la calidad del compost obtenido. Estos microorganismos cumplen funciones específicas que favorecen la transformación de nutrientes, como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la estimulación del crecimiento vegetal mediante metabolitos bioactivos. La tabla 2 resume los principales grupos de bioinoculantes, su función en el compost y ejemplos de microorganismos comúnmente empleados en este tipo de procesos. . (Salas, & Gómez. (2020).

Tabla 3

Binoculantes para compost

Tipo de Inóculo	Microorganismos Principales	Aplicación Recomendada	Beneficios Clave
EM (Microorganismos Eficaces)	<i>Lactobacillus</i> , levaduras, fotosintéticos	6 L por tonelada de compost (2 L en pila, 1 L por volteo)	Acelera descomposición, reduce olores
Inóculo lignocelulósico	Actinobacterias, hongos celulolíticos	Mezclado con residuos ricos en lignina y celulosa	Mejora degradación de residuos vegetales duros.
Compost maduro	Microbiota diverso adaptada al entorno	10–20% del volumen total, del nuevo compost	Inicia colonización microbiana, estabiliza el proceso.
Lombricompost	Bacterias del tracto digestivo de lombriz	10–15% del volumen total	Mejora estructura, aporta enzimas y microorganismos.
Biofertilizantes líquidos	<i>Bacillus</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp.	Diluidos en agua y aplicados por aspersión.	Estimulan actividad microbiana y mineralización.

Nota: adaptado de (Salazar Salas, M. J., & Gomez Andrade, J. J. (2020).

2.8 Compost

El compost es el resultado de la descomposición controlada de materia orgánica, como restos de césped, hojas, residuos de cocina, heces fecales y desechos agrícolas, que se transforma en un producto enriquecido en nutrientes capaz de mejorar la productividad del suelo y favorecer sistemas de cultivo más sostenibles. (Gutiérrez & Villegas, 2004). Este proceso aporta múltiples beneficios tanto al suelo como al medio ambiente: a nivel edáfico, optimiza la estructura del suelo, incrementa la porosidad y la aireación, mejora la capacidad de retención de agua y resulta especialmente útil en suelos degradados. Además, estimula la actividad microbiana, promueve la proliferación de microorganismos benéficos, reduce la erosión, protege las raíces y preserva la superficie del terreno. (Martínez, 2020). Desde la perspectiva ambiental, contribuye a la eliminación de residuos orgánicos, permite compostar hasta el 40% de los desechos domésticos, disminuye la emisión de gases de efecto invernadero y previene la contaminación de suelos y aguas (Tran et al., 2020). Adicionalmente, en el ámbito agropecuario el compost actúa como generador de nutrientes para áreas verdes y cultivos de rápido crecimiento que, con el tiempo, se convierten en alimento para el ganado y otros animales, ofreciendo así un recurso de valor integral en sistemas agropecuarios sostenibles Quintana, Rodríguez, & Torres, 2025). algunas características son:

Color: Rojizo oscuro, muy parecido al del suelo productivo.

Olor: A suelo húmedo; no debe tener olor fétido si está bien en condiciones óptimas.

Textura: Suelta, granulada y uniforme.

Relación C/N: se reduce durante el proceso, generalmente entre 10:1 y 15:1.

Contenido de nutrientes: Rico en fósforo, nitrógeno, potasio y micronutrientes principales. (Núñez, 2024)

2.8.1 Fases del compost

2.8.1.1 Mesófila. fase de proliferación de los microorganismos que se encuentran en la materia orgánica. (Cabrera, 2024)

2.8.1.2 Higienización o termófila. Se caracteriza por ser un proceso aeróbico en el que se genera una variación de temperatura y un pH ácido, lo cual contribuye a la higienización del material tratado. (Arellano, 2024)

2.8.1.3 Fase de enfriamiento o termófilo II. A medida que disminuye la materia orgánica, también se reduce la actividad microbiana, lo que provoca una baja en la temperatura y una menor demanda de oxígeno, en esta etapa, reaparecen microorganismos mesófilos que contribuyen a la degradación de compuestos más complejos, como la celulosa y la lignina. (coronel, 2022)

2.8.1.4 Fase de maduración. El proceso requiere de varios meses a temperatura ambiente, durante los cuales la temperatura debe disminuir hasta alcanzar valores cercanos a los ambientales. Asimismo, el pH se estabiliza, momento en el cual el producto final está listo para ser utilizado. (Arellano, 2024)

2.8.2 Principales características biológicas del compost.

Estas características biológicas se distribuyen en varios ítems los cuales se distribuyen en:

2.8.2.1 Diversidad microbiana: El compost maduro tiene una extensa diversidad de gérmenes, virus hongos, y microbios que favorecen a la mineralización de nutrientes y a la revisión de patógenos. (Villegas, 2023)

2.8.2.2 Acción enzimática. Catalizador como celulasas, proteicas y fosfatas enseñan una admisión acción biológica, lo que beneficia el recurso de alimentos para las vegetaciones. (Buenaño, 2024)

2.8.2.3 Limitación de patógenos. Un compost bien premeditado debe existir libre de microorganismos dañinos tal como *Salmonella o Escherichia coli*, lo que certifica su seguridad para uso agrario. (Carrasquilla, 2022)

2.8.2.4 Capacidad de supresión de enfermedades. Ciertas compostas tienen participaciones supresoras que detienen el progreso de problemas del suelo, gracias a la capacidad infecciosa y la elaboración de metabolitos antimicrobianos. (González, 2020)

Las características químicas del compost son fundamentales porque determinan su calidad como enmienda orgánica y su impacto en la fertilidad y sostenibilidad del suelo, estos parámetros permiten conocer la disponibilidad de nutrientes esenciales, el grado de estabilidad de la materia orgánica y el potencial de uso agrícola del producto final. (Castellanos, 2021)

La Tabla 4 presenta dichas características, incluyendo pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio y relación C/N. Estos indicadores resultan clave para evaluar la madurez y el valor fertilizante del compost, así como su capacidad para mejorar las propiedades químicas del suelo y favorecer el crecimiento vegetal.

Tabla 4*Principales componentes químicos del compost*

Componente	Descripción/importancia
pH	Neutro o ligeramente alcalino (6.0 – 8.0), adecuado para la mayoría de los cultivos.
Nitrógeno (N)	Presente en formas disponibles para las plantas, como nitritos y amonios. Valor esperado: 1–3 % del peso seco En compost, parte del nitrógeno se convierte durante la desintegración, por eso suele permanecer entre 1 y 3 %.
Fosforo (P)	Esencial para el desarrollo de raíces y la floración. Valor esperado: 0.5–1 % del peso seco el compost de canino el fosforo aporta menos cantidad que el nitrógeno.
Potasio (K)	Fundamental para la resistencia de las plantas y el crecimiento de frutos. valor querido 0.5–1.5 % del peso seco.
Micronutrinetes	Incluye azufre, magnesio, hierro, zinc, calcio y cobre en cantidades variables.
Materia orgánica	Contiene altos niveles de carbono orgánico, mejora la estructura del suelo y la retención de agua.
Relación C/N	Ideal entre 10:1 y 20:1; un equilibrio adecuado indica compost estable y de calidad.
Conductividad eléctrica	Debe mantenerse en niveles adecuados para evitar salinidad excesiva; valores aceptables suelen ser menores a 5 dS/m.

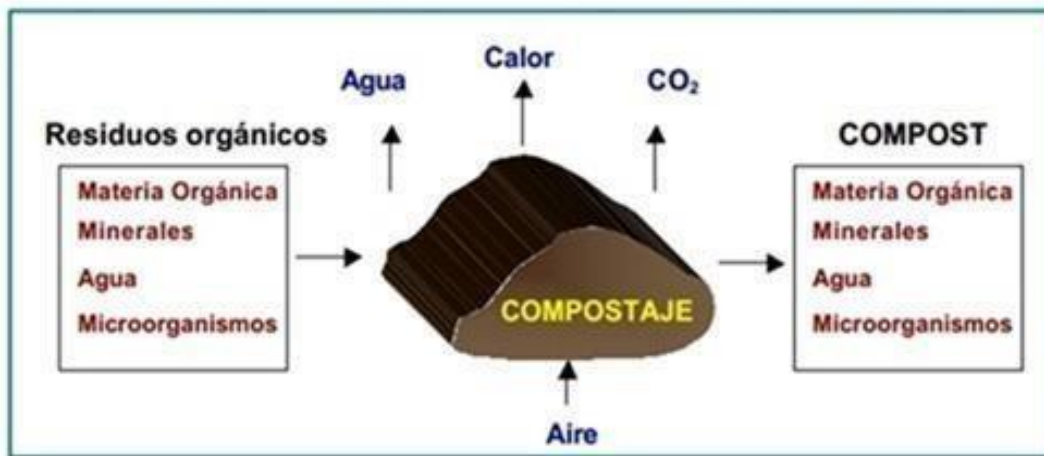
Para hacer el compostaje correcto como se muestra en la figura 1 se requieren residuos ricos en carbono: hojas secas, cascarilla, aserrín, residuos de cocina, también se necesitan residuos ricos en nitrógeno: heces, pasto de pradera o de corte, es indispensable añadir agua y algún tipo de bacteria o vinculante para acelerar la degradación de los residuos orgánicos. (Bohórquez, 2019).

