UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE"

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

Autor:

Caizaluisa Cangui Erick Fabricio

Tutora:

Tapia Borja Alexandra Isabel

LATACUNGA-ECUADOR

Agosto – 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Caizaluisa Cangui Erick Fabricio, con cédula de ciudadanía No. 0503589970, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación **"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE"** Siendo la Ingeniera Mg. Alexandra Isabel Tapia Borja, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 06 de agosto del 2026

Erick Fabricio Caizaluisa Cangui
C.C: 0503589970
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CAIZALUISA CANGUI ERICK FABRICIO**, identificado con cédula de ciudadanía **0503589970** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE"** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 – Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

Tema: **"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 06 días del mes de agosto del 2026.

Erick Fabricio Caizaluisa Cangui	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
EL CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE", de Caizaluisa Cangui Erick Fabricio, de la carrera de Agropecuaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 06 de agosto del 2026

Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.
C.C: 0502661754
DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Caizaluisa Cangui Erick Fabricio, con el título de Proyecto de Investigación: **"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE",** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 06 de agosto del 2026

Ing. Juan Carlos Tapia Molina, Mg.
C.C: 0503480154
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Clever Castillo de la Guerra, Mg.
C.C: 0501715494
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Dr. Eddian Humberto Mera, Mg.
C.C: 0501545271
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a dios por las bendiciones recibidas hacia mí y mi familia, por la salud y la vida, por ayudarme a culminar una de las muchas metas que tengo en mi vida.

Agradecerles a mis padres por ser mi motor de apoyo y por su amor incondicional, por el esfuerzo que hicieron para que yo pudiera alcanzar mi meta de convertirme en profesional, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles, a mis hermanos por brindarme su apoyo, a mi abuelita por ser mi esperanza y fortaleza en los momentos que los necesitaba.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme las puertas para formarme profesionalmente, a los docentes de la carrera de Agropecuaria, quienes han compartido sus conocimientos, a mi tutora de tesis Mg. Alexandra Tapia, gracias por ser la guía, el apoyo infinito de este trabajo, por su paciencia, sus consejos y por compartir sus conocimientos con dedicación sin ella este trabajo no sería posible.

A mi mejor amigo, por no dejarme solo en los momentos difíciles, por escucharme y sus palabras de apoyó, los ánimos y la paciencia que me brindaba.

Erick Fabricio Caizaluisa Cangui

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a dios por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza para alcanzar esta meta. A mis padres Eduardo y Elisabeth, por sus palabras de motivación, paciencia, esfuerzo, por hacerme una persona de bien sin su ayuda en este trabajo no sería posible, a mi abuelita María Transito Basantes, a mis hermanos Bryan, Javier, Sebastián por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante cada etapa de mi formación. Este logro también es de ustedes, porque siempre creyeron en mí y me impulsaron a seguir adelante.

Erick Fabricio Caizaluisa Cangui

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÌTULO: "CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO DE TRASPATIO, BAJO UNA DIETA TRADICIONAL EN SALACHE"

Autor:

Erick Fabricio Caizaluisa Cangui

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el abono orgánico elaborado a partir de estiércol de cerdo criollo de traspatio alimentado con una dieta tradicional (puré de papa-cebada, suero de leche y alfalfa), en la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. Se evaluó la dinámica térmica del proceso a partir de curvas de temperatura y ecuaciones cinéticas; se determinó la composición físico-química y microbiológica del compost realizado; y se establecieron las correlaciones entre la dieta y la producción de excretas usando la prueba de Shapiro-Wilks y los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman, el proceso de compostaje llega a su fase de termofílica (Tmax=52°C, día 35) en 0,914°C/día siendo esta fase la de permanencia termofílica de 10,34, la cual se considera muy superior a la exigida por el USDA-AMS que exige superar un mínimo de 10 días, pero el tiempo de compostaje fue limitado por las condiciones ambientales (temperaturas de 10-15°C) de la zona. El producto final obtuvo un pH=7,92, CE=7,76 mS/cm, relación de C/N=17 y ausencia de E. coli, Staphylococcus aureus y Salmonella spp., no obstante, los coliformes fecales alcanzaron una concentración ($3,4\times10^4$ UFC/g) que excedió desde el punto de vista de la bioseguridad el límite de seguridad siendo clasificado el compost como de tipo B de acuerdo a la Norma Chilena NCH 2880. No hubo correlación estadísticamente significativa entre la dieta suministrada y la cantidad de excretas producidas ($r=-0,27$; $p=0,33$), lo que nos permite concluir que la dieta tradicional nos permite obtener un abono orgánico funcional, aunque con limitaciones sanitarias, las cuales podemos atribuir a las condiciones del clima frío de la zona, razón por la cual se recomienda aumentar el tiempo de compostaje para obtener una calificación de tipo A.

Palabras claves: Compostaje, estiércol porcino, cerdo criollo, dieta tradicional, cinética térmica, correlación estadística.

COTOPAXY TECHINICAL UNIVERSITY

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND RESOURCES

THEME: "CHARACTERIZATION OF ORGANIC FERTILIZER FROM BACKYARD CREOLE PIGS, UNDER A TRADITIONAL DIET IN SALACHE"

Author:

Erick Fabricio Caizaluisa Cangui

ABSTRACT

This study aimed to characterize the organic fertilizer produced from the manure of native backyard pigs fed a traditional diet (mashed potato and barley, whey and alfalfa) in the parish of Angamarca, Pujilí canton, Cotopaxi province. The thermal dynamics of the process were evaluated using temperature curves and kinetic equations; the physico-chemical and microbiological composition of the compost produced was determined; and correlations between diet and manure production were established using the Shapiro-Wilks test and Pearson's and Spearman's correlation coefficients. The composting process reaches its thermophilic phase (Tmax = 52°C, day 35) at a rate of 0.914°C/day; this phase had a thermophilic duration of 10.34 days, which is considered well above the minimum of 10 days required by the USDA-AMS, but the composting time was limited by the environmental conditions (temperatures of 10–15°C) in the area. The final product had a pH of 7.92, EC of 7.76 mS/cm, a C/N ratio of 17, and was free from E. coli, Staphylococcus aureus and Salmonella spp. However, faecal coliforms reached a concentration (3.4×10^4 CFU/g) which, from a biosafety perspective, exceeded the safety limit, resulting in the compost being classified as Type B in accordance with Chilean Standard NCH 2880. There was no statistically significant correlation between the diet provided and the amount of excreta produced ($r=-0.27$; $p = 0.33$), leading us to conclude that the traditional diet enables us to produce functional organic fertilizer, albeit with sanitary limitations, which we can attribute to the cold climatic conditions of the area; for this reason, it is recommended that the composting time be extended in order to achieve a Type A classification.

KEYWORDS: Composting, Pig Manure, Native Pig, Traditional Diet, Thermal Kinetics, Statistical Correlation.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN vi
AGRADECIMIENTO vii
DEDICATORIA viii
RESUMEN ix
ABSTRACT xi
1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. JUSTIFICACIÓN 3
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 5
3.1 Beneficiarios directo 5
3.2 Beneficiarios indirectos 5
4. PROBLEMÁTICA 5
5. OBJETIVOS 7
5.1 Objetivo General 7
5.2 Objetivo específico 7
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANEADOS 8
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA 11
7.1 Agricultura Sostenible 11
7.2 Abonos Orgánicos 11
7.3 Cerdo Criollo Ecuatoriano 11
7.4 Nutrición Porcina 12
7.6 Compostaje Aeróbico 12
7.7 Fases de Compostaje 13
7.7.1 Fase Mesofílica 13
7.7.2 Fase Termofílica 13
7.7.3 Fase de Maduración 13
7.8 Control de Compostaje 14
7.9. Calidad de Abono Orgánico 15
7.10. Indicadores de Madures 15

7.11 Valor Nutricional....15
7.12 Normativa de Calidad del Compost....15
7.13 Indicadores Microbiológicos de Inocuidad....16
7.14 Prueba de Normalidad....17
7.15 Correlación de Pearson....18
7.16 Correlación de Spearman....18
8.12 Regresión Lineal....19
8.Ecuaciones cinéticas....19
8.1. Velocidad de Calentamiento en el Compostaje....20
8.2 Velocidad de Enfriamiento en el Compostaje....20
8.4 Tiempo de permanencia termófila....22
8.5 Temperatura máxima (Tmax)....23
8.6 Tiempo requerido para alcanzar Tmax....24
8.7 Constante cinética de enfriamiento....25
8.10 Energía Acumulada en el Compostaje....28
9. HIPOTESIS....29
10. METODOLOGÍA....30
10.1 Área de estudio....30
10.2 FASE 1: Manejo de Unidades....31
10.2.1 Preparación de la dieta tradicional....32
10.2.5 Aseguramiento Consumo Constante....34
11. FASE 2: Recolección y selección del estiércol proveniente de animales con dieta tradicional....35
11.1 Manejo y Monitoreo del Compostaje....36
12. FASE 3....38
13. FASE 3 Curva térmica Estiércol (Porcino)....40
13.1 Velocidad de calentamiento....40
13.2 Velocidad de enfriamiento....40
13.3 Área bajo la curva térmica (AUC)....40
13.4 Tiempo de permanencia en fase termófila....40
13.5 Determinación de la temperatura máxima (Tmax)....41
13.6 Tiempo requerido para alcanzar la temperatura máxima....41
13.7 Determinación de la constante cinética de enfriamiento....41

13.8 Cinética tipo Newton de Calentamiento....42
13.9 Cinética tipo Newton de enfriamiento....42
13.10 Energía Acumulada en el Compostaje....42
13.11 Análisis estadísticos....42
13.12 Estadística descriptiva....42
13.13 Prueba de normalidad....43
13.14 Análisis de correlación....43
13.15 Análisis de regresión lineal....43
13.16 Software utilizado....44
14. RESULTADOS Y DISCUSIÓN....44
14.1 Calculo de curvas térmicas y la aplicación de ecuaciones cinéticas....44
14.1.1 Registros de temperatura....44
14.2.2 Velocidad de Calentamiento....47
14.2.3 Velocidad de Enfriamiento....48
14.2.4 Área Bajo la Curva Térmica (AUC)....49
14.2.5 Tiempo de permanencia termofílica....50
14.2.6 Temperatura Máxima (Tmax)....52
14.2.7 Tiempo requerido para Alcanzar la Temperatura máxima....53
14.2.8 Determinación de la Constante de Cinética....55
14.2.9 Cinética Tipo Newton de Calentamiento....56
14.2.10 Cinética Tipo Newton de Enfriamiento....58
14.2.11 Cinética Tipo Newton de Calentamiento y Enfriamiento....61
14.2.12 Energía Acumulada en el Compostaje....65
15. Resultados Obtenidos del análisis Físico-Químico....66
16. Resultados Obtenidos del análisis Microbiológico....68
17. Resultado del análisis estadístico....69
18. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)....83
19. CONCLUSIONES....84
20. RECOMENDACIONES....85
21. BIBLIOGRAFÍAS....85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Actividades y sistema de tareas de acuerdo al objetivo 1. 8
Tabla 2 Actividades y sistema de tareas de acuerdo al objetivo 2. 9
Tabla 3 Actividades y sistema de tareas de acuerdo al objetivo 3. 10
Tabla 4 Características del área de estudio 31
Tabla 5 Parámetros del compostaje 38
Tabla 6 Fases de las etapas de temperatura 39
Tabla 7 Tabla de registros de temperatura, pH, humedad 44
Tabla 8 Tabla de cálculos de la velocidad de calentamiento 47
Tabla 9 Tabla de cálculo de la velocidad de enfriamiento del compost 48
Tabla 10 AUC acumulada de cada registro 49
Tabla 11 Tabla de temperatura calculada y temperatura referencial 50
Tabla 12 Tabla de temperatura máxima registrada 52
Tabla 13 Cálculo de tiempo máximo requerido 53
Tabla 14 Tabla de temperatura registrada y determinación de Tmax 54
Tabla 15 Tabla de degradación de la materia orgánica 55
Tabla 16 Tabla de cálculo de calentamiento de Temperatura 56
Tabla 17 Tabla de cálculo de ecuación de regresión lineal 57
Tabla 18 Tabla de temperatura registrada 58
Tabla 19 Tabla final de cálculo cinético de Newton 59
Tabla 20 Tabla final de la ecuación lineal 59
Tabla 21 Tabla de datos registrados en la maduración del compost 61
Tabla 22 Tabla de temperatura de calentamiento de la ecuación cinética de Newton 61
Tabla 23 Tabla de temperatura de enfriamiento de la ecuación cinética de Newton 62
Tabla 24 Tabla de temperatura de calentamiento y enfriamiento de la ecuación cinética de Newton 62
Tabla 25 Tabla de energía acumulada determinada por la educación cinética 65
Tabla 26 Tabla de resultados del análisis físico-químico 66
Tabla 27 Tabla de resultados del análisis Microbiológico 68
Tabla 28 Tabla resumen de los cálculos de estadística descriptiva 69
Tabla 29 Tabla de resultados de la prueba de normalidad 69
Tabla 30 Tabla de resultados de la correlación de los parámetros temperatura, pH, humedad 70
Tabla 31 Tabla de regresión lineal de los parámetros temperatura, pH 70
Tabla 32 Tabla de regresión lineal de los parámetros temperatura, humedad 71
Tabla 33 Tabla de regresión lineal de los parámetros humedad, pH 72
Tabla 34 Tabla de resultados de la prueba de normalidad de los parámetros dieta suministrada y excretas recolectadas 73
Tabla 35 Tabla de correlación entre los parámetros dieta suministradas y excretas recolectadas 74
Tabla 36 Tabla resumen de resultados de cálculos cinéticos, Fisicoquímicos, Microbiológicos y correlación 74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del área de estudio. 31
Figura 2 Curva de temperatura 45
Figura 3 Curva de pH 45
Figura 4 Curva de humedad 46
Figura 5 Curva de velocidad de calentamiento del compost 47
Figura 6 Curva de velocidad de enfriamiento del compost 48
Figura 7 Temperatura de AUC acumulada de cada registro 50
Figura 8 Curva de permanecía termofílica sobre los 45 °C 51
Figura 9 Temperatura máxima registrada 52
Figura 10 Curva de temperatura máxima y tiempo requerido 53
Figura 11 Curva de degradación de la materia orgánica durante el proceso del compost 55
Figura 12 Curva de temperatura de Newton 56
Figura 13 Curva de temperatura de calentamiento de la ecuación de regresión lineal 57
Figura 14 Curva de disminución de temperatura de la ecuación de la constante cinética 58
Figura 15 Curva de temperatura de enfriamiento de la cinética de Newton 59
Figura 16 Curva de descenso de la temperatura del cálculo de la ecuación lineal 60
Figura 17 Curva de temperatura registrada durante el compost 61
Figura 18 Curva de temperatura de calentamiento y enfriamiento mediante la ecuación cinética de Newton 64
Figura 19 Energía determinada por cada fase del compost en el intervalo de días 66