En el nivel de humedad si la humedad es baja, el proceso de compostaje se ralentiza, Si hay exceso de humedad, se generan malos olores por falta de oxígeno, para evitar esto, es necesario voltear la pila regularmente. (Ortiz, 2020)

La etapa de biodegradación concluye cuando el material comienza a estabilizarse, sin embargo, el compostaje aún no se considera completamente finalizado en ese punto. (Trasviña, Garibay & Jaguey, 2024).

Figura 1

Balace de un procesó de compostaje



Nota. Adaptado de Charris Santacruz, V. A., & Madariaga Flórez, P. G. (2014)

2.8.3 Estándares de calidad del compost

Las prohibiciones sobre las rutinas del material orgánico compostado se establecen en cargo de la disposición del compost, el compost de buena disposición se obtiene utilizar sin reservas para optimizar el suelo sin peligros representativo para la salud humana ni la contagio climáticas ambientales (Bernal et al., 2017) La eficacia del compost se calcula por las condiciones de preparación del terreno. (p. ej., duración, pH, humedad), el aumento de nutrientes aprovechables para los vegetales, la limpieza de patógenos, los contaminantes artificiales (p. ej., metales pesados, pesticidas) y los contaminantes físicos (p. ej., plástico, vidrio, piedras) (Ortiz, 2020)

2.9 Compostaje aeróbico y anaeróbico

El compostaje aeróbico, cuando se realiza bajo condiciones adecuadas, asegura la inactivación de agentes patógenos y la obtención de un producto seguro para su uso agrícola. Por su parte, el compostaje anaeróbico requiere un mayor tiempo de descomposición y se caracteriza porque, en general, no produce olores patógenos. En la Tabla 4 se presentan las diferencias entre ambos procesos, en función de las propiedades deseadas del producto final y de los materiales empleados (Santacruz & Flórez, 2014)

Tabla 5

Comparación entre los procesos del compostaje aerobio y la digestión anaeróbica para el procesamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

Característica	Proceso aeróbico	Proceso anaeróbico
Uso energético	Consumidor neto de energía	Producción neta de energía
Productos finales	Humus	Fangos
Reducción de volumen	Hasta el 50 por 100	Hasta el 50 por 100

Característica	Proceso aeróbico	Proceso anaeróbico
Tiempo de procesamiento	20-30 días	20-40 días
Objetivo primario	Reducción de volumen	Producción de energía
Objetivo secundario	Producción de compost	Reducción de volumen estabilización de residuos

Nota: tomada de Charris Santacruz, V. A., & Madariaga Flórez, P. G. (2014).

3 Composición bioquímica de las heces caninas

Las heces de los perros no son simplemente un desecho, sino una mezcla compleja de componentes bioquímicos que reflejan la dieta, la salud y el metabolismo del animal, en su mayor parte están formadas por agua, aunque también contienen materia orgánica no digerida como restos de proteínas, grasas y fibras. Además, incluyen compuestos nitrogenados derivados de las proteínas (como urea y amoníaco), que influyen en su olor característico. (Francoz, Sivula, Hoppe, et al. 2023)

Otro grupo importante son los minerales y micronutrientes, entre ellos calcio, fósforo, magnesio y trazas de metales como zinc y cobre, que provienen tanto de la dieta como de procesos metabólicos internos. También se encuentran bacterias intestinales vivas y muertas, que forman parte natural del microbiota, así como subproductos de su actividad, como ácidos grasos volátiles. (Fernández, 2024)

Investigadores belgas en cuatro reservas naturales de Gante, en el norte del país, confirmaron que los perros aportan una media de 11 kg de nitrógeno y 5 kg de fósforo al día, por hectárea, lo que implica "un papel importante de la fertilización que hasta ahora se ha pasado por alto" (Swissinfo, 2022) las heces caninas pueden contener parásitos o microorganismos patógenos, lo que convierte su adecuada disposición en una medida esencial de salud pública y ambiental.

(Bohórquez, 2019). En conjunto, esta composición bioquímica no solo revela aspectos de la nutrición y el bienestar del perro, sino que también permite valorar su potencial para ser transformada mediante procesos como el compostaje. (Cruz, 2024).

4 Metodología

Este estudio se llevó a cabo en Málaga, Santander, capital de la provincia de García Rovira. El municipio se localiza sobre la vía central del norte, en el sureste del departamento de Santander, a 124 kilómetros de Bucaramanga. Su territorio presenta tres pisos térmicos: páramo, templado y cálido, lo que le otorga una gran diversidad climática. La temperatura promedio es de 23 °C, con una humedad relativa media del 73 %. (Universidad Industrial de Santander – UIS. 2021). Por la ciudad atraviesa la troncal central del norte, y sus coordenadas geográficas corresponden a 6°42'25.5'' de latitud norte y 72°43'39.9'' de longitud oeste.

4.1 Consideraciones de bioseguridad

Las heces fueron recolectadas en una zona específica de Málaga, al lado del colegio normal superior de Santander, donde se dispuso un recipiente exclusivo para los desechos caninos con un volumen de 20L (Imagen 1). Allí, los habitantes depositaban los residuos de sus mascotas durante una semana donde quedaba lleno, Adicionalmente, la fundación Proyecto 4 Patas aportó heces provenientes de los perros de su albergue. Las heces se recogieron a las 8:00 am cada semana durante de 90 días.

Una vez recolectadas, las muestras se trasladaban en bolsas plásticas grandes hasta el lugar de elaboración del abono orgánico. Durante el proceso, se emplearon medidas de protección personal como guantes de látex y tapabocas, garantizando así seguridad e higiene en el manejo de los residuos (Imagen 2).

Imagen 1*Recolección de heces caninas***Imagen 2***Manejo de heces con aditivos*

4.2 Preparación de los tratamientos-composteras

Para la elaboración del abono orgánico se emplearon recipientes plásticos de 20L que sirvieron como base para conformar las pilas de compostaje. En cada uno de estos recipientes se depositó el excremento, acompañado de diferentes aditivos como la cascarilla de arroz, viruta de aserrín, desechos frutales que favorecieron la descomposición del material. Los recipientes fueron adaptados de manera que permitieran una adecuada aireación gracias a estas condiciones, se aseguró que el compostaje se desarrollara bajo un ambiente aeróbico, es decir, con presencia de oxígeno, lo cual resulta fundamental para que los microorganismos cumplan su función de transformar los desechos en un abono estable, seguro y rico en nutrientes. La degradación aeróbica es un proceso biológico en el que microorganismos como bacterias y hongos utilizan oxígeno para descomponer la materia orgánica. Este proceso genera dióxido de carbono, agua, calor y compuestos minerales que enriquecen el suelo. (Gaitán, Cuadra, & González, 2024)

Se emplearon diferentes tipos de residuos orgánicos que comúnmente son considerados desechos, pero que en este proceso adquirieron un nuevo valor, se trabajó con cascarilla de arroz y aserrín, subproductos de la actividad agrícola y maderera, así como con restos de cocina generados en el hogar. Además, se incluyó material fecal canino, con el propósito de demostrar que, mediante un adecuado manejo, también puede transformarse en un recurso útil, todos estos materiales fueron integrados en el estudio como insumos principales, reafirmando la importancia de dar un aprovechamiento responsable y sostenible a aquello que normalmente se desecha.

El proyecto consta de 3 tratamientos, cada uno con 3 réplicas, de recipientes de plástico colocado verticalmente con las siguientes dimensiones Largo \times 28.5 cm \times alto 36.6 cm, con un volumen de 20 L perforados, en la parte de arriba se colocó un tubo para permitir la aireación y salida de gases y otro tubo en la parte de abajo por la parte frontal para permitir la salida de los lixiviados (Imágenes 3y 4) en la parte de atrás se le hizo una puerta el acceso al abono orgánico, donde también se tomaron los diferentes parámetros físico-químicos del material orgánico.