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

"Caracterización de abono orgánico del cerdo criollo de traspatio, bajo una dieta tradicional en Salache"

Fecha de inicio:

Octubre 2022 – Marzo 2023

Fecha de finalización:

Lugar de ejecución

Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, parroquia Angamarca.

Facultad que auspicia

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Agropecuaria

Equipo de Trabajo:

Tutora: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

Estudiante: Caizaluisa Cangui Erick Fabricio

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Caizaluisa Cangui Erick Fabricio

Teléfono: 0984945742

Correo electrónico: erick.caizaluisa9970@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura, Silvicultura, Pesca.

Línea de investigación:

Producción y Biotecnología Animal

Línea de vinculación de la carrera:

Implementación de Buenas Practicas Agrícolas en la Provincia de Cotopaxi (“BPA”) 2025 - 2028

2. JUSTIFICACIÓN

La producción de residuos orgánicos ganaderos, en particular el estiércol porcino, representa un serio problema ambiental en el mundo, por contaminación del suelo, aguas superficiales y subterráneas, aire, a través de la emisión de lixiviados y gases de efecto invernadero cuando es mal manejada, por falta de conocimiento, por falta de recursos o por la falta de medios para manejar el estiércol de manera adecuada productivamente, por ende los excrementos de los animales no son utilizados para obtener fertilizantes orgánicos bien elaborados lo que hace que las granjas no sean sostenibles (Alvarado et al., 2022).

La parroquia Angamarca, Salache, situada en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, se destaca por su actividad agropecuaria entre la cual pequeños productores crían sistemas de cerdos bajo modelos tradicionales, en estos sistemas, el estiércol se maneja generalmente de manera empírica o se coloca sobre el suelo, lo cual puede afectar en forma negativa la calidad del terreno y de las fuentes acuíferas más aún si el área está destinada a la producción agrícola intensiva (Llangarí, 2021).

De este modo, el compostaje aerobio puede ser visto como el método para resolver la problemática, en la medida que a partir de la actividad microbiana que se da en condiciones aerobias es capaz de estabilizar la materia orgánica, así como puede transformar las excreciones en un buen fertilizante, muy especialmente si se incorpora los materiales estructurantes que hacen posible mejorar la aireación y que la relación carbono/nitrógeno (Trasviña, 2024).

Según menciona (Ramos, 2021) la calidad del compost, no solo depende de dicha descomposición, sino que también va a depender de las características del estiércol de origen que, en buena medida, dependen de las prácticas alimentarias del animal, en Salache los cerdos criollos son alimentados con una dieta tradicional distinta a la de los preparados de la

industria de la producción, de manera que la composición del estiércol puede tener su peso en el resultado del compost. Caracterizar dicho fertilizante en condiciones de alimentación es necesario para crear conocimiento que sea aplicable a la realidad del productor local, y por esa razón nos dispusimos a su caracterización.

A la limitación anterior hay que sumarle, además, otra de tipo metodológica, así, por ejemplo, el hecho de poder monitorizar de forma normalizada parámetros como la temperatura, el pH o la humedad, permite identificar las diferentes etapas del proceso de compostaje, no sugiere, ni permite imputar magnitudes, no sugiere, ni permite imputar velocidades, tampoco sugiere, ni permite establecer comparaciones de resultados con los de estudios llevados a cabo por otras personas. A la limitación anterior, de tipo metodológica; el analisis de parámetros como los ya mencionados, para la monitorización de las etapas del proceso de compostaje, claramente sería una limitación de forma de la velocidad, el incluir los parámetros cinéticos: tasa de calentamiento, tasa de enfriamiento, área bajo la curva, tiempo termofílico, cinética de primer orden o modelización de tipo Newton; pone de relieve la limitación anterior, a la vez que ayuda a comprobar cómo se alcanza la correcta inocuidad sanitaria y su verificación de modo que quede definida conforme a las normativas de carácter sanitario, tales como las normas de USDA-AMS y aquellas para el control de la calidad del compost que pueden encontrarse descritas en NCH 2880 (Castro, 2023).

De modo que el presente trabajo, evalúa el compostaje aerobio de estiércol de cerdo criollo de traspatio bajo dieta tradicional en Salache; caracterizándolo en su calidad fisicoquímica y microbiológica, a la par que incorpora parámetros cinéticos que permitan validar la inocuidad del producto y generar criterios de manejo sostenible que sean adaptables y ajustables a las condiciones de la región andina ecuatoriana.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1 Beneficiarios directo

El presente trabajo investigativo beneficiará a los estudiantes y miembros de la universidad y los pequeños productores agropecuarios de la parroquia Angamarca del cantón Pujilí.

3.2 Beneficiarios indirectos

Los pequeños productores de la parroquia de Angamarca.

4. PROBLEMÁTICA

La mala práctica que conlleva la gestión del estiércol de cerdo está considerado un problema medioambiental mundial debido a que tiende a tener un alto contenido en materia orgánica, nutrientes y microorganismos, lo cual puede dar lugar a la contaminación del suelo, agua y aire en caso de que el mismo sea mal gestionado, esta mala práctica en la gestión del estiércol de cerdo ha sido un problema que ha podido contribuir a la degradación medioambiental, a la difusión de patógenos que pueden afectar a los ecosistemas y a la salud de las personas (Rodríguez et al., 2012).

En relación al contexto de macro ya que su inadecuada gestión se trata de un serio problema ambiental en todo el mundo, debido que posee un alto contenido de materia orgánica, nutrientes y microorganismos que contaminan el suelo, el agua y el aire si no se gestionan de manera correcta, se ha señalado un mal manejo del estiércol porcino como un factor que lleva no sólo a la degradación ambiental sino también a la difusión de patógenos que afectan el ecosistema y la salud de las personas (Ramos, 2021).

En América Latina, al igual que en la unidad doméstica o en la microescala, el manejo del estiércol del cerdo se lleva a cabo de forma empírica, puesto que el aprovechamiento de

criterios técnicos que aseguran un correcto manejo se deja de lado y, por lo tanto, se pierde la oportunidad de aprovechar un residuo con valor de producción, ayudando a la extracción de recursos naturales: los residuos de los animales, no gestionados, son un importante índice de la contaminación del suelo y del agua, como consecuencia de la no regulación de la acumulación de materia orgánica y nutrientes (Chimbo, 2023).

En el Ecuador, más concretamente en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, se establecen como sistemas de producción familiar y la realización de cerdos, es una alternativa productiva que complementa la economía de los pequeños productores, pero la producción del estiércol que generan estos sistemas se aplican a suelos de muy baja calidad o se acopla sin tratamiento, lo que puede modificar, tanto el vínculo de la calidad ambiental como del valor nutritivo que el mismo aportaría como fertilizante (Ramos, 2021).

A nivel micro, en el sector correspondiente a la zona de Salache, comunidades de la parroquia Angamarca, es donde se puede evidenciar esta primera parte de la demostración del problema que se ha dado de una forma muy concreta: el estiércol que se esparce directamente depositado sobre el suelo, sin hacer un tratamiento previo, provocando la lluvia de patógenos, la eclosión de males olores y la contaminación de fuentes de aguas por lixiviación de material orgánico, la aplicación de estiércol fresco puede tener una notable incidencia en la composición del microbiota edáfica, jactándose de características fitotóxicas para los cultivos, aumentando descontroladamente la humedad superficial del suelo la aplicación de estiércol fresco puede tener también unas implicaciones muy negativas sobre la composición del microbiota edáfica puede llegar a ser fitotóxica para los cultivos e incrementar descontroladamente la humedad superficial del suelo, esta problemática hace referencia a los recursos naturales y a la salud de las comunidades rurales que dependen de ellos (Argueta, 2020).

A este problema local se le suma un elemento poco conocido en los estudios realizados hasta el momento: el efecto que tiene la alimentación del animal sobre la composición del estiércol, así, para los sistemas de traspatio de Salache, donde se desarrollan cultivos de cerdos criollos con una alimentación que responde a una dieta tradicional diferente a la dieta balanceada del sentido de producción de la agricultura, puede que posible que generen el estiércol en relación a la cantidad de nutrientes así como la relación C/N del estiércol que se emite, sin embargo, no hay estudios que clasifiquen el fertilizante orgánico bajo condiciones concretas de alimentación: es decir, existe una falta de información de interés para los productores de esta área.

De este modo, será preciso caracterizar el abono orgánico producido a partir de estiércol de cerdo criollo en condiciones de dieta tradicional en Salache, para obtener información técnica que hasta el momento no existe para este tipo de ensayos ya que podría facilitar prácticas de manejo más sostenible para los pequeños productores.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- Caracterizar el abono orgánico del cerdo criollo de traspatio, bajo una dieta tradicional en Salache.

5.2 Objetivo específico

- Evaluar la dinámica térmica del estiércol durante el proceso de compostaje mediante la construcción de curvas térmicas y la aplicación de ecuaciones cinéticas.
- Determinar la composición fisicoquímica y microbiológica del compostaje.
- Establecer la correlación entre dieta y excretas del cerdo criollo.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANEADOS

Tabla 1

Actividades y sistema de tareas de acuerdo al objetivo 1.

Objetivo Especifico 1	Actividad	Resultados de la Actividad	Medios de Verificación
Aplicar una dieta tradicional, considerando los principales aportes de energía, proteína y minerales.	Diagnóstico del sistema de alimentación base de los animales	Identificación de deficiencias nutricionales de la dieta	Registro técnico y fichas de evaluación
	Selección de materias primas para la dieta tradicional	Dieta formulada acorde a los requerimientos nutricionales	Ficha de formulación de la dieta
	Cálculo del aporte nutricional	Balance nutricional adecuado según especie y etapa productiva	Cálculos técnicos y tablas nutricionales
	Preparación y suministro de la dieta tradicional	Consumo adecuado de la dieta tradicional por los animales	Registro diario de consumo
	Monitoreo del comportamiento alimenticio y condición corporal	Mejora en la condición corporal y eficiencia alimenticia	Escalas de condición corporal y observación directa
	Evaluación del efecto de la dieta tradicional sobre la producción de estiércol	Estiércol con características favorables para compostaje	Registros productivos y análisis observacional

Nota. Actividades planificadas para el cumplimiento del objetivo específico 1 del autor.

Tabla 2

Actividades y sistema de tareas de acuerdo al objetivo 2.

Objetivo Específico 2	Actividad	Resultados de la Actividad	Medios de Verificación
Evaluar la dinámica térmica del estiércol durante el proceso de compostaje mediante la construcción de curvas térmicas y la aplicación de ecuaciones cinéticas.	Recolección, selección y homogeneización del estiércol proveniente de animales con dieta tradicional.	Materia prima homogénea con contenido inicial de materia orgánica apta para compostaje aerobio.	Registro fotográfico y fichas de campo.
	Preparación de la pila de compostaje aerobio con rastrojo de maíz como material estructurante (relación C/N 25:1 – 30:1, volumen 1 m^3).	Pila correctamente estructurada con condiciones iniciales.	Bitácora técnica del proceso.
	Monitoreo semanal de temperatura interna mediante termómetro de varilla (días 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49).	Curva térmica con Tmax alcanzada, TPT4 y AUC.	Registros semanales de temperatura y gráfico de curva térmica.
	Control y ajuste de la humedad del compost mediante prueba del puño en los días de monitoreo.	Humedad en descenso progresivamente manteniéndose dentro del rango funcional durante la mayor parte del proceso.	Registros de humedad y pruebas manuales.
	Medición y registro del pH durante el proceso mediante un medidor de PH electrónico.	pH dentro del rango óptimo de 6,5–8,5 durante todo el proceso.	Registros de mediciones de pH.