Imagen 2

Montaje de sistema de compostaje

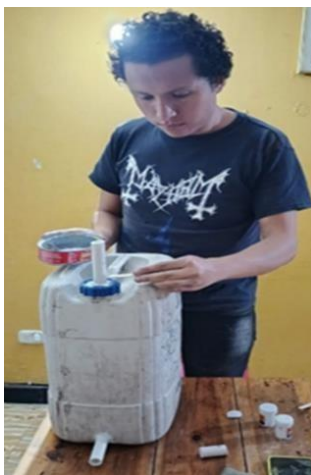


Imagen 1

Diseño de puerta de acceso al abono



Tabla 6

Tratamientos

Tratamiento	Descripción del compostaje
T1	Compost con excremento canino, tierra, viruta de aserrín, bacterias (catalizador) humedecido con agua.
T2	Compost con excremento canino, tierra, cascarilla de arroz más bacterias (catalizador) humedecido con agua.
T2	Compost con excremento canino, tierra desechos frutales y vegetales bacterias (catalizador) humedecido con agua.

Tabla 7

Montajes de los tratamientos

Montaje	Materiales Mezclados	Cantidad Total	Frecuencia de Agitación	Catalizador	Objetivo del Análisis
Montaje 1	Excremento de perro, tierra, viruta de aserrín	24 kg de heces, 4 kg de tierra, 12 kg de viruta	Cada 8 días	Confiabonos (inóculo microbiano)	Reducir patógenos y controlar el olor durante la descomposición orgánica

Montaje 2	Excremento de perro, cascarilla de arroz	de 24 kg de tierra, 4 kg de tierra, 12 kg de cascarilla	Cada 8 días	Confiabonos (inóculo microbiano)	Reducir patógenos y controlar el olor durante la descomposición orgánica
Montaje 3	Excremento de perro, desechos frutales humedecidos	de 24 kg de tierra, 4 kg de desechos frutales	Cada 8 días	Confiabonos (inóculo microbiano)	Reducir patógenos y controlar el olor durante la descomposición orgánica

A cada pila de los tratamientos se le agregaba 1 litro de agua cada 15 días para producción de lixiviados, cada compostera se tardaba en llenar en una semana

4.3 Catalizador biológico (inoculo microbial)

El inóculo microbiano de Confiabonos está diseñado para acelerar la descomposición de los residuos orgánicos y mejorar la calidad del compost. Está compuesto por microorganismos beneficiosos, incluyendo bacterias, levaduras y actinobacterias, que trabajan en conjunto para descomponer la materia orgánica de manera eficiente y natural. Entre las bacterias más importantes que suelen formar parte de este tipo de inóculos se encuentran: *Lactobacillus spp.*, *Bacillus spp.*, *Streptomyces spp* todas estas bacterias ayudan a la degradación de materia orgánica y la fermentación, este inóculo de Confiabonos también ayudó a reducir olores desagradables además es seguro para el medio ambiente y para su uso en la agricultura.

El binoculante se le añadía cada 15 días 4 cm por cada litro de agua, se homogenizaba y se la agregaba a las pilas de compostaje para que degradara la materia orgánica.

4.4 Proceso de compostaje

El proceso de compostaje de las heces de perro se llevó a cabo durante un período de 29 semanas, utilizando pilas en las que se aplicaron los tres tratamientos diferentes establecidos en el estudio. Durante estas semanas, cada tratamiento fue cuidadosamente monitoreado, asegurando que las condiciones de aireación, humedad y mezcla se mantuvieran adecuadas para favorecer la descomposición del material orgánico.

A cada tratamiento se le hizo el respectivo monitoreo de toma de temperatura durante las 29 semanas de compostaje cada semana con un termohigrómetro digital en las composteras o pilas están divididas en cada tratamiento con sus respectivas replicas, el tratamiento 1 (T1) son los recipientes blancos que están a la izquierda con sus respectivos componentes, seguida del tratamiento 2 (T2) que son las pilas de la mitad, y por último el tratamiento 3 (T3) que son los recipientes de la mano izquierda de la imagen, cada pila esta con sus respectivos tubos de salida de gases en la parte de arriba y la salida de lixiviados en la parte de abajo frontal.

Imagen 3

Orden de las composteras

**4.5 Monitoreo físico –químico de compost.****4.5.1 pH**

A cada tratamiento se le realizó la toma de pH cada 3 días con el termohigrómetro digital, para cada pila de cada tratamiento durante el proceso de compostaje. Imagen 6 y 7).

4.5.2 Temperatura

La medición se realizó simultáneamente con el registro de pH, utilizando el termohigrómetro asignado a cada tratamiento. Con este dispositivo, se efectuaron lecturas periódicas en diversos puntos del compost, garantizando que los datos obtenidos representaran de manera fidedigna las condiciones reales del proceso.

Imagen 6*Medición de pH***Imagen 7***Medición de temperatura*

4.6 Recolección de los lixiviados

La recolección de estos líquidos se realizaba de manera segura y práctica. Para cada compostera o pila se colocaba un recipiente conectado al tubo de salida de líquidos, asegurando que la recolección fuera uniforme. Los líquidos se recolectaban semanalmente y se trasladaban recipientes de plástico para su almacenamiento, manteniendo un contenedor separado para cada tratamiento (Imagen 8).

Imagen 8*Recolección de lixiviados***4.7 Preparación de bioensayo general****4.7.1 Siembra y germinación de maíz**

Para la siembra de maíz, se utilizó el abono orgánico derivado de las heces caninas, y tierra. Inicialmente, las semillas se hicieron germinar durante aproximadamente una semana sobre paños humedecidos con agua. Una vez germinadas, se sembraron en canastillas de plástico que contenían el abono orgánico derivado de las heces caninas, y otras canastillas tenían tierra aplicando el tratamiento correspondiente.

Durante un mes, se monitorearon parámetros importantes como longitud de crecimiento cada canastilla tenía tres réplicas del mismo tratamiento, con las semillas distribuidas de manera uniforme en total, se sembraron 105 semillas de maíz por tratamiento, repartidas en 35 semillas por réplica. Este procedimiento se aplicó de igual manera para los tres tratamientos durante todo el mes a partir de la siembra.

4.7.2 Siembra y germinación de pasto

Para la siembra de pasto, se preparó un terreno en condiciones normales como suelo bien preparado, humedad constante, buena exposición solar y temperaturas templadas. Al que se aplicaron los diferentes tratamientos junto con sus respectivas réplicas, tanto en abono orgánico como en tierra. En total, se adecuaron 18 espacios en el terreno: 9 destinados a los tratamientos y 9 a la tierra sin enmendar.

En cada cuadro se sembraron 4 estolones de pasto asegurando la uniformidad en las réplicas. Este proceso se mantuvo durante un mes, tiempo en el cual se midió la etapa de crecimiento de las plantas para posteriormente comparar el desempeño de los sustratos (tierra y abono orgánico).

Para la siembra del pasto de corte (*Pennisetum purpureum*), primero se seleccionaron las semillas en buen estado, asegurando que tuvieran la mejor posibilidad de germinar y crecer saludablemente. Cada semilla elegida se sembró luego en dos tipos de sustrato: abono orgánico y tierra común, con el objetivo de observar cómo influía cada uno en el crecimiento del pasto.

En el caso del abono orgánico, se colocaron cuatro semillas por estolón en cada réplica, aplicando el mismo procedimiento en todas las réplicas de los tres tratamientos evaluados. La tierra recibió la misma cantidad de semillas, garantizando así que la comparación entre los sustratos fuera justa y precisa.

Este proceso permitió monitorear la tasa de crecimiento del pasto de corte de manera controlada, proporcionando información clara sobre qué sustrato favorece mejor el desarrollo de las plantas. De esta manera, se pudo valorar no solo la cantidad de semillas que nacieron, sino

también la vitalidad y el vigor de las plántulas en cada tratamiento, ofreciendo una visión completa del efecto del abono orgánico frente a la tierra común.