	Volteos manuales periódicos cada 7 días para reoxigenación y homogeneización de la pila.	Proceso estabilizado con temperatura descendente y pérdida de MO	Cronograma y registros de volteo.
	Aplicación de ecuaciones cinéticas: velocidad de calentamiento/enfriamiento, AUC, TPT, cinética de primer orden y modelos tipo Newton.	Constantes cinéticas obtenidas: Vc, k, kH, kN.	Cálculos matemáticos, gráficos de curvas teóricas y tablas de resultados cinéticos.

Nota. Actividades planificadas para el cumplimiento del objetivo específico 2 del autor.

Tabla 3

Actividades y sistema de tareas de acuerdo al objetivo 3.

Objetivo Especifico 3	Actividad	Resultados de la Actividad	Medios de Verificación
Caracterizar la composición fisicoquímica y nutricional del compostaje estabilizado.	Toma de muestras representativas del compost estabilizado	Muestra homogénea y representativa	Acta de muestreo
	Análisis de parámetros fisicoquímicos (pH, humedad, materia orgánica)	Valores dentro de rangos óptimos para uso agrícola	Resultados de laboratorio
	Evaluación del grado de madurez del compost	Compost apto para aplicación agrícola	Resultados comparativos y literatura técnica
	Interpretación de resultados obtenidos	Caracterización completa del compost	Informe técnico final

Nota. Actividades planificadas para el cumplimiento del objetivo específico 3 del autor.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1 Agricultura Sostenible

La sostenibilidad en el modelo de producción agroalimentaria implica producir en el tiempo presente, para la alimentación de la población mundial actual, preservando al mismo tiempo la capacidad de producción para el futuro, para el objetivo de las generaciones futuras, la agricultura sostenible es un tipo de producción basado en la racionalización de los recursos naturales y en la conservación de los suelos, el agua, la biodiversidad, que también incluye la reducción del uso de insumos químicos y del ingreso de sistemas de producción agroecológica de naturaleza circular y la reutilización de los residuos orgánicos generados por el ganado, como la producción de compost, e integrarla en los sistemas como una manera idónea para cerrar el ciclo de la gestión de los nutrientes y reducir los impactos medioambientales negativos a este nivel (Alvarado et al., 2022).

7.2 Abonos Orgánicos

Los fertilizantes orgánicos se componen de materiales vegetales o animales, tras la descomposición biológica podemos obtener un amplio grupo de nutrientes para el suelo y puede afectar a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, su aplicación ayuda a la acumulación de la materia orgánica en el suelo, mejora la estructura del suelo, ayuda a retener el agua y estimula la actividad microbiana, entre los fertilizantes orgánicos más comunes están el estiércol, el humus y los subproductos agroindustriales (Quishpe, 2023)

7.3 Cerdo Criollo Ecuatoriano

El cerdo ecuatoriano de raza criolla, es una forma salvaje que se adaptó a las condiciones agroecológicas locales, es resistente a enfermedades, puede convertir dietas alternativas y posee necesidades específicas de manejo, su producción se desarrolla principalmente bajo sistemas familiares y semiintensivos, los residuos generados en estos

sistemas son una fuente para la producción de abonos orgánicos, aportando a la sostenibilidad de los sistemas productivos (Quishpe, 2023).

7.4 Nutrición Porcina

El crecimiento, salud y producción del cerdo se ven afectados por su alimentación, se considerará que una dieta es equilibrada si cumple con los requerimientos de energía, proteína, minerales y vitaminas de la etapa productiva, en los sistemas sostenibles se prioriza el uso de insumos locales y subproductos de la agroindustria, siendo esto visible en la composición química de la materia fecal y en la calidad del compost resultante (Armando & Segura, 2025).

7.5 Dieta Tradicional

La cría convencional es un sistema de alimentación con recursos locales y de bajo coste, con el empleo de subproductos agrícolas, residuos de cocina y forrajes en vez de piensos comerciales en mayor o menor medida, es típico en sistemas familiares, campesinos o de traspatio, y se adapta muy bien a la rusticidad del cerdo criollo (Naranjo, 2021).

7.6 Compostaje Aeróbico

La descomposición aeróbica se puede definir como el proceso biológico por el cual se va transformando la materia orgánica por la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica de donde obtenemos un material con utilidad, el compostaje aeróbico también nos permite eliminar patógenos de los residuos, olores y el volumen del residuo, obteniendo fertilizante orgánico, en ácidos húmicos, para la agricultura (Michel et al., 2021a).

Las condiciones agroecológicas de las zonas alto-andinas tienen una repercusión directa sobre la eficacia de los procesos de compost, tal como el caso de la composteo aeróbico, en este sentido, las bajas temperaturas ambientales que son característicos de la sierra ecuatoriana (10-15 °C) reducen la actividad microbiana natural y provocan una menor

temperatura máxima alcanzada en la fase termofílica que los ejecutados en climas templados o cálidos, donde se observan temperaturas máximas más elevadas y en los que la fase de estabilización tiene una duración menor, este elemento climático es, sin duda, un freno para los sistemas de compostaje en producción familiar de traspatio en ambientes de montaña, donde el manejo de residuos orgánicos tiene que ser útil justamente en términos de la interrelación realizada con el medio ambiente sin restarle calidad en el proceso final del producto (Castro, 2023).

7.7 Fases de Compostaje

7.7.1 Fase Mesofílica

Es la primera fase dentro del compostaje, en la que la temperatura varía de 20 °C a 40 °C se produce una activación de microorganismos mesófilos que se ocupan de la degradación de los compuestos de biodegradabilidad muy rápida en medio acuoso, como azúcares y proteínas indicándose a su vez un incremento paulatino de la temperatura (Ramos, 2021).

7.7.2 Fase Termofílica

En esta fase se pueden lograr temperaturas cercanas a los 55 °C en esta etapa, favoreciendo la actividad del microorganismo termófilo, productos complejos como celulosa y hemicelulosa son degradados, patógenos, semillas de malezas y larvas eliminados (Bernal et al., 2009).

7.7.3 Fase de Maduración

En este estado la temperatura desciende y se mantiene constante, se elaboran sustancias húmicas (los ácidos húmicos y fúlvicos), el material se estabiliza químicamente, además, la relación C/N se reduce; lo que indica el nivel de madurez del compost (Sanchez et al., 2018).

7.8 Control de Compostaje

El control del desarrollo de todo el proceso de compostaje es de suma importancia para dotar a dicho compost de la calidad del abono que se quiere obtener puesto que, con él, se controla el funcionamiento correcto de la actividad de los microorganismos y al mismo tiempo modifica los procesos anaerobios no deseables (Bernal et al., 2009).

7.8 .1 Relación Carbono/Nitrógeno.

En lo que concierne a la relación de carbono/nitrógeno puede oscilar entre 25.1 y 35.1 en un rango de igualdad ya que una relación no adecuada puede provocar unos procesos no favorables o las perdidas por volatilización de nitrógeno (Sanchez et al., 2018).

7.8 .2 Humedad.

La humedad óptima está situada entre el 50 y el 60 %; valores inferiores a los anteriores limitan la actividad de la población microbiana y niveles de alta humedad pueden dar lugar a condiciones anaerobias (Bernal et al., 2009).

7.8 .3 Aireación.

La aireación permite asegurar la presencia de oxígeno para los microorganismos aerobios, es el volteo periódico de la materia en compost (Bernal et al., 2009).

7.8 .4 Evolución del PH.

El pH generalmente suele variar durante el proceso, comenzando muy ácido y estabilizándose, al final del proceso de compostaje, en valores limitados a la neutralidad (6,5–8,0) (Zhu, 2007).

7.8 .5 Temperatura.

La temperatura representada un indicador directo de la actividad biológica por lo que, el seguimiento de la temperatura permite identificar correctamente las fases del compostaje y la sanitización del material (Elimelech et al., 2019)

7.8 .6 Caracterización.

La caracterización del abono orgánico es la determinación de parámetros tales como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros , lo que permitirá evaluar su aptitud agronómica y comparar el abono obtenido con las normas de calidad vigentes (Tiquia, 2010)

7.9. Calidad de Abono Orgánico

La calidad del abono orgánico está relacionada con su estabilidad, ausencia de patógenos, contenido nutricional y efecto positivo sobre el suelo y los cultivos (Bernal et al., 2009).

7.10. Indicadores de Madures

Entre los principales indicadore s, están la relación C/N menor que 15, las propiedades de estabilidad térmica, el olor a tierra húmeda y la ausencia de fitotoxicidad (Bernal et al., 2009; Tiquia, 2010).

7.11 Valor Nutricional

El valor nutritivo que puede tener el compost variará siempre en función del nivel relativo que tenga de macroelementos (N, P, K) y de los microelementos que contenga incorporados, los cuales van a incidir de un modo directo sobre la fertilidad del sustrato y, al mismo tiempo, sobre la productividad de los cultivos (Michel et al., 2021b).

7.12 Normativa de Calidad del Compost

Las normas que rigen la caracterización de la calidad final del compost, sin embargo, se fundamentan en normas internacionales las cuales determinan y establecen las propiedades físico-químicas y microbiológicas de los composts a considerar como referencia los cuales, específicamente, son los composts delimitados por la Norma Chilena NCH 2880, y que distintas tablas permiten diferenciar y clasificarlo en clases A y B dependiendo del contenido

de nutrientes, de la salinidad, de la estabilidad y de la carga microbiana, siendo la clase A la que tiene requisitos más exigentes (menores contenidos en patógenos, en sales solubles, etc.) y la clase B la que tiene una calidad intermedia y limitaciones en su uso en cultivos muy sensibles a la fitotoxicidad (Román et al., 2023).

El estándar de la USDA-AMS (National Organic Program), por su parte, indica los tiempos mínimos de exposición térmica indispensables para poder garantizar la higienización del material que califica como mínimo en 3 días en fase termofílica para sistemas de apilado estático, tal es la exigencia que se utiliza como referencia para determinar la seguridad sanitaria del compost obtenido (USDA, 2023). Ambas normas son el soporte que permite contrastar los resultados físico-químicos y microbiológicos obtenidos en campo con los datos de referencia de carácter internacional, de un modo que permite la comprar los resultados obtenidos con la serie de estudios sobre compostaje realizados en las mismas condiciones (Castro, 2023).

7.13 Indicadores Microbiológicos de Inocuidad

La inocuidad del compost se evalúa a través de la cuantificación de microorganismos indicadores de contaminación fecal y patógenos de peligrosidad relevante para la salud humana, entre los que se encuentran los siguientes tipos, que explicamos brevemente: *Escherichia coli*; que con ser un tipo de bacteria del tracto intestinal de los mamíferos, su presencia en el compost corresponde a una reciente contaminación fecal o a la ineficacia de un tratamiento higiénico térmico; *Staphylococcus aureus*; podemos decir que también corresponde a ese tipo de contaminación fecal persistente derivada de la contaminación de origen animal o por la manipulación en la preparación del compost; y coliformes fecales, grupo de microorganismos cuyo conteo permite estimar la determinada cantidad general de

carga bacteriana residual en el compost, en función de la duración del proceso de compostaje (Román et al., 2023).

La eliminación o bien la prevención de la presencia de estos microorganismos, a los que sin duda hay que añadir la propia de los microorganismos patógenos, se basa directamente en que la pila alcance y mantenga temperaturas termofílicas suficientes (55-65 °C) durante un periodo mucho más prolongado, una circunstancia que puede quedar muy comprometida en los climas templados de montaña, donde no siempre se alcanza la temperatura máxima para poder asegurar la sanitización del material (USDA, 2023).

7.14 Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad sirve para comprobar si los datos que se obtiene de una variable determinada vienen distribuidos de una manera aproximadamente normal, requisito indispensable para poder tomar una decisión entre los tipo de pruebas paramétricas y no paramétricas que pueden llevarse a cabo en un análisis estadístico, de las pruebas que se presentan entre las que podemos hacer uso de ella para comprobar la normalidad, la de Shapiro-Wilk es la recomendada para los tamaños de muestra pequeños ($n < 50$) ya que nos da una potencia estadística mayor que otras alternativas como Kolmogórov-Smirnov en este tipo de conjuntos de datos, si el p valor es mayor que 0,05 se deduce que no existe suficiente información para tomar una decisión en el sentido de que la distribución no es normal (Bastidas, 2025).

Si **$p > 0,05$**: no se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que la variable se asume con distribución normal.

Si **$p < 0,05$**: se rechaza la normalidad, por lo que la variable requiere un análisis

7.15 Correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es un número que indica la fuerza y la dirección de la relación lineal existente entre dos variables cuantitativas, su valor oscila entre -1 y 1, un valor de este coeficiente de correlación de Pearson (r) cercano a 1 indica una relación lineal positiva fuerte, por el contrario, un valor cerca de -1 indicará la existencia de una relación lineal negativa fuerte y valores próximos a cero significan que las dos variables no están relacionadas linealmente, para poder aplicar el coeficiente de correlación de Pearson (r), ambas variables han de cumplir el supuesto de la normalidad; en caso de no cumplirse este supuesto se utilizan coeficientes no paramétricos como el coeficiente de correlación de Spearman(Mendoza & Cortéz, 2025).

$$r = \frac{\sum(Xi - \bar{X})(Yi - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(Xi - \bar{X})^2 \sum(Yi - \bar{Y})^2}}$$

7.16 Correlación de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman (también representado por la letra griega rho, ρ) es un coeficiente no paramétrico para el cálculo del grado y la dirección de la asociación monótona entre dos variables, no haciéndose ningún tipo de exigencia respecto a que la distribución de las variables sea normal (o en consecuencia que la relación entre ellas sea estrictamente lineal) y se calcula a partir del orden (de los rangos) de los valores de cada variable en lugar del valor en sí, comportamiento que lo convierte en una estadística más robusta (“a prueba de”, data robust) frente a los valores atípicos (outliers) que el coeficiente de correlación de Pearson, al igual que el coeficiente de correlación de Pearson, el de Spearman también oscila de -1 a +1 y se debe aplicar cuando una o ambas variables no cumplen el supuesto de normalidad comprobado por las pruebas de ajuste normal, como las de Shapiro-Wilk (Bastidas, 2025).

$$p = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)}$$

8.12 Regresión Lineal

La regresión lineal simple se considera una técnica del área de la estadística que establece la relación de una variable dependiente con otra variable independiente utilizando una ecuación de la forma y = a + bx con lo que permite alcanzar el objetivo de predecir el comportamiento de una variable a partir de otra (la independiente), el resultado del coeficiente de determinación (R^2) explicaría el porcentaje de la variabilidad que presenta la variable dependiente explicado por la variable independiente, y se considera un complemento natural del análisis de correlación a la hora de determinar el tipo de relación predicción que se establece a partir de dos variables (Mendoza & Cortéz, 2025).

$$y = a + bx \qquad b = \frac{\sum(Xi-\bar{X})(Yi-\bar{Y})}{\sum(Xi-\bar{X})^2} \qquad a = \bar{y} - b\bar{x}$$

8.Ecuaciones cinéticas

El control del compostaje puede llevarse a cabo a medida que se registran periódicamente las temperaturas del mismo, empleando modelos matemáticos de cinética térmica, los cuales inicialmente se han desarrollado para dar cuenta de los procesos de transferencia de calor para explicar la actividad biológica que da como resultado el compostaje, dado que el calor que se genera en el compostaje es la consecuencia de la actividad del metabolismo microbiano, las temperaturas cambian en el tiempo, como lo hacen las ecuaciones de tipo Newton de calentamiento y enfriamiento, las cuales también vale la pena anotar que se pueden utilizar para las variables de respuesta microbiana, el tiempo de retención en fase termofílica o la energía térmica del compostaje, esta cuantificación del compostaje puede, pero de hecho debe, combinarse con la descripta para el conjunto de datos obtenidos, como así también permite que se lleven a cabo las comparaciones que permiten las

narrativas en el compostaje que se obtienen en otros estudios e investigaciones de sustratos y climas diferentes (Petric et al., 2023).

8.1. Velocidad de Calentamiento en el Compostaje

La tasa de calentamiento es un parámetro cinético que representa la actividad metabólica de los microorganismos durante la biodegradación en el proceso de compostaje, calentamiento, a etapas tempranas, de la materia orgánica termófila durante la oxidación biológica inducida bacteriana/fúngica/actinomicetica, la tasa a la que sucede el proceso depende de la relación de carbono/nitrógeno (C/N), humedad, disponibilidad de oxígeno y condiciones climáticas exteriores entre otras (Trasviña, 2024).

$$\mathrm{Vc} = \frac{\mathrm{Tf} - \mathrm{Ti}}{\Delta \mathrm{t}}$$

Donde:

Vc = Velocidad de calentamiento (°C/día o °C/hora)

Tf = Temperatura final del periodo medido (°C)

Ti = Temperatura inicial del periodo medido (°C)

Δt = Intervalo de tiempo transcurrido (días u horas)

8.2 Velocidad de Enfriamiento en el Compostaje

La tasa de enfriamiento corresponde a una variable cinética que se relaciona con la tasa de calentamiento de la muestra mediante el proceso del compostaje aeróbico y que la podemos entender como la disminución de la temperatura de la pila luego de la declinación de la actividad microbiana como producto del final de un sustrato orgánico degradable rápidamente, y ese enfriamiento no deberíamos interpretarlo como una falta en la operación

sino que al contrario nos deberíamos fijar en que podemos interpretarlo como una señal en la transición normal entre fase termofílica y fase de maduración (Trasviña, 2024).

$$\mathrm{Ve} = \frac{\mathrm{Ti} - \mathrm{Tf}}{\Delta \mathrm{t}}$$

Donde:

Ve = Velocidad de enfriamiento (°C/día o °C/hora)

Ti = Temperatura inicial del periodo de descenso (°C)

Tf = Temperatura final del periodo de descenso (°C)

Δt = Intervalo de tiempo transcurrido (días u horas)

8.3 Área Bajo la Curva Térmica (AUC) en el Compostaje

El área bajo la curva (Area Under the Curve, AUC) es un parámetro que hace referencia a la cantidad de calor acumulada durante toda la ejecución del procedimiento de compostaje para el tiempo especificado, ya que la temperatura puntual únicamente es indicativa de un determinado estado térmico para el tiempo; el AUC lo que indica es por una parte, cantidad de temperatura existente para cada estancia de tiempo determinada, y por otra parte, la estancia térmica correspondiente a tiempo, de tal manera que se puede considerar que lo que mide es la intensidad del proceso biológico y, a la vez, su potencial de higienización (Ramírez, 2023).

$$\mathrm{AUC} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}-1} \frac{(\mathrm{Ti} + \mathrm{Ti} + 1)}{2} \times \Delta \mathrm{ti}$$

Donde:

AUC = Área bajo la curva térmica (°C × día)

Ti = Temperatura registrada en el día i (°C)

Ti + 1 = Temperatura registrada en el día siguiente (°C)

Δti = Intervalo de tiempo entre mediciones (días)

n = Número total de mediciones

8.4 Tiempo de permanencia termófila

TPT en la fase termofílica es un parámetro básico de la cinética en el proceso de compostaje aerobio que indica la cantidad de días en que la temperatura de la pila de compostaje se encuentra por encima de los 45 °C, temperatura a la cual se inicia la actividad de los microorganismos termofílicos degradadores de compuestos orgánicos complejos y de los patógenos, siendo este parámetro un indicador de la intensidad biológica del proceso y el principal criterio técnico y legislativo por el cual se puede certificar la inocuidad sanitaria del compost resultante a partir del estiércol animal (Ramírez, 2023).

$$\mathrm{TPT} = \mathrm{i} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \Delta\mathrm{ti} \ \text{ donde } \mathrm{Ti} \geq \mathrm{Tumbral}$$

Para la higienización básica se usa **T ≥ 45 °C**, y para la higienización efectiva se usa **T ≥ 55 °C**:

$$\mathrm{TPT}_{45} = \sum \Delta\mathrm{ti} \ \ (\mathrm{Ti} \geq 45\ ^{\circ}\mathrm{C})$$

$$\mathrm{TPT}_{55} = \sum \Delta\mathrm{ti} \ \ (\mathrm{Ti} \geq 55\ ^{\circ}\mathrm{C})$$

Donde:

TPT = Tiempo de permanencia termófila (días)

Δti = Intervalo de tiempo entre dos mediciones consecutivas (días)

Ti = Temperatura registrada en el intervalo i (°C)

$\mathbf{T-umbral}$ = Temperatura de referencia (45 °C o 55 °C)

8.5 Temperatura máxima (Tmax)

Tmax es el parámetro cinético que logra el valor más alto durante todo el procedimiento de compostaje aeróbico siendo el punto máximo de actividad metabólica de la comunidad microbiana termófila, y el indicador más próximo al proceso (degradación de la materia orgánica y la higienización del sustrato) de eficiencia directa ya que en la ganadería porcina, la Tmax se considera como una variable que refleja la habilidad del proceso para eliminar patógenos, larvas, huevos de helmintos y semillas de malezas que pueden estar presentes en los materiales de partida y, por lo tanto, se trata de un parámetro técnico fundamental para la validación de la inocuidad del fertilizante orgánico que se haya producido (Raya, 2021).

$$\mathrm{Tmax} = \max(\mathrm{T1}, \mathrm{T2}, \mathrm{T3}, \ldots, \mathrm{Tn})$$

Donde:

Tmax = Temperatura máxima registrada en el proceso (°C)

$\mathbf{T1}, \mathbf{T2}, \ldots, \mathbf{Tn}$ = Temperaturas registradas en cada día de medición (°C)

n = Número total de mediciones realizadas

8.6 Tiempo requerido para alcanzar Tmax

Tiempo para logra la temperatura máxima (t-Tmax) es un parámetro térmico de cuántos días se toma desde el compostaje hasta la pila alcance su temperatura máxima y es un parámetro cinético que indica la velocidad con que la comunidad microbiana reaccionó hacia el substrato disponible y es una medida directa de cuán efectivamente el substrato es biologizado ya que un t-Tmax más bajo indica que los microorganismos termófilos se activaron más rápidamente, y está correlacionado con la condiciones óptimas de humedad, aireación, relación C/N, y la carga microbiana inicial del sustrato (Trasviña, 2024).

El t-Tmax se calcula identificando el día en que se registra la temperatura máxima del proceso:

$$\mathrm{t-Tmax} = \mathrm{di\ donde\ Ti} = \mathrm{Tmax} = \max(\mathrm{T1}, \mathrm{T2}, \ldots., \mathrm{Tn})$$

Donde:

t − Tmax = Tiempo para alcanzar la temperatura máxima (días)

di = Día de medición en que se registra la Tmax (días desde el inicio)

Ti = Temperatura registrada en el día i (°C)

Tmax = Temperatura máxima del proceso (°C)

Como parámetro adicional se calcula la tasa de ascenso térmico medio (TAT), el cual expresa la velocidad media de calentamiento desde el inicio hasta la Tmax (Trasviña, 2024).

$$\mathrm{TAT} = \frac{\mathrm{Tmax} - \mathrm{T\ inicial}}{\mathrm{t-Tmax}}$$

Donde:

TAT = Tasa de ascenso térmico promedio (°C/día)

Tinicial = Temperatura registrada el día 1 del proceso (°C)

t − Tmax = Días transcurridos desde el inicio hasta alcanzar la Tmax

8.7 Constante cinética de enfriamiento

Reacción de primer orden es la cinética más utilizada para describir la biodegradación de la materia orgánica en el compostaje aerobio, dado que se asume que la tasa de descomposición de la materia en un momento es proporcional a la cantidad de materia orgánica que hay en el sustrato en ese momento, y por lo tanto predice una reducción exponencial en el contenido orgánico durante el tiempo esta aplicación proporciona la velocidad de biodegradación de la pila, la eficiencia relativa de los tratamientos, y el tiempo para la estabilización del material (Petric et al., 2023).

$$\frac{dC}{dt} = -K.C$$

Donde:

C = Concentración de materia orgánica o carbono orgánico total en el tiempo t (g/kg o %)

t = Tiempo transcurrido desde el inicio del proceso (días)

k = Constante de degradación de primer orden ($día^{-1}$)

8.8 Cinética tipo Newton de Calentamiento

El incremento de temperatura puede ser calculado de una versión adaptada de la Ley de Enfriamiento de Newton lo cual establece que la forma en la que varía la temperatura es

proporcional a la siguiente diferencia entre la temperatura de equilibrio y la temperatura del instante del sistema esta ecuación describe la situación como un incremento exponencial, la temperatura va aumentando vertiginosamente los primeros días y luego, después de días, se acercará lentamente a la temperatura más alta (García, 2020).

La ecuación diferencial se expresa como:

$$\frac{dT}{dt} = K_H(Teq - T)$$

Donde:

T= temperatura del compost (°C).

Teq= temperatura máxima o de equilibrio (°C).

kH= constante cinética de calentamiento (día−1).

t= tiempo (días).

Al integrar la ecuación diferencial se obtiene:

$$T(t) = Teq - (Teq - T0)e^{-kHt}$$

Donde:

T0= temperatura inicial del proceso.

T(t)= temperatura del compost en el tiempo t.