4.8 Análisis estadístico

Como se describió previamente para garantizar la efectividad en el proceso de compostaje se deben tener en cuenta diferentes parámetros, en el presente estudio, la evaluación se realizó mediante el monitoreo semanal de pH y temperatura, durante un periodo de 29 semanas, con el fin de describir la cinética de estas variables como indicadores de la dinámica microbiana y del grado de estabilización del material. Para el análisis de estas variables se aplicó un modelo de medidas repetidas, orientado a identificar diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo del tiempo, la representación algebraica se muestra a continuación

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \pi_{j(i)} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación de tratamiento i en la réplica j en el tiempo k

μ = media general

τ_i = efecto fijo del tratamiento i

$\pi_{j(i)}$ = efecto aleatorio de la réplica j dentro de cada tratamiento i

γ_k = efecto fijo del tiempo de la semana

$(\tau\gamma)_{ik}$ = interacción tratamiento * semana

ε_{ijk} = error residual

4.8.1 Bioensayos de crecimiento

Paralelamente, con el propósito de valorar la efectividad agronómica del compost producido, se desarrollaron bioensayos en la fase vegetativa de maíz y pasto de corte durante un

periodo de cuatro semanas, empleando indicadores de crecimiento como variables de respuesta. Se registró la cinética del crecimiento de cada tratamiento a lo largo del ensayo y, al finalizar la cuarta semana, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con el fin de comparar las diferencias entre tratamientos, la representación algebraica se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación en el tratamiento i en la réplica j

μ = media general

τ_i = efecto fijo del tratamiento i

ε_{ij} = error residual

Los datos fueron registrados en Excel 2023 y analizados con el software InfoStat versión 2020 (Rienzo, 2020)

5. Resultados y discusión

5.1 Proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje, los olores desagradables fueron notorios principalmente en las tres primeras semanas, asociados a la intensa descomposición de la materia orgánica. Estos olores disminuyeron progresivamente hasta desaparecer alrededor de la cuarta semana, momento en el cual el compost adquirió un olor natural y terroso característico de un material más estable y con propiedades de abono orgánico. Este comportamiento es consistente con lo reportado en la literatura, donde la fase inicial de compostaje se caracteriza por la emisión de compuestos volátiles como amoníaco, sulfuros y ácidos grasos volátiles, responsables de los olores penetrantes. (González, & Morales, 2021). La reducción de dichos olores a medida que avanza el proceso refleja

la estabilización microbiológica y la transformación de los residuos en un producto menos contaminante y más seguro para su uso agronómico (Tchobanoglous et al., 2002; Haug, 2018).

En cuanto a los lixiviados, su acumulación comenzó a observarse desde el octavo día del compostaje, con volúmenes promedio de 0,4 a 0,6 L por cada litro de agua agregado cada 15 días. Estos líquidos, generados principalmente por la liberación de agua metabólica durante la descomposición de los sustratos, fueron recolectados y almacenados. El análisis de pH mostró un valor final de 6, lo cual indica una ligera acidez para estos lixiviados. Este resultado concuerda con lo señalado por (Sánchez-Monedero et al. 2001) y (Bernal,2009), quienes destacan que un pH en este rango sugiere lixiviados relativamente estables y en proceso de maduración. Además, diversos estudios han señalado que lixiviados con pH cercano a la neutralidad presentan menor riesgo de fitotoxicidad y pueden llegar a tener potencial como insumo agrícola, siempre que se analice su composición química antes de su aplicación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

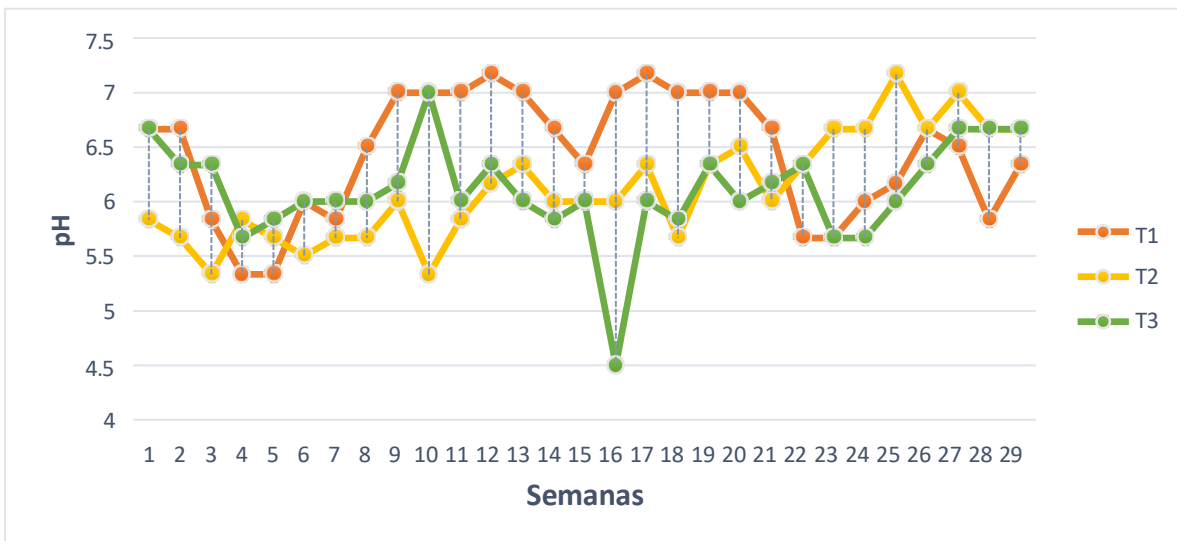
5.2 Monitoreo físico-químico

La evolución del pH durante el proceso de compostaje constituye un indicador clave de la dinámica de descomposición de la materia orgánica y de la actividad microbiana involucrada. A continuación, se presentan los resultados de seguimiento del pH durante 29 semanas para los tratamientos evaluados (T1 -heces con aserrín, T2- heces con desechos de cocina Y T3-heces con aserrín y desechos de cocina, todos con catalizador). En los tres tratamientos, el pH presentó oscilaciones a lo largo del proceso (Figura 2). Durante las primeras semanas se observaron valores relativamente bajos (entre 5,2 y 6,0), lo cual corresponde a la fase inicial de descomposición, donde se generan ácidos orgánicos producto de la degradación de carbohidratos y proteínas.

En las etapas intermedias del ensayo, se registró una tendencia ascendente en los valores de pH, situándose entre 6,5 y 7,0, como resultado de la acción microbiana sobre compuestos ácidos. Este patrón se mantuvo en los tres tratamientos, los cuales finalizaron con valores similares, cercanos a la neutralidad. Tal convergencia sugiere una madurez homogénea del compost, coherente con parámetros de estabilidad química esperados en productos orgánicos bien transformados.

Figura 2

Evaluación de la cinética del pH durante 29 semanas en los 3 tratamientos analizados



Aunque existieron fluctuaciones puntuales (una baja marcada en T3 en la semana 16), la ligera variabilidad entre tratamientos puede atribuirse a diferencias en la composición de los sustratos y a la dinámica propia de la población microbiana. Sin embargo, el hecho de que todos los tratamientos alcanzaran pH finales similares sugiere que, independientemente de la mezcla inicial, el proceso de compostaje logró una estabilización adecuada.

5.2.2 Temperatura

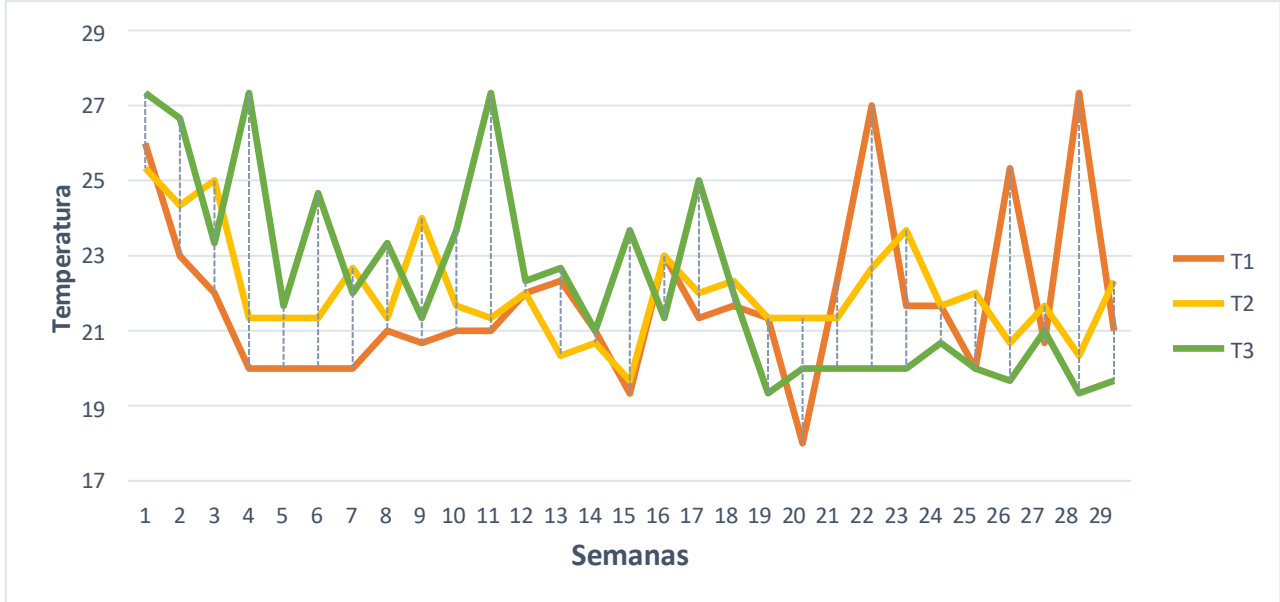
La evolución de la temperatura durante el compostaje es un parámetro fundamental para evaluar la actividad microbiana y el grado de descomposición de la materia orgánica. Los diferentes rangos térmicos (mesófilo, termófilo y de enfriamiento) permiten identificar las fases del proceso y estimar la eficacia del compostaje en términos de higienización, estabilización y maduración.

En la figura 3, se observa la cinética de la temperatura. Los tratamientos mostraron un comportamiento variable de la temperatura, con valores entre 18 °C y 27 °C durante el proceso. En las primeras semanas, las pilas iniciaron con temperaturas superiores a 24 °C, lo que indica una actividad microbiana inicial activa. Sin embargo, en ninguno de los tratamientos se evidenció un ascenso sostenido hacia la fase termófila (>40 °C), permaneciendo mayormente en el rango mesófilo.

Se presentaron fluctuaciones notorias, particularmente en T3 en las semanas 1 a 5 y en T1 hacia las semanas 22, 26 y 28, donde se observaron picos cercanos a 27 °C. En contraste, los valores mínimos oscilaron alrededor de los 18–19 °C, especialmente en T1 y T3 en las fases intermedias y finales. En general, los tres tratamientos tendieron a estabilizarse en rangos cercanos a la temperatura ambiente en las últimas semanas, lo cual sugiere la entrada en la fase de maduración.

Figura 3

Evaluación de la cinética de la temperatura durante 29 semanas en los 3 tratamientos analizados



El hecho de que las temperaturas se mantuvieran en el rango mesófilo durante todo el proceso indica que, aunque existió actividad microbiana, no se alcanzaron las condiciones necesarias para un compostaje termófilo. La fase termófila es importante para garantizar la higienización del material (eliminación de patógenos) y acelerar la degradación de la fracción más fácilmente biodegradable. La ausencia de esta fase puede estar asociada a factores como baja relación C/N, exceso de humedad, deficiente aireación o un volumen de pila reducido que impidió la acumulación de calor.

5.3 Bioensayos de germinación y crecimiento

La comparación entre la siembra en abono y en tierra sin enmendar permite evaluar directamente el efecto del compost producido sobre el crecimiento vegetal. Esta práctica es fundamental para determinar si el abono generado aporta ventajas reales frente a un suelo testigo,

ya que el compost no solo mejora la disponibilidad de nutrientes, sino también la estructura y la capacidad de retención de agua del sustrato. Para comprobar este efecto, se utilizaron bioensayos con maíz (*zea maíz*) y pasto de corte (*Pennisetum purpureum*) especies de importancia agrícola y forrajera que permiten valorar de manera objetiva la eficiencia del compost como enmienda orgánica y su potencial aplicación en sistemas productivos.

5.4 Siembra de maíz (zea mays) en abono orgánico

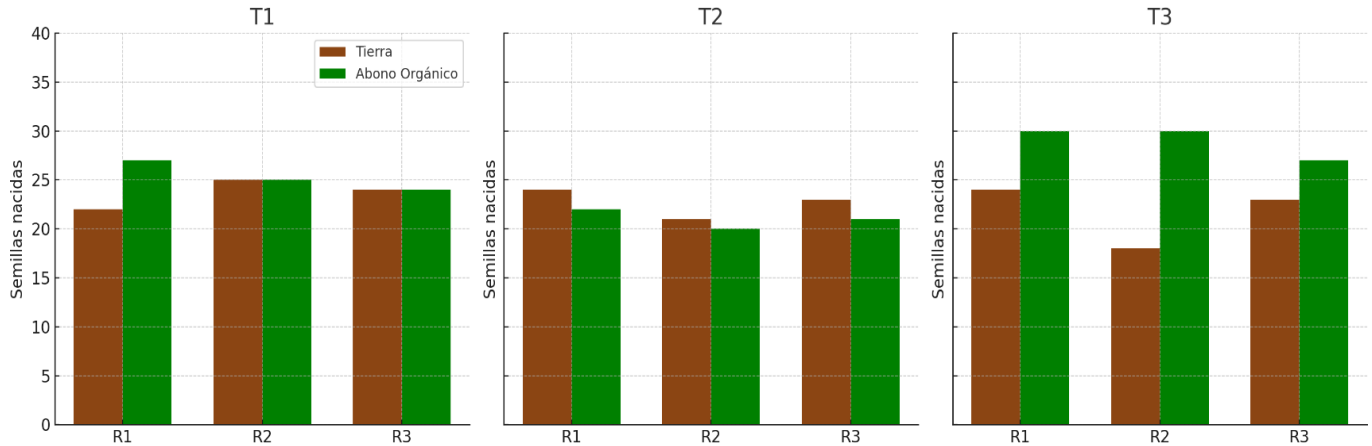
Después de completar el proceso de germinación, que se llevó a cabo durante una semana, las pequeñas plántulas de maíz (*zea maíz*) ya mostraban señales de vida activa: raíces firmes que buscaban expandirse y brotes tiernos que emergían con fuerza. Fue entonces cuando se realizó la siembra en las canastillas preparadas con abono, un momento clave en el desarrollo de la investigación. En cada réplica de los tratamientos se depositaron cuidadosamente 35 semillas, procurando mantener una distribución homogénea para que todas las plantas pudieran crecer en condiciones similares y comparables.

Desde este punto comenzó un seguimiento constante de su crecimiento vegetativo, midiendo variables que reflejaban su fortaleza, adaptación y capacidad de desarrollo. Cada nueva hoja que aparecía y cada centímetro de altura alcanzado representaban no solo datos para el estudio, sino también la evidencia tangible de cómo un forraje puede prosperar cuando se le brinda un sustrato adecuado.

Los resultados de nacimiento del maíz, medidos en términos de órganos fotosintéticos, se presentan en la Figura 4. En este gráfico se observa que el nacimiento de plántulas de las semillas varió según el tratamiento aplicado, comparando el abono orgánico con la tierra común.

Figura 4

Evaluación de semillas de maíz nacidas en abono orgánico vs tierra



El análisis de la figura 4 permite concluir que el nacimiento de plántulas de las semillas de maíz presentó diferencias notables entre los tratamientos evaluados, este gráfico muestra la germinación de semillas de maíz (zea maíz) en dos tipos de suelo: Tierra (marrón) y Abono Orgánico (verde), a lo largo de tres ensayos (T1, T2 y T3), cada uno con tres repeticiones (R1, R2 y R3) T1 Tierra: Mayor germinación en R1 y R3. Abono Orgánico: Resultados similares en R2, ligeramente menores en R1 y R3. Interpretación: T1 (Etapa inicial): No se evidencian diferencias significativas entre los dos sustratos. Ambos presentan valores similares de germinación (20–23 semillas), lo que sugiere condiciones iniciales homogéneas sin efecto marcado del abono.T2 (Etapa intermedia):Se observa una ligera ventaja del abono orgánico sobre la tierra en todas las réplicas (2 semillas más por réplica), indicando que el abono comienza a influir positivamente en la germinación.T3 (Etapa final): La diferencia se resalta: el abono orgánico supera consistentemente a la tierra en cada réplica 2 semillas más, alcanzando los valores

más altos de germinación (hasta 32 semillas en R2). Esto sugiere una mejora progresiva en la calidad del sustrato con abono, posiblemente por mayor disponibilidad de nutrientes y mejor estructura física.