8.9 Cinética tipo Newton de Enfriamiento

La cinética del enfriamiento de tipo Newton es una ley empírica basada en la de un cuerpo que se encuentra a una temperatura diferente a la del ambiente en el que se encuentra,

en cuanto al compostaje aerobio esta cinética puede usarse para estimar la disminución de temperatura en la pila durante la fase de enfriamiento y de maduración, cuando la actividad microbiana termófila decae debido al agotamiento de los sustratos orgánicos de fácil degradación ya que este tratamiento proporciona un parámetro cuantitativo que caracteriza la rapidez de pérdida térmica del sistema, y permite estudiar el efecto de diversos factores ambientales externos, tales como la temperatura ambiental, en la dinámica térmica del proceso (Petric et al., 2023).

$$\frac{dT}{dt} = -KN * (T - Tamb)$$

Donde:

T = Temperatura de la pila de compost en el tiempo t (°C)

t = Tiempo transcurrido desde el inicio del enfriamiento (días)

kN = Constante cinética de enfriamiento tipo Newton ($día^{-1}$)

Tamb = Temperatura ambiental del entorno (°C), considerada constante o promedio

Integrando la ecuación diferencial se obtiene la solución analítica:

$$T(t) = Tamb + (T_0 - T_{amb} * e^{-kN*t}$$

Donde:

T(t) = Temperatura de la pila en el tiempo t (°C)

$\mathbf{T_0}$ = Temperatura de la pila al inicio de la fase de enfriamiento (°C)

Tamb = Temperatura ambiental media de la zona (°C)

kN = Constante de enfriamiento de Newton (día^{-1})

e = Base del logaritmo natural (2,71828...)

Linealización para calcular kN:

Despejando y aplicando logaritmo natural:

$$\mathrm{Ln}\left(\frac{\mathrm{T(t)} - \mathrm{T_{amb}}}{\mathrm{T_0} - \mathrm{T_{amb}}}\right) = -\mathrm{kN} * \mathrm{t}$$

Para graficar el lado izquierdo como una función de la variable t se obtiene una gráfica de la forma de una recta con el coeficiente de la pendiente, igual a -kN, que permite el cálculo directo de la constante de enfriamiento con un ajuste de regresión lineal de la gráfica obtenida (Petric et al., 2023).

Tiempo de enfriamiento a la mitad del diferencial térmico (t½N):

$$\mathrm{t_{1/2N}} = \frac{\mathrm{Ln2}}{\mathrm{kN}} = \frac{0{,}693}{\mathrm{kN}}$$

8.10 Energía Acumulada en el Compostaje

La energía térmica generada durante el proceso de compostaje, es el valor integral a lo largo de este proceso por la actividad microbiana y está relacionada con la temperatura del tiempo en comparación con la temperatura temporal, que es el estado térmico en un momento temporal, es la energía a- acumulada que consideró tanto la magnitud de la temperatura aplicada y la duración de la temperatura en cada etapa del proceso, y se define como una medida de intensidad durante todo el período de maduración del compost y su capacidad para modificar la materia orgánica (Fallas, 2023).

Fórmula de cálculo de la Energía Acumulada

El contenido de energía térmica almacenada se determina sumando todos los incrementos de temperatura sobre una temperatura base de referencia (T base), correspondiente al valor de temperatura diaria mínima en el cálculo, por períodos de tiempo, pudiendo expresarse en unidades de temperatura t por u de tiempo ti en grados días (°C·d):

$$EA = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Ti + T_{i+1})}{2} X\ \Delta ti$$

Donde:

EA = Energía acumulada (°C·día)

Ti = Temperatura registrada en el día i (°C)

Ti + 1 = Temperatura registrada en el siguiente día de medición (°C)

Δti = Intervalo de tiempo entre mediciones consecutivas (días)

n = Número total de mediciones

9. HIPOTESIS

H0: La dieta tradicional suministrada al cerdo criollo de traspatio no se relacionará la dinámica térmica y la composición físico química y microbiológica.

H1: La dieta tradicional suministrada al cerdo criollo de traspatio se relacionará la dinámica térmica y la composición físico química y microbiológica.

10. METODOLOGÍA

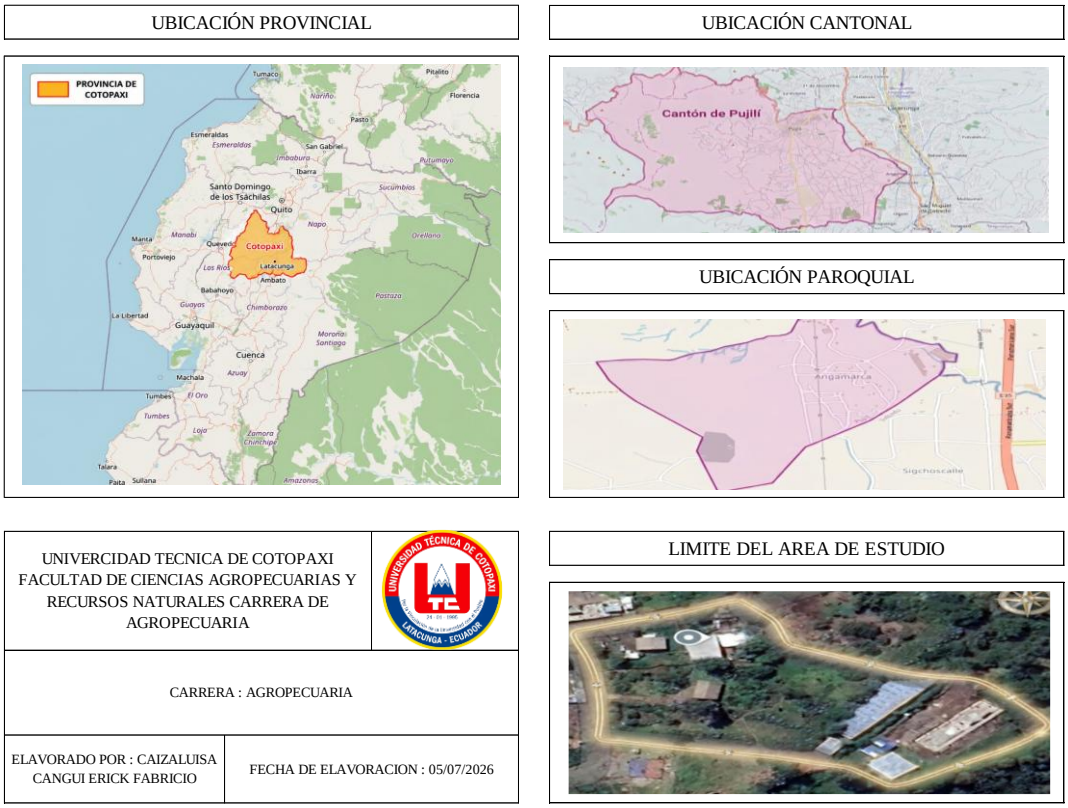
10.1 Área de estudio

La investigación se lleva a cabo en la Parroquia de Angamarca "Salache" que se encuentra el Cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, seleccionada como la zona piloto de instalación y evaluación, ubicada a 2.996 msnm, con coordenada latitud de -1.00615°S y longitud de -78.61766°O. Su ubicación hace que el área tenga un clima definido y templado-frío típico de la Sierra ecuatoriana, con temperaturas en la mayoría del año que oscilan de 10 °C a 18 °C con promedio anual de 13 °C. Estas condiciones permiten el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias, por lo que se considera un medio bastante apto para la realización de la investigación. A su vez, el área de estudio tiene presente el recurso hídrico de fuentes naturales y sistemas de captación utilizados por los moradores de la zona, que permite el desarrollo de actividades productivas y el logro de los objetivos planteados en el presente proyecto.

Esta investigación asumió un perfil descriptivo-exploratorio de escala de traspatio, con la finalidad de caracterizar un sistema productivo real de pequeños productores, sin buscar comparar tratamientos experimentales, es decir, el número de unidades experimentales y el número de réplicas se definieron según la representatividad del sistema evaluado y no desde un diseño estadístico comparativo.

Figura 1

Ubicación del área de estudio.



Nota. Tabla de ubicación del área de estudio de autoría propia.

Tabla 4

Características del área de estudio

Coordenadas	Altitud	Latitud	Altitud msnm
Terreno	-1,00615	-78,61766	2.996 m s. n. m

Nota. Tabla de coordenadas de la ubicación de estudio.

10.2 FASE 1: Manejo de Unidades

Unidades Experimentales: Se emplearos 4 cerdos criollos post-destete (10 kg, misma edad), el número de muestras (n = 4) se adaptó a la escala real de traspatio de las pequeñas escalas de producción de Angamarca, donde la cantidad habitual de cerdos criollos por unidad familiar es de 4, al no haber grupos de comparación, la réplica se centró en el monitoreo que

se realizaba con las excretas (15 días) y del compostaje (49 días) mas no, en el número de animales.




Alimentación Dieta Tradicional: Los 4 animales recibieron la misma dieta por 15 días para la recolección de las excretas(Landín, 2023).

Dieta Tradicional Estandarizada: La totalidad de la materia seca (100%) de la dieta procedió de la formula tradicional (suero, puré de papa, cebada, alfalfa) (Landín, 2023).




10.2.1 Preparación de la dieta tradicional

Se realizará mezcla fresca dos veces al día (para la ración de la mañana y la de la tarde), no se debe preparar con un día de anticipación, ya que el suero se fermenta (Martinez, 2024).

10.2.3 Paso A: Preparar el Puré Estandarizado.

Los ingredientes crudos de la fórmula se pesaron: 70% Papa y 30% Grano de Cebada.

Se hirvieron en agua, sin añadir sal, hasta que estuviesen suaves.

Se escurría el agua en exceso y se trituraba todo.

Se dejaba enfriar y se guardaba dicho puré (Carlos, 2020).



10.2.4 Paso B: Preparar la Mezcla Final.

Los de 7 kg (representa la ración de una comida para los 4 cerdos en el día total deben ser 2 comidas =14 kg (Carlos, 2020).

En un recipiente o batea limpia, se pesó 4,20 kg de Suero de Leche.

Se añadió y peso 2,45 kg del Puré Estandarizado (del Paso A).

Se añadir y peso 0.35 kg (350 g) de Alfalfa Fresca Picada (Martinez, 2024).



Mezclar estos tres ingredientes

Se revolvió todo muy bien para que todo se integre y forme una sopa espesa y homogénea, reposar hasta que se enfrié y alimentarles a los cerdos(Perez, 2013).




10.2.5 Aseguramiento Consumo Constante

Esto trae consigo poder permitir que el cerdo tenga acceso constantemente al alimento y que pueda comerse lo que le fuera necesario hasta saciarse.

Suministro (1 vez al día): se elaboró un primer lote de 7,0 kg durante la mañana que fue ofrecido y al mismo tiempo por la tarde se elaboró segundo lote correspondiente a otro lote de alimento igual al previamente descrito de 7.0 kg que fue ofrecido. Por lo tanto se puede calcular que la suma total de alimentos suministrados que fueron consumidos de un día será igual a: Total= 14 kg (Lucio et al., 2022).

Valoración de Rechazo. En la valoración de rechazo, se dejó los alimentos en el comedero 1-2 horas.

Cuando acabó el tiempo de dejar los alimentos en el comedero, se retiraba los alimentos se pesaba y se recogía el sobrante o rechazo.

Cálculo:

$$Kilos\ Ofrecidos\ -\ Kilos\ Rechazados\ =\ Consumo\ Real\ Voluntario.$$

Ajuste: Si los cerdos se comen toda la comida y se lamen el plato significa que sí tenían más hambre, hay que preparar y dar una mayor cantidad al siguiente comida (Carlos, 2020).



11. FASE 2: Recolección y selección del estiércol proveniente de animales con dieta tradicional.

Las muestras de las excretas fueron recolectadas en corrales priorizados con el uso de estiércol fresco con un tiempo inferior a 24 horas, a fin de minimizar las pérdidas de nitrógeno por volatilización y evitar que la muestra entre en procesos fermentativos aerobios (Rivero & Thomas, 2024).

Se llevará a cabo la recolección utilizando palas y recipientes plásticos perfectamente limpios y desinfectados, con lo que se eliminará el riesgo de contaminación con otros materiales distintos de los que se han empleado para la recogida o con patógenos ajenos, de los que se evidenciará que la calidad del compost a obtener procederá de otros factores como el material inicial, la actividad microbiana y las condiciones del proceso en sí mismo (Román et al., 2023).

Al seleccionar el estiércol debe eliminarse material inorgánico como piedras, plásticos, restos metálicos o exceso de cama vegetal, como también contaminación química o biológica que pueda influir en la actividad microbiana del proceso y en la estabilidad del producto final (Landín, 2023).

Posteriormente el estiércol será homogeneizado mediante mezclado manualmente para asegurar una composición uniforme e incorporar al área de compostaje, ya que la

composición inicial influye en las pérdidas de nitrógeno y en la calidad final del abono orgánico (Delgado et al., 2019).

Se colocará en un lugar fresco cubierto con plásticos con agujeros para que se dé el intercambio de aire manteniendo su humedad, evitando el sol directo y la lluvia, ya que químicamente el compost maduro contiene compuestos orgánicos parcialmente humificados lo que determina la calidad, estabilidad y valor agronómico del compost maduro (Delgado et al., 2019).







11.1 Manejo y Monitoreo del Compostaje

Se realizará la gestión de una pila de compostaje aerobia

El apilado: La preparación de la pila tiene lugar mediante la mezcla de la excreta (materia fecal), dado que es muy húmeda, rica en nitrógeno; se mesclara con una materia estructurante, rica en carbono, que puede ser el rastrojo seco de maíz hasta lo que constituye una relación de C/N, lo que se puede estimar que será un valor inicial aproximado que puede estar entre 25:1 y 30:1 y la humedad como susceptible de ser considerada como la adecuada para ellas (Alvarado et al., 2022).