5.5 Crecimiento vegetativo en maíz

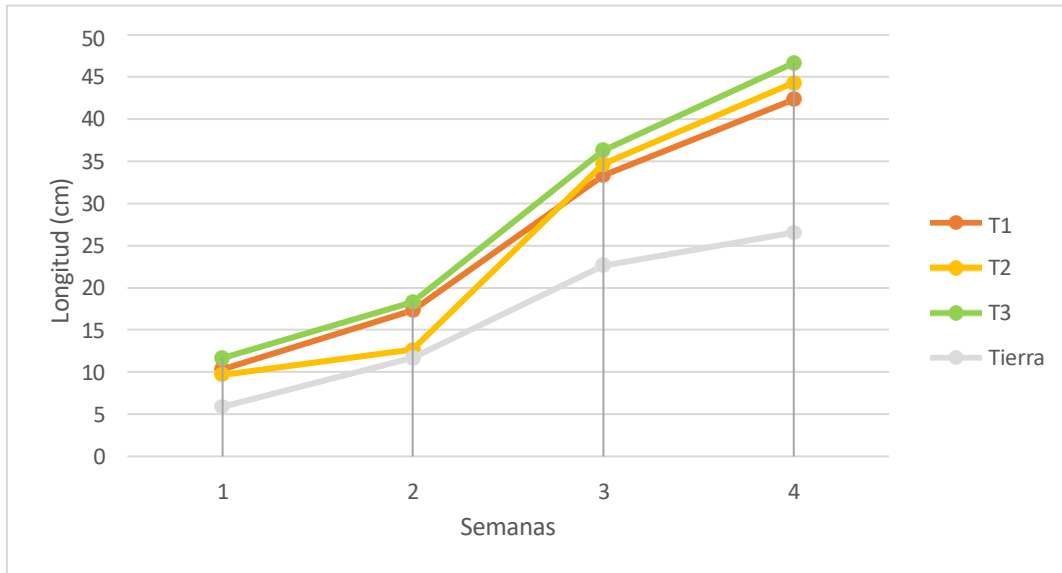
Durante un periodo de cuatro semanas, se evaluó la cinética de crecimiento vegetal en altura como indicador agronómico clave, comparando tres tratamientos con compost (T1, T2 y T3) frente a un control con suelo sin abono.

Los resultados muestran que: Las plantas tratadas con compost presentaron una mayor longitud promedio en comparación con el control, evidenciando un efecto positivo del abono orgánico sobre el desarrollo vegetal. Se observó una tendencia progresiva de mejora en los tratamientos T2 y T3 respecto a T1, lo que sugiere una posible relación entre la madurez del compost y su capacidad de estimular el crecimiento. El control con suelo sin abono mostró menor crecimiento acumulado, lo que confirma la efectividad agronómica del compost como enmienda orgánica.

Los resultados muestran que desde la primera semana las plantas sembradas en compost (T1, T2 y T3) presentaron mayores longitudes en comparación con el control en suelo sin abono. Esta diferencia se acentuó con el paso del tiempo, alcanzando en la semana 4 valores cercanos a los 45 cm en los tratamientos con compost, mientras que el control apenas alcanzó alrededor de 27 cm (Figura 5).

Figura 5

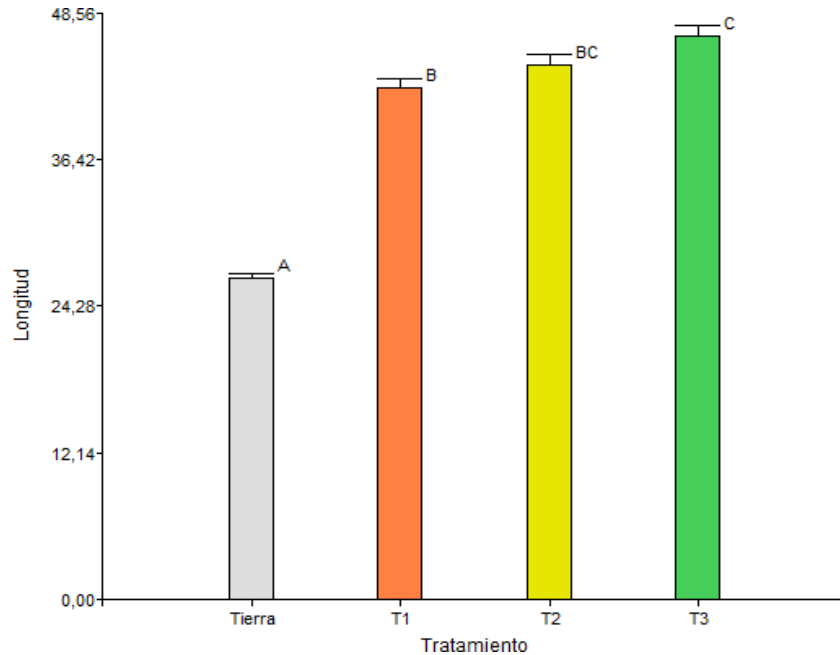
Evaluación de la cinética de crecimiento del maíz durante 4 semanas en los 3 tratamientos experimentales y un tratamiento control



El análisis de varianza en la cuarta semana de crecimiento de maíz evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. La prueba de Tukey mostró que el suelo sin abono (control) presentó la menor longitud promedio, con valores significativamente inferiores (grupo A) respecto a los tratamientos con compost. Entre estos, T1 y T2 registraron valores intermedios (grupos B y BC, respectivamente), mientras que T3 alcanzó la mayor longitud promedio, diferenciándose estadísticamente del control y de T1, y situándose en el grupo C (Figura 6).

Figura 6

Evaluación del crecimiento en la semana 4 en los diferentes tratamientos



Estos resultados confirman el efecto positivo del compost en la promoción del crecimiento del maíz (*maíz sea*) en comparación con el suelo sin abono, lo que se atribuye a la mejora en la disponibilidad de nutrientes y las condiciones físicas del sustrato. El hecho de que T3 presentara la mayor longitud sugiere que la formulación de este compost pudo haber favorecido una mayor mineralización y liberación de nutrientes, lo cual es consistente con la variación en la cinética de pH observada previamente. En contraste, las diferencias más discretas entre T1 y T2 indican que, aunque ambos mejoraron el crecimiento frente al control, su efecto fue menos marcado que el de T3.

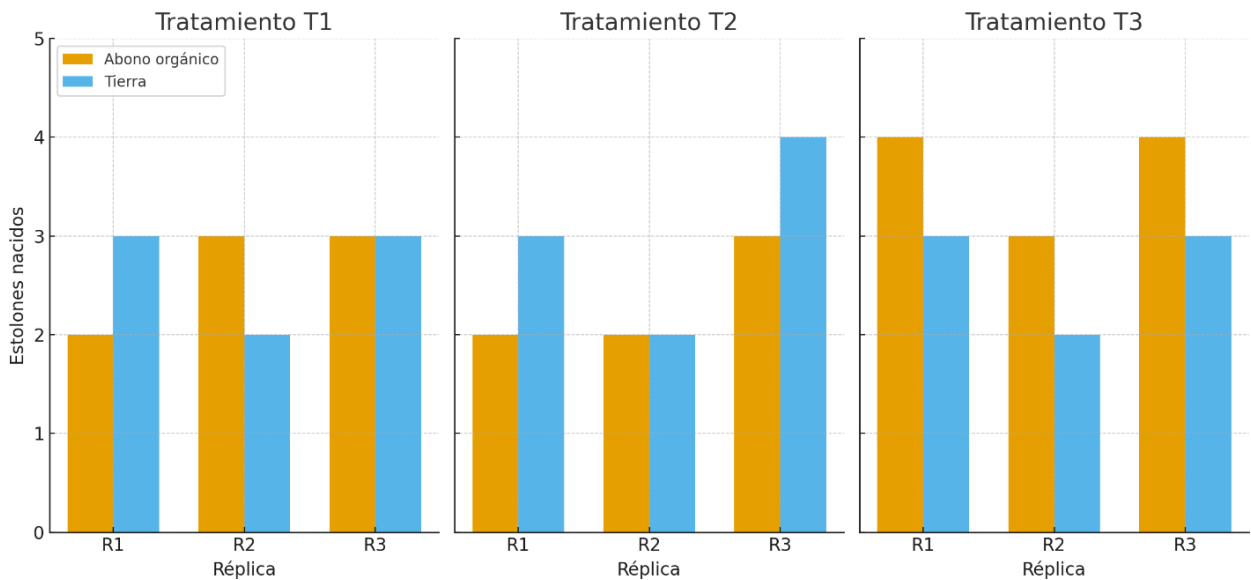
5.6 Germinación pasto de corte (*Pennisetum* sp.)

La Figura 7 muestra los resultados del proceso de germinación del pasto, analizados a partir del desarrollo de órganos fotosintéticos. El gráfico evidencia diferencias en la emergencia de

plántulas según el tipo de tratamiento utilizado, contrastando el uso de abono orgánico frente a tierra común. En cada réplica experimental se sembraron 4 semillas de pasto, tanto en el sustrato con abono como en el de tierra.