Protocolo del manejo: Se realizo una pila con un volumen total de 1 m^3, para poder asegurar la fase termofílica. El manejo aerobio se llevó a cabo de la siguiente forma:

Volteos: Se los realizarán los volteos manuales periódicos de cada 7 días a fin de re oxigenar la pila, redistribuir la humedad y homogeneizar el material (Landín, 2023).

Monitoreo y control durante 60 días: Como punto de control se irán a registrar los parámetros principales (Díaz et al., 2024).

Temperatura: Se medirá semanalmente estableciendo un cronograma fijo en los días 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 60, en el núcleo de la pila usando un termómetro de varilla. Se buscará alcanzar y sostener la fase termofílica (> 55 °C) para la higienización del material (Castro, 2023).

Humedad: La humedad se controlará semanalmente (cronograma fijo de los días 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 60), mediante la "prueba del puño", intentando mantenerla en niveles de 50% – 60 %; se corregirá con agua (si está seco) o con más material estructurante (si está muy húmedo) en las actividades de volteo (Díaz et al., 2024).

PH: Se medirá semanalmente (cronograma fijo en los días 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 60) con un potenciómetro en una solución (1:5 compost: agua destilada) (Rivero & Thomas, 2024).

El proceso se estabilizará a los 60 días o cuando la temperatura de la pila descienda y se mantenga a nivel ambiente y el material presente un color oscuro, textura y olor a tierra de bosque (Bernal et al., 2009).



12. FASE 3

Estabilizado el compostaje el día 60 se procede a la caracterización físico química (Román et al., 2023).

La muestra es compuesta para cual se tomará 10-1.5 submuestras de diferentes puntos de la pila (centro, bordes, diferentes profundidades) las mismas que se mezclarán homogéneamente y se reducirán por el método del cuarteo hasta obtener una muestra final de aproximadamente 1 kg (Fertilab, 2022).

La muestra pasará a un laboratorio donde se cuantificarán los siguientes parámetros con metodologías estándar (Rivero & Thomas, 2024).



Tabla 5

Parámetros del compostaje

Parámetro	Importancia del estiércol del cerdo
PH	Explica la acidez o la alcalinidad y la estabilidad biológica del compost (Román et al., 2023).
Conductividad Eléctrica (dS/m o mS/cm)	Detalla cuál es la concentración de sales solubles que contendría el compost (Rivero & Thomas, 2024).
Materia Orgánica (%)	Refleja el contenido orgánico biodegradable (Fertilab, 2022).
Nitrógeno Total (g/kg)	Representa el principal nutriente aportado por el estiércol (Díaz et al., 2024).
Fósforo Asimilable (g/kg)	Nutriente esencial para raíces y floración (Trasviña, 2024).

Potasio Intercambiable (g/kg)	Es un elemento para conseguir un equilibrio hídrico (Rivero & Thomas, 2024).
Relación C/N	Indica el grado de madurez y estabilidad del estiércol (Fertilab, 2022).

Nota. Tabla de parámetros del compost de autoría propia.

Fase Mesofílica: En el comienzo de la fase ya empiezan a registrarse los incrementos de la temperatura de forma exponencial (Bertoldi, 2007).

Fase Termofílica: En esta fase se obtiene del valor Temperatura Máxima alcanzada se interpretará que si el compost ha sobrepasado los 55 °C o los 45 °C según caso así como del número de días que estuvieron en tal situación (Raya, 2021).

Fase de Enfriamiento: En esta fase ilustra como, tras los volteos, la temperatura, empieza disminuir lentamente hasta igualar la temperatura ambiente al final de los 60 días (Fernández, 2020).

Se usarán gráficos de toma de la humedad y pH al día 1, día 7, día 14, día 21, día 28, día 35, día 42, día 49, día 60 (Díaz et al., 2024).

Se analizo la humedad demostrando que al emplear el manejo (volteos, adición de agua o material seco), la humedad se mantuvo dentro del rango óptimo (Carlos, 2020).

Tabla 6

Fases de las etapas de temperatura

Fase	Temperatura	Proceso	Reacción
Fase mesófila	20 – 40 °C	Oxidación de carbohidratos	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$
Fase mesófila	20 – 40 °C	Hidrólisis de polímeros	$R–CO–NH–R' + H_2O \rightarrow R–COOH + R'–NH_2$
Fase mesófila	20 – 40 °C	Liberación inicial de CO_2	$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$

Fase termófila	45 – 65 °C	Urea	$(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2$
Fase termófila	45 – 65 °C	Aminoácidos	$R–CH(NH_2)COOH \rightarrow NH_3$ + ácidos orgánicos
Fase termófila	45 – 65 °C	Oxidación parcial de lípidos	$C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \rightarrow 16CO_2 + 16H_2O$
Fase de enfriamiento	40 – 30 °C	Oxidación de celulosa	$(C_6H_{10}O_5)_n + nO_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
Fase de enfriamiento	40 – 30 °C	Nitrificación	$NH_4^+ + 1.5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$

Nota. Tabla de fases de temperatura del compost de autoría propia.

13. FASE 3 Curva térmica Estiércol (Porcino)

13.1 Velocidad de calentamiento.

Se estableció la tasa de calentamiento con la finalidad de evaluar la velocidad del aumento de la temperatura que parte de una temperatura inicial previamente establecida para un proceso concreto hasta llegar a la máxima alcanzada (Trasviña, 2024).

13.2 Velocidad de enfriamiento.

Seguido a la temperatura máxima, se determinó la velocidad de enfriamiento para estudiar la desaceleración de la actividad microbiológica en el periodo de estabilización (Trasviña, 2024).

13.3 Área bajo la curva térmica (AUC)

La acumulación de temperatura por tratamiento fue cuantificada mediante el área bajo la curva térmica con el método trapezoidal que integra la intensidad y la duración térmica del proceso (Ramírez, 2023).

13.4 Tiempo de permanencia en fase termófila

Se investigó que la fase termofílica se puso cómo el intervalo tiempo en el cual la temperatura fue superior a los 55 °C o 45 °C (Raya, 2021).

La higienización básica corresponde al tratamiento a T ≥ 45 °C y la higienización efectiva corresponde al tratamiento a T ≥ 55 °C (Raya, 2021).

13.5 Determinación de la temperatura máxima (Tmax)

La temperatura máxima para cada uno de los tratamientos fue el mayor valor encontrado en la curva de la temperatura, ya que se usó este dato para evaluar tanto la actividad microbiana como así también la eficacia de la descomposición orgánica (Trasviña, 2024).

13.6 Tiempo requerido para alcanzar la temperatura máxima

Con el objetivo de poder determinar en qué día tuvo lugar la temperatura máxima se escogió el día en el cual dicha temperatura había alcanzado su valor más alto, de este modo simplificando el cálculo de la velocidad de este determinado proceso microbiano ,es decir, se podría llegar a establecer comparaciones del mejor tratamiento de los aplicados entre los diferentes tratamientos (Trasviña, 2024).

Como parámetro complementario que se introduce es la Tasa de Calentamiento Medio (prueba de intensidad - TAT), que caracteriza y expresa la tasa de calentamiento medio entre el inicio y el Tmax (Trasviña, 2024).

13.7 Determinación de la constante cinética de enfriamiento

La fase que fue destinada a la etapa de enfriamiento fue modelada con una cinética de primer orden en la que la rapidez de decrecimiento se encuentra proporcional a la cantidad de material degradable que pudiera haber tenido en el instante de la degradación (Petric et al., 2023).

13.8 Cinética tipo Newton de Calentamiento

El calentamiento se modeló a partir de la conocida Ley de Newton modificada a partir de la cual la variación del calentamiento es la proporcional a la diferencia entre la temperatura de equilibrio y la instantánea, describiendo un ascenso exponencial hacia la temperatura máxima (García, 2020).

13.9 Cinética tipo Newton de enfriamiento

Es una ley empírica basada en la temperatura del ambiente, en cuanto al compostaje aerobio, puede usarse para estimar la disminución de temperatura en la pila durante la fase de enfriamiento y de maduración (Petric et al., 2023).

13.10 Energía Acumulada en el Compostaje

El valor de la energía que se acumuló correspondió a la que se evaluó como la resta entre la temperatura interna y la temperatura ambiental, para esta última, se usó la media de la medida semanal, es decir, cada 7 días, durante un periodo fijo, de 60 días, usando la ecuación para calor sensible (Fallas, 2023).

13.11 Análisis estadísticos

A los datos obtenidos durante el compostaje (temperatura, pH, humedad) y en la etapa de alimentación (consumo de dieta y cantidad de excretas) se les aplicó el siguiente análisis estadístico:

13.12 Estadística descriptiva

Se calcularon medias, medianas, desviaciones estándar, varianzas, valores mínimos y máximos, rango y coeficiente de variación (CV%) para cada variable con la finalidad de caracterizar el comportamiento de cada parámetro durante el tiempo de estudio.

13.13 Prueba de normalidad

Antes de elegir el coeficiente de correlación, se verificó el supuesto de normalidad para cada variable con la prueba de Shapiro-Wilks, teniendo en cuenta un nivel de significancia de α=0,05:

Si **p > 0,05**: no se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que la variable se asume con distribución normal.

Si **p < 0,05**: se rechaza la normalidad, por lo que la variable requiere un análisis no paramétrico.

13.14 Análisis de correlación

De acuerdo con el resultado del test de normalidad, se aplicó el coeficiente de correlación más adecuado para cada caso entre determinados pares de variables, para evaluar la fuerza de su asociación:

El coeficiente de correlación de Pearson (r) se aplica cuando las dos variables observadas tenían distribución normal.

La correlación de Spearman (ρ): se utiliza si una u otra variable no satisface el supuesto de normalidad.

La correlación se considera estadísticamente relevante cuando $p < 0,05$. Fortalezas de la correlación r: 0,00–0,19 muy débil; 0,20–0,39 débil; 0,40–0,59 moderada; 0,60–0,79 fuerte; 0,80–1,00 muy fuerte.

13.15 Análisis de regresión lineal

Se ajustó para cada variable que mostró una correlación significativa un modelo de regresión lineal simple para determinar la ecuación predictiva entre los dos:

El ajuste del modelo se evaluó con el R2, que representa el porcentaje de variación de la variable dependiente que puede explicar la variable independiente.

Variables analizadas

Temperatura, pH y Humedad, registrada cada 7 días en el proceso de compostaje (n=8).

Día a día: Consumo de dieta real (kg) y de los excretos (kg) producidos, durante 15 días de vigilancia (n=15).

13.16 Software utilizado

Los resultados fueron procesados con los módulos de Estadística Descriptiva, Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilks) y Análisis de Correlación del paquete estadístico para estudiante InfoStat (Software).

14. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

14.1 Calculo de curvas térmicas y la aplicación de ecuaciones cinéticas

14.1.1 Registros de temperatura

Tabla 7

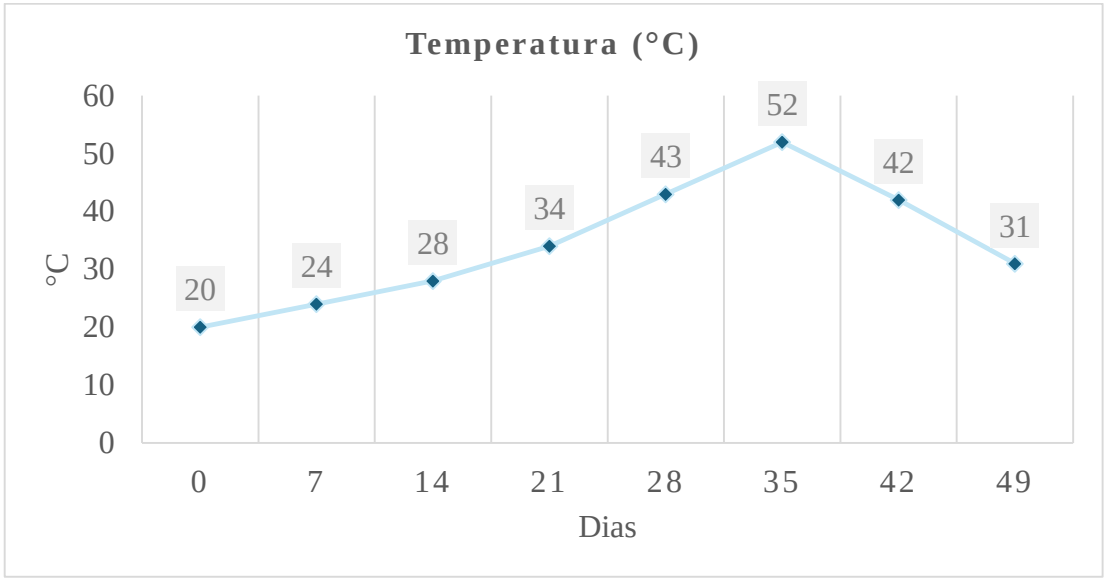
Tabla de registros de temperatura, pH, humedad

Dia	Fecha	Temperatura (°C)	pH	Humedad (%)
0	28/4/2026	20	7,0	65
7	5/5/2026	24	7,5	63
14	12/5/2026	28	7,5	60
21	19/5/2026	34	7,8	58
28	26/5/2026	43	8,0	55
35	2/6/2026	52	8,5	53
42	9/6/2026	42	8	50
49	16/6/2026	31	7,5	48

Nota. Tabla de registros de temperatura, pH, humedad de autoría propia.

Figura 2

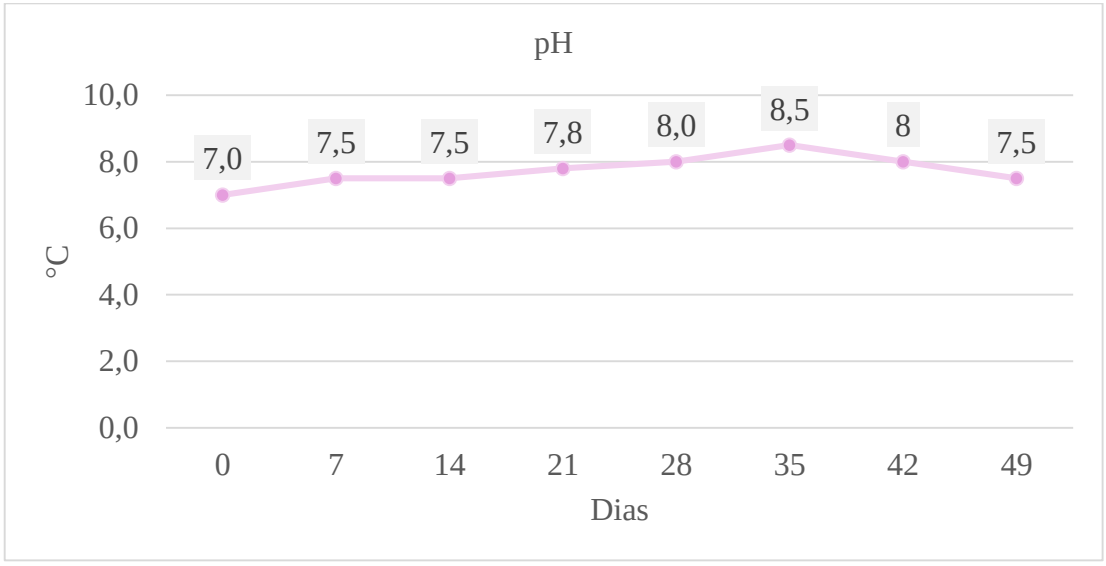
Curva de temperatura



Nota. Tabla de registros de temperatura de autoría propia.

Figura 3

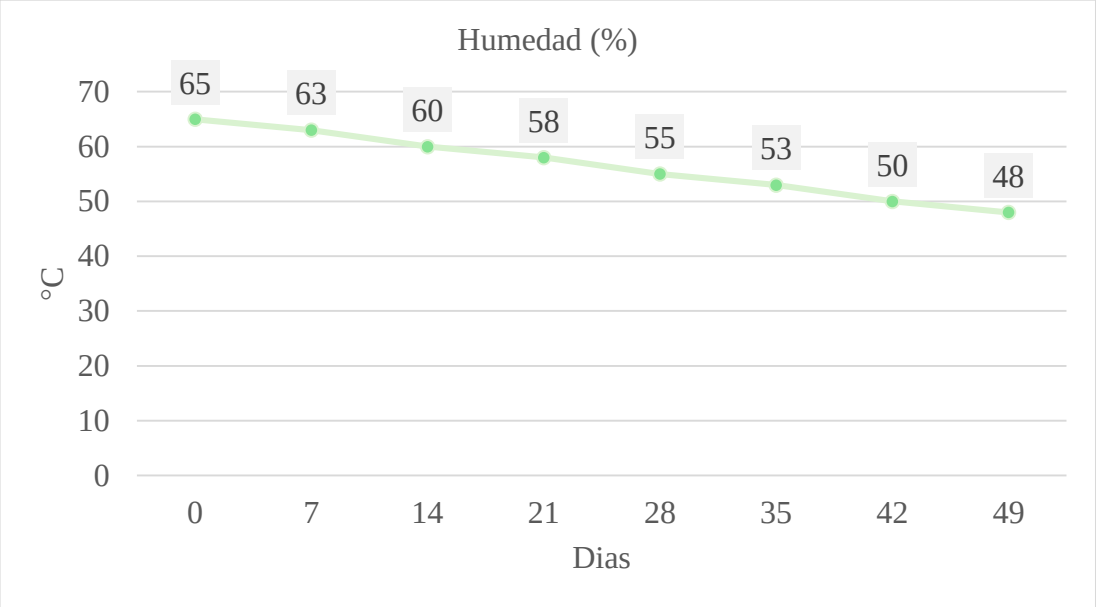
Curva de pH



Nota. Tabla de registros de pH De autoría propia.

Figura 4

Curva de humedad



Nota. Tabla de registros de humedad de autoría propia.

Análisis

La observación en el proceso de los 49 días de compostaje conllevó la evolución asociada conforme se evalúan la temperatura, pH y humedad en función de las fases de un proceso típico aerobio, la temperatura aumentó -en pleno proceso- de 20 °C a 52 °C en un espacio de 35 días superando el umbral crítico de 45 °C para la desinfección del sustrato y pasó a decrecer hasta 31 °C en el día 49 cuando no hay más sustrato inestable y se inicia el proceso de maduración, el pH se mantuvo en el intervalo óptimo de 6,5-8,5 en todo el proceso de compostaje alcanzando 8,5 en el día 35 coincidiendo con la mineralización nitrogenada de la fase termofílica para luego decrecer hasta un pH final de 7,5, la humedad fue decreciendo de forma continua de entre 65 % hasta 48 % ocupando el intervalo de humedad óptimo de 50-60 % durante la mayor parte del proceso de compostaje por un mezclado periódico. Por lo tanto, consideramos que se cumplían todas las condiciones para estabilizar correctamente el estiércol porcino a las condiciones climáticas de Angamarca (Rivero & Thomas, 2024).

14.2.2 Velocidad de Calentamiento

Tabla 8

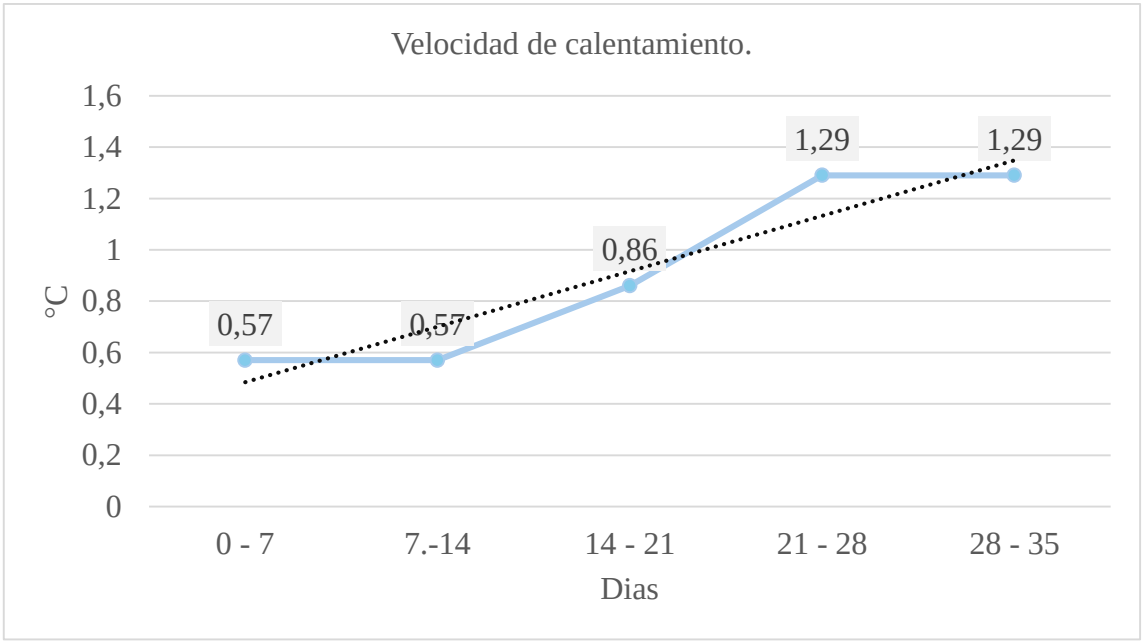
Tabla de cálculos de la velocidad de calentamiento por día

Intervalo (días)	Ti (°C)	Tf (°C)	Δt (días)	Vc (°C/día)
0 - 7	20	24	7	0,57
7.-14	24	28	7	0,57
14 - 21	28	34	7	0,86
21 - 28	34	43	7	1,29
28 - 35	43	52	7	1,29

Nota. Tabla de cálculos de velocidad de calentamiento cada siete días de autoría propia.

Figura 5

Curva de velocidad de calentamiento del compost



Nota. Curva de velocidad de calentamiento del compost de autoría propia.

Análisis

Para velocidad de calentamiento global se obtuvo un aumento de 0,914 °C/día (de 20 °C a 52 °C transcurridos 35 días), a través de intervalos semanales se consignó un aumento progresivo de 0,57 °C/día durante los primeros 14 días, correspondientes a la fase mesófila; 0,86 °C/día desde el día 14 hasta el día 21; y un máximo de 1,29 °C/día entre los días 21 y 35

correspondientes a la fase termófila, la tendencia de aumento reflejada es congruente con el modelo cinético de Newton y hace suponer que las bajas temperaturas ambientales de Angamarca retrasan el periodo de activación inicial del proceso microbiano (Bertoldi, 2007).

14.2.3 Velocidad de Enfriamiento

Tabla 9

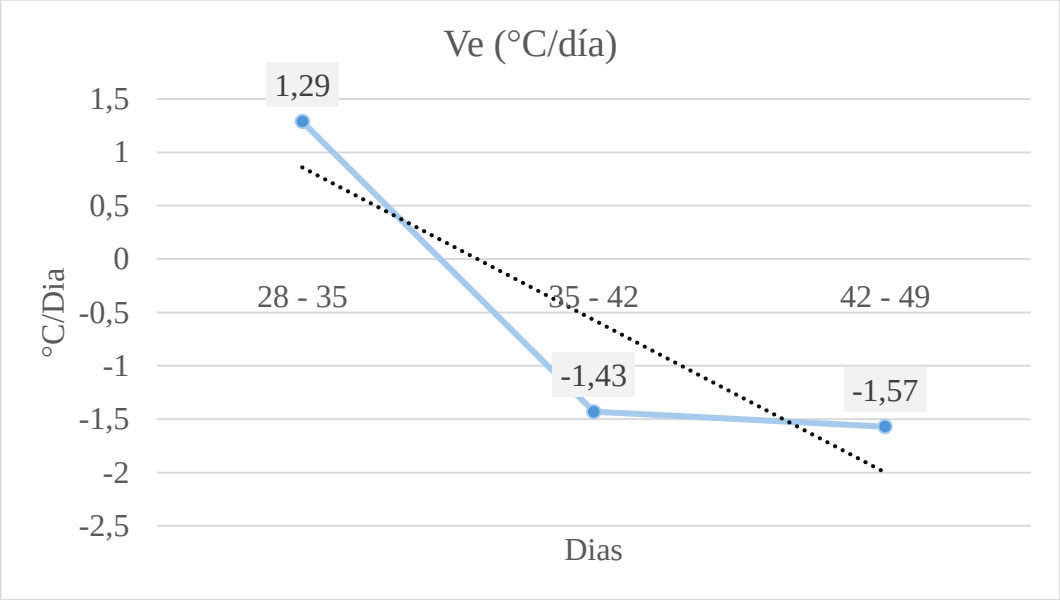
Tabla de cálculo de la velocidad de enfriamiento del compost por día

Intervalo (días)	Ti (°C)	Tf (°C)	Δt (días)	Ve (°C/día)
28 - 35	43	52	7	1,29
35 - 42	52	42	7	-1,43
42 - 49	42	31	7	-1,57

Nota. Tabla de cálculos de velocidad de enfriamiento cada siete días de autoría propia.

Figura 6

Curva de velocidad de enfriamiento del compost



Nota. Curva de velocidad de enfriamiento cada siete días de autoría propia.

Análisis

La temperatura se empezó a enfriar a partir del día 35, cuando tuvo lugar el límite superior de 52 °C, durante el periodo transcurrido desde el día 35 hasta el día 42 la temperatura decreció a razón de -1,43 °C/día (52 a 42 °C) y, por el contrario, entre los días 42

y 49 se produjo el mayor descenso en la temperatura, alcanzando un enfriamiento de -1,57 °C/día (42 a 31 °C), el aumento progresivo en la rapidez de enfriamiento es prueba del agotamiento del sistema de sustratos degradables y de una menor actividad termófila en conformidad con el modelo de enfriamiento de tipo Newton.14.2.4 Área Bajo la Curva Térmica (AUC) (Bertoldi, 2007).