Figura 7

Evaluación de nacimiento de plántulas de semillas de pasto en abono orgánico vs tierra



La gráfica 7 compara el número de estolones nacidos en tres tratamientos experimentales (T1, T2 y T3), cada uno con tres réplicas (R1, R2 y R3), bajo dos condiciones de sustrato: abono orgánico (barra naranja) y tierra común (barra azul). Hallazgos clave por tratamiento: En el Tratamiento T1, el abono orgánico mostró una ventaja clara: en todas las réplicas nacieron más estolones que con tierra. Esto sugiere que, desde el inicio, el abono ofrece condiciones más favorables para el desarrollo del pasto. En el Tratamiento T2, la diferencia fue aún más evidente. Especialmente en las réplicas R2 y R3, el número de estolones con abono superó ampliamente al de la tierra. Aquí el abono no solo ayuda, sino que parece ser decisivo. En el Tratamiento T3,

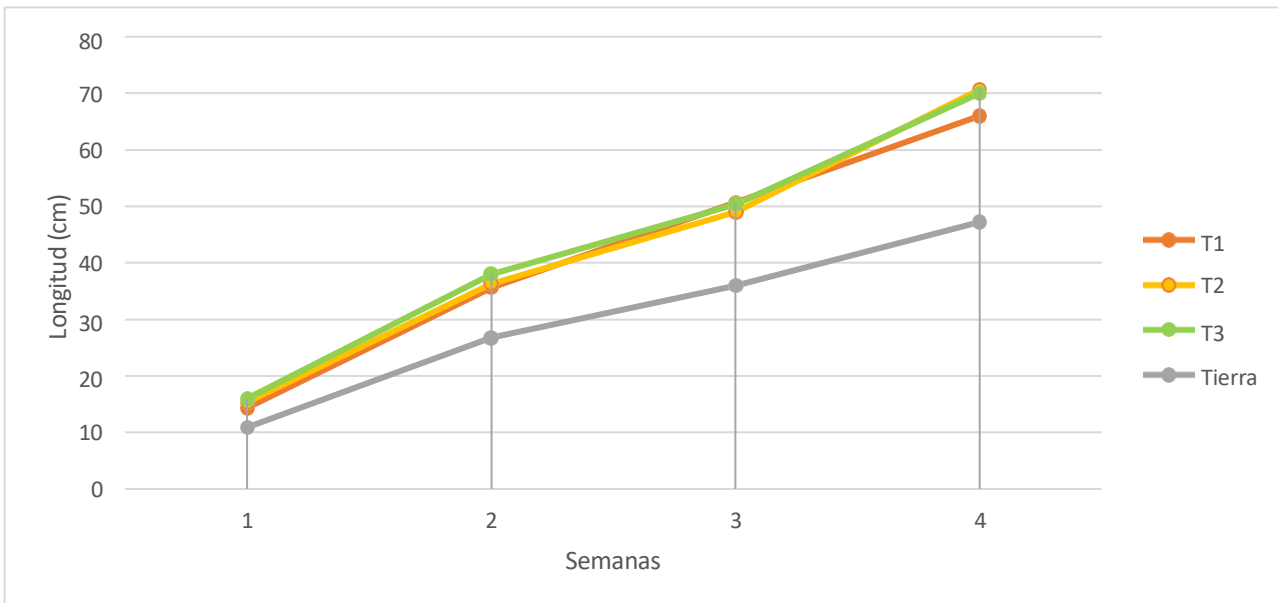
aunque el abono sigue siendo más efectivo, la diferencia con la tierra es menos marcada. Esto podría indicar que otros factores del tratamiento influyen más que el tipo de sustrato.

5.7 Crecimiento vegetativo en pasto

Durante las cuatro semanas de evaluación, el crecimiento del pasto de corte mostró una tendencia ascendente en todos los tratamientos (Figura 8), con diferencias claras entre los abonados con compost (T1, T2 y T3) y tierra (Control). En la primera semana, las plántulas establecidas en compost presentaron longitudes superiores respecto al control, diferencia que se mantuvo y amplió a lo largo del ensayo. Para la semana 4, los tratamientos con compost alcanzaron longitudes cercanas a los 70 cm, mientras que el control apenas superó los 45 cm.

Figura 8

Evaluación de la cinética de crecimiento del maíz durante 4 semanas en los 3 tratamientos experimentales y un tratamiento control



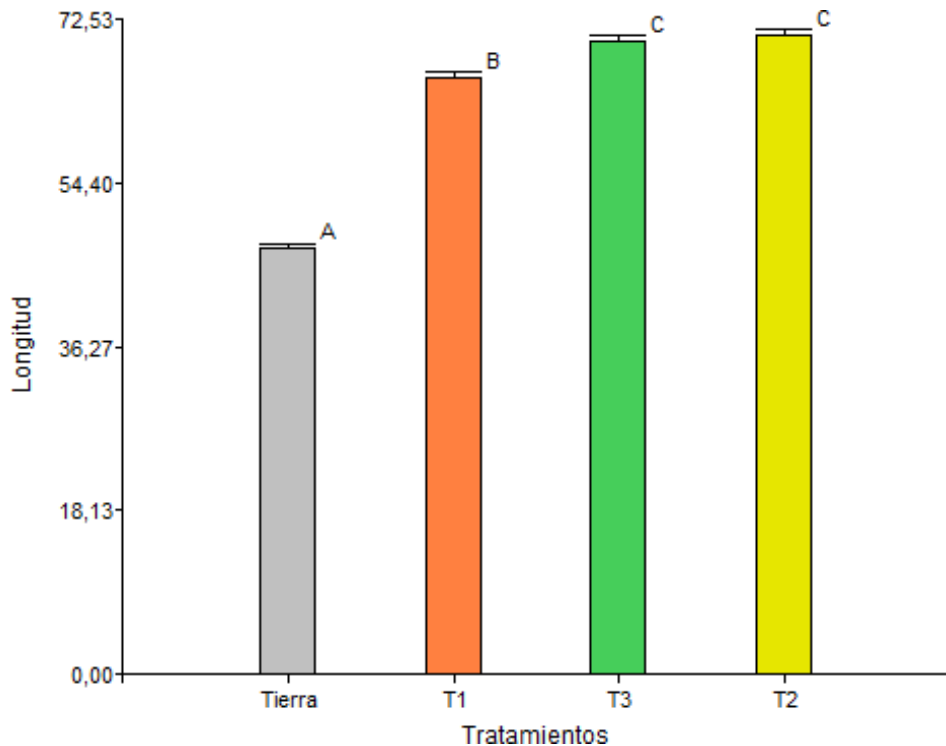
El análisis de varianza a la semana 4 mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). El control (Tierra) presentó la menor longitud promedio, con valores alrededor de 45

cm, lo que lo ubicó en un grupo estadísticamente diferente (letra A). En contraste, los tratamientos con compost mostraron un efecto positivo sobre el crecimiento del pasto de corte (Figura 9): T1 alcanzó una longitud intermedia (grupo B), mientras que T2 y T3 registraron los mayores promedios (superiores a 70 cm), conformando un grupo homogéneo (letra C).

Estos resultados confirman que la aplicación de compost promovió significativamente el desarrollo del pasto de corte respecto al suelo sin enmienda, siendo más notorio en T2 y T3. Esto puede atribuirse a una mayor disponibilidad de nutrientes y a la mejora de las condiciones físicas del sustrato, lo que favoreció la absorción y acumulación de biomasa. La respuesta positiva es consistente con lo observado en la cinética semanal, donde los tratamientos con compost mantuvieron un crecimiento superior y sostenido en comparación con el control.

Figura 9

Evaluación del crecimiento en la semana 4 en los diferentes tratamientos



Estas diferencias en la magnitud de la respuesta entre especies pueden deberse a las particularidades fisiológicas y a las demandas nutricionales de cada cultivo. Sin embargo, de manera general, los resultados corroboran que la incorporación de compost derivado de heces caninas y residuos vegetales constituye una alternativa viable para mejorar el crecimiento de especies agrícolas y forrajeras. El efecto positivo puede atribuirse a la liberación progresiva de nutrientes, al mejoramiento de la retención de humedad y a la estabilización del pH, condiciones que favorecen la absorción de elementos esenciales.

En conjunto, los hallazgos refuerzan la idea de que el compost no solo reduce el impacto ambiental de los residuos orgánicos, sino que también puede ser utilizado como un bioinsumo con potencial agronómico, capaz de mejorar la productividad en sistemas agrícolas y pecuarios.

6. Conclusiones y recomendaciones

El proceso de compostaje de heces caninas con diferentes sustratos permitió obtener un material estabilizado, con pH cercano a la neutralidad y sin olores desagradables, lo que evidencia su madurez y viabilidad como enmienda orgánica.

La cinética de pH y temperatura durante el periodo de evaluación de semanas mostró que, aunque existieron variaciones entre tratamientos, en todos los casos se alcanzó un estado de estabilidad compatible con la formación de compost de calidad.

Los bioensayos demostraron que la aplicación de compost promovió un mayor crecimiento vegetativo en maíz (*Zea mays L.*) y pasto de corte (*Pennisetum sp.*), en comparación con el suelo sin enmienda, siendo los tratamientos T2 y T3 los de mejor desempeño.

Se recomienda continuar evaluando el compost obtenido en diferentes especies agrícolas y forrajeras, con especial énfasis en parámetros de rendimiento (biomasa, calidad nutricional del

forraje y producción de grano), para confirmar su potencial agronómico e implementar estudios complementarios sobre la dinámica de nutrientes (N, P, K y micronutrientes) y sobre la presencia de posibles patógenos, con el fin de garantizar la inocuidad y eficiencia del compost como bioinsumo en sistemas productivos.

Referencias bibliográficas

- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453.
- Haug, R. T. (2018). *The practical handbook of compost engineering*. CRC Press.
- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Ediciones Unisalle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c6dbea8-fbb0-4999-8883-a089fa4d518b/content>
- Benito, M., et al. (2019). Comprehensive management of dog faeces: Composting versus anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, 250, 109437. doi:10.1016/j.jenvman.2019.109437
- Carbonel, D., & Luciano, T. (2023). “Composting of kitchen waste and pet feces: quality and effect on vegetable germination and growth”. *Enfoque UTE*, 14(3), pp. 1-9. doi:10.29019/enfoqueute.958

- Chaban, B., Hill, J. E., & Hemmingsen, S. M. (2010). Microbial communities in dog feces revealed by 16S rRNA gene sequencing. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(8), 2676–2683. <https://doi.org/10.1128/AEM.01816-09>
- Cardozo, J. A. (2019). Propuesta de biodigestor anaerobio de flujo continuo para el tratamiento de estiércol bovino y aguas residuales. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)*, (12), 12.
- García, C. S., Hernández, J. A. Z., & Yllescas, J. R. (2025). Tratamiento de residuos sólidos orgánicos y excretas caninas mediante lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en una Institución de Educación Superior: Treatment of organic solid waste and canine excreta using Californian red worms (*Eisenia foetida*) in a Higher Education Institution. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(4), 2859-2874.
- Cardenas Casanova, R. F. (2022). Diseño de biodigestores discontinuos para la producción de biofertilizantes a partir de residuos sólidos orgánicos del mercado del distrito de Casa Grande, región La Libertad, 2021. Cortés Ramírez, D. S. (2019). Diseño de Biodigestor de estiércol bovino
- Puratic-Fernández, H., Aburto-Hole, J., Díaz, J., Angerstein, F., de Groote, F., Quinteros-Lama, H., ... & Hernández, D. (2025). Experimental Evaluation of Pet Food Waste as Biomass Fuel: Corrosion, Emissions, and Energy Potential. *Applied Sciences*, 15(14), 7792.
- Naranjo Delgado, V. (2024). Prueba piloto de pacas bio-digestoras para el aprovechamiento de las heces de perros y gatos como abono para flores ornamentales en el municipio de Envigado.

- Rivera Guerra, Á. V., & Castañeda Vega, A. (2017). Propuesta para la disposición final de las heces caninas en la Fundación Huellas Perros al Servicio, ubicada en Tabio Cundinamarca. Compares composting and anaerobic digestion for dog feces; explores parameters like thermal profile, fertilizer value, and limitations like salinity.
- emiroff, L., & Patterson, J. (2007). Design, Testing and Implementation of a Large-Scale Urban Dog Waste Composting Program. *Compost Science & Utilization*, 15(4), 237-242. Describes a real-world project in a city setting for composting dog waste: design, implementation, challenges
- Bohórquez Cárdenas, L. S. (2021). Funtra (Diseño de servicio y monitoreo inteligente para desechos de perro en zonas residenciales).
- FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Jaimes-Díaz, H. G., Suárez-Chacón, I., & Torres-Romero, J. C. (2021). El compostaje: una alternativa para la recuperación de suelos contaminados por agroquímicos. *Revista de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)*, 19(2), 45–60. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8658125.pdf>
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cegarra, J., Bernal, M. P., & Noguera, P. (2001). Compostaje de residuos orgánicos: control de proceso y evaluación de la madurez del compost. Mundi-
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (2002). Gestión integral de residuos sólidos. McGraw-Hill. Evaluates composts made with pet feces and kitchen waste; looks at compost quality and effects on germination and growth of vegetables.

- Ríos-Usuga, C., Arias, A., Gómez, D., Pérez, D., Muñoz-Cadavid, C., & Jaramillo-Delgado, I. L. (2023). Identificación molecular de microorganismos hemotrópicos transmitidos por vectores en caninos domésticos de diferentes centros veterinarios de Medellín, Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 70(2), 206-219.
- Universidad Industrial de Santander – UIS. (2021). *Regulación hidroclimática y vegetación en Santander*. Noesis UIS. [<https://noesis.uis.edu.co/items/3c5143b2-753e-4cbc-93ae-8e462411e8f0>] (<https://noesis.uis.edu.co/items/3c5143b2-753e-4cbc-93ae-8e462411e8f0>)
- Muñoz Torres, E. (2022). Presencia de huevos de parásitos en excremento de caninos y su riesgo real en la salud pública en áreas zonales del barrio Molinos II.
- Alvarez Ramirez, E. V. (2022). Enfermedades cutáneas causadas por microorganismos en caninos, "Clínica protectora de animales"; Dosquebradas Risaralda 2021.
- Ramón Lema, G. F. (2012). Prevalencia de helmintos gastrointestinales céstodos y nemátodos en caninos de la ciudad de Cuenca.
- Stracke, J. L., Mohn, U., Müller, J., & Hölzel, C. S. (2020). Survival of zoonotic and indicator bacteria in canine feces under variable environmental conditions. *Science of The Total Environment*, 705, 135804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135804>
- Rist, V.T., Weiss, E., Eklund, M., et al. (2018). The response of canine faecal microbiota to increased dietary protein is influenced by body condition. *Scientific Reports* (o publicación similar) – incluye análisis de subproductos de la fermentación proteica en heces (amoníaco, fenoles, indoles, ácidos grasos volátiles, etc.).

- Stracke, J. L., Mohn, U., Müller, J., & Hölzel, C. S. (2020). Survival of zoonotic and indicator bacteria in canine feces under variable environmental conditions. *Science of The Total Environment*, 705, 135804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135804>
- Pinna, C., Vecchiato, C. G., Delsante, C., Grandi, M., Biagi, G. (2021). On the Variability of Microbial Populations and Bacterial Metabolites within the Canine Stool. An In-Depth Analysis. *Animals (Basel)*, 11(1), 225. DOI:10.3390/ani11010225
- Cruz Catacora, M. E. (2022). Principales enfermedades parasitarias de los caninos.
- Moreno Martínez, P. (2020). Estudio de la biodegradabilidad y compostabilidad de los diferentes plásticos.
- López Núñez, R. (2024). Tendencias científico-técnicas en compostaje descentralizado.
- Coronel Montesdeoca, N. T. (2022). Uso de cepas de *Bacillus* spp. para el pre-tratamiento de residuos lignocelulósicos en fases previas al proceso de compostaje.
- Villegas Cornelio, V. M. (2023). Caracterización bioquímica del proceso de vermicompostaje de residuos sólidos agrícolas.
- Mestanza Buenaño, J. R. (2024). Evaluación de la composición microbiana de humus y compost producidos en el centro de bioconocimiento Espoch mediante técnicas de caracterización microbiológica de abonos orgánicos sólidos.
- Ossa Carrasquilla, L. C. (2022). Dinámica de descomposición de residuos orgánicos a través del método Paca Biodigestora.
- Estrella González, M. J. (2020). Estudio comparativo del proceso de compostaje a escala industrial: Análisis metagenómico y vinculación con los parámetros críticos de control del proceso.

Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 126-136.

Apéndices

Apéndice A

Germinación de maíz y siembra de abono orgánico



Apéndice B

Preparación de terreno



Apéndice C

Tratamientos del abono orgánico



Apéndice D

Siembra de pasto