14.2.4 Área Bajo la Curva Térmica (AUC)

Tabla 10

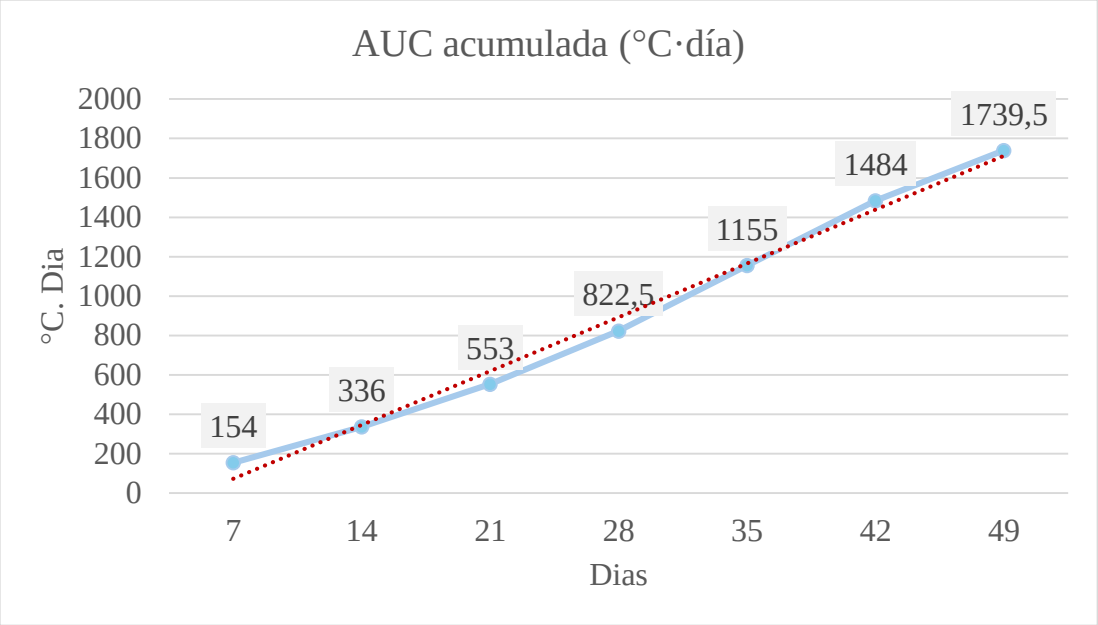
AUC acumulada de cada registro

Día	AUC acumulada (°C· día)
7	154
14	336
21	553
28	822,5
35	1155
42	1484
49	1739,5

Nota. Tabla de cálculo de temperatura acumulada (AUC) de autoría propia.

Figura 7

Temperatura de AUC acumulada de cada registro



Nota. Curva de temperatura acumulada de (AUC).

Análisis

A los 49 días de acumulación de esa área bajo la curva térmica, se experimentó una acumulación de 1.739,5 °C·día, la serie presentado un aumento hasta el día 35 (154 a 332,5 °C·día de intervalo) y un descenso correspondiente a los dos últimos tramos (329 y 255,5 °C·día). La serie alcanzó en los tramos correspondientes a los días 21 a 35 el 34,6 % del AUC total (602 °C·día), esto es, en la fase de mayor expresión de actividad termófila, el área bajo la curva acumulada se ve inmersa dentro del rango compatible con una correcta estabilidad térmica del sustrato (Castro, 2023).

14.2.5 Tiempo de permanencia termofílica

Tabla 11

Tabla de temperatura calculada y temperatura referencial

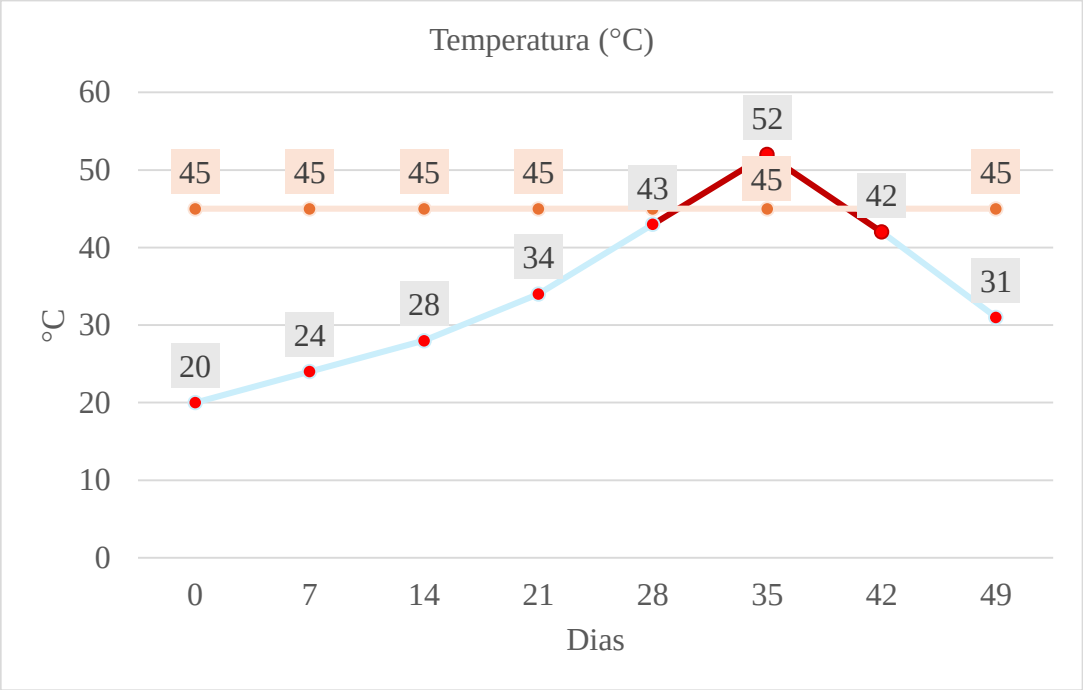
Día	Temperatura (°C)	Temperatura Referencial
0	20	45
7	24	45

14	28	45
21	34	45
28	43	45
35	52	45
42	42	45
49	31	45

Nota. Tabla de temperatura calculada y temperatura referencial de autoría propia.

Figura 8

Curva de permanecía termofílica sobre los 45 °C



Nota. Curva de permanencia termofílica sobre los 45 °C de autoría propia.

Análisis

La interpolación lineal dio como resultado que la temperatura se había rebasado el límite de los 45 °C en los días 29.56, 39.90 (máximo de 52 °C en el día 35 y TPT_{45} = 10.34 días), que es superior a los 3 días que recomienda el USDA-AMS, la permanencia termófila fue bastante larga, aunque el clima frío de Angamarca lo acortó con relación a las circunstancias de los climas templados (USDA, 2023).

14.2.6 Temperatura Máxima (Tmax)

Tabla 12

Tabla de temperatura máxima registrada

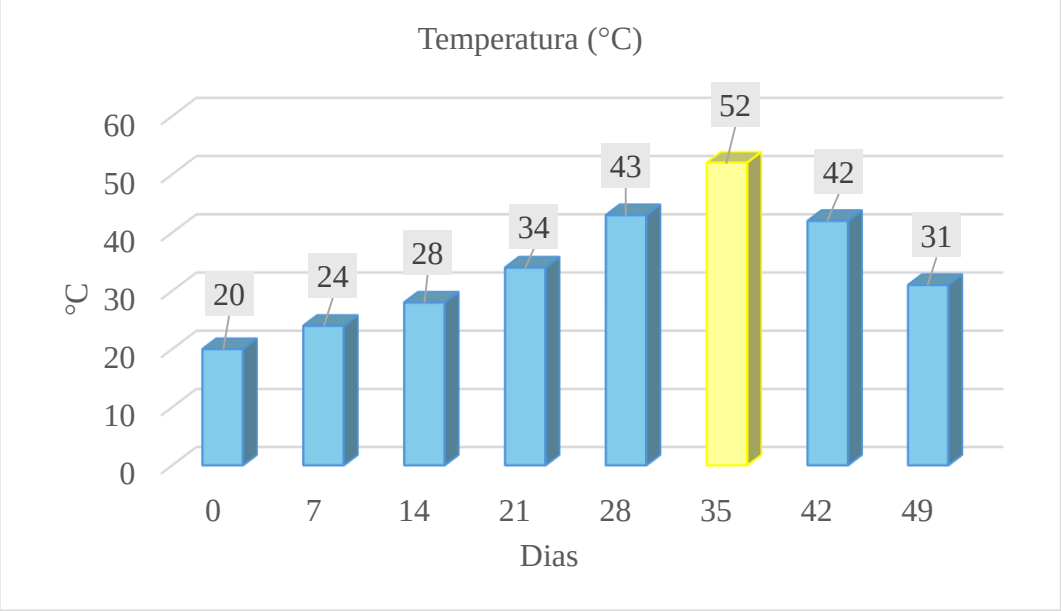
Tomando los datos de temperatura de tu tabla:

Temperatura	
$T_1 = 20$ °C	
$T_2 = 24$ °C	
$T_3 = 28$ °C	
$T_4 = 34$ °C	
$T_5 = 43$ °C	
$T_6 = 52$ °C	→ Tmax= 52 °C
$T_7 = 42$ °C	
$T_8 = 31$ °C	

Nota. Tabla de temperatura máxima registrada de autoría propia.

Figura 9

Temperatura máxima registrada



Nota. Temperatura máxima registrada de autoría propia.

Análisis

La temperatura más alta alcanzada fue de 52 °C el día 35, posteriormente esta disminuyó hasta 42 °C (día 42) y a los 31 °C al cabo de 14 días (día 49), este valor sobrepasó el umbral mínimo, marcado en 45 °C para la fase termófila, y se situó por debajo del rango adecuado de temperatura 55-65 °C recomendado para conseguir una higienización adecuada, lo cual se debe a las escasísimas temperaturas (10-15 °C) que se dieron en Angamarca y al bajo volumen de la pila (1 m³) (Rivero & Thomas, 2024).

14.2.7 Tiempo requerido para Alcanzar la Temperatura máxima

Tabla 13

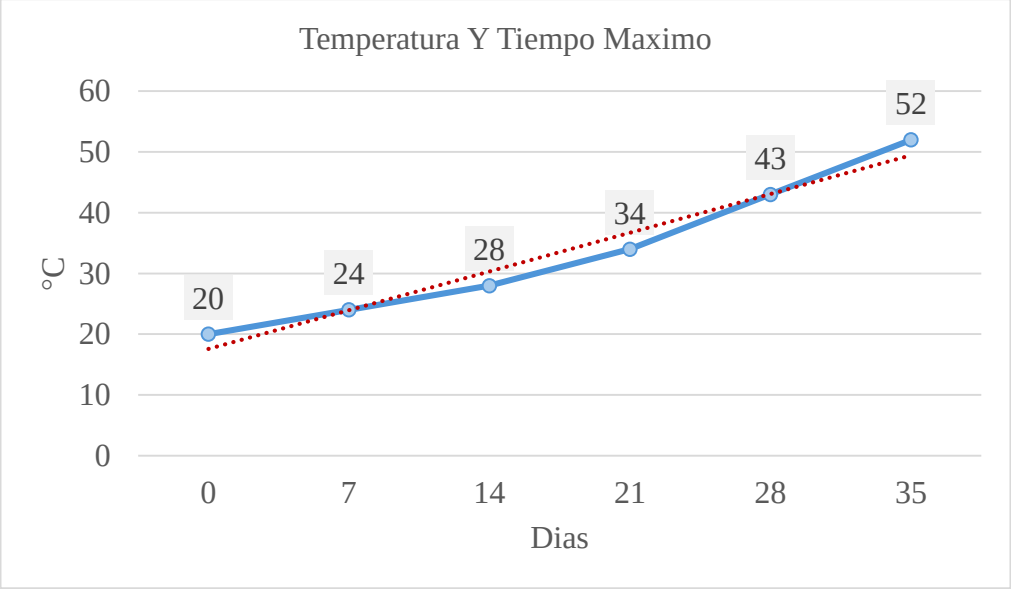
Cálculo de tiempo máximo requerido

t-Tmax=di
Como: di= 35dias
t-Tmax= 35 días

Nota. Cálculo de tiempo máximo requerido para alcanzar Tmax de autoría propia.

Figura 10

Curva de temperatura máxima y tiempo requerido



Nota. Curva de temperatura máxima y tiempo requerido de autoría propia.

Tabla 14

Tabla de temperatura registrada y determinación de Tmax

Día	Temperatura (°C)
0	20
7	24
14	28
21	34
28	43
35	52
42	42
49	31

Nota. Tabla de temperatura máxima y tiempo requerido para alcanzar Tmax de autoría propia.

$$TAT = \frac{Tmax - Tinicial}{t\text{-}Tmax}$$

$$TAT = \frac{52\ °C - 20\ °C}{35\ días}$$

$$TAT = \frac{32\ °C}{35\ días}$$

$$TAT = 0{,}91\ °C/día$$

Análisis

La temperatura máxima se logró en el día 35 (t-Tmax) dentro del intervalo que va de los 2 a los 42 días del comentario publicado para las condiciones de compostaje aerobio; la tasa de ascenso térmico alcanzó el valor medio de 0,91 °C/día, que prácticamente es igual a la calorífica general (0,914 °C/día), lo que da cuenta de la representatividad del muestreo semanal (Trasviña, 2024).

14.2.8 Determinación de la Constante de Cinética

Tabla 15

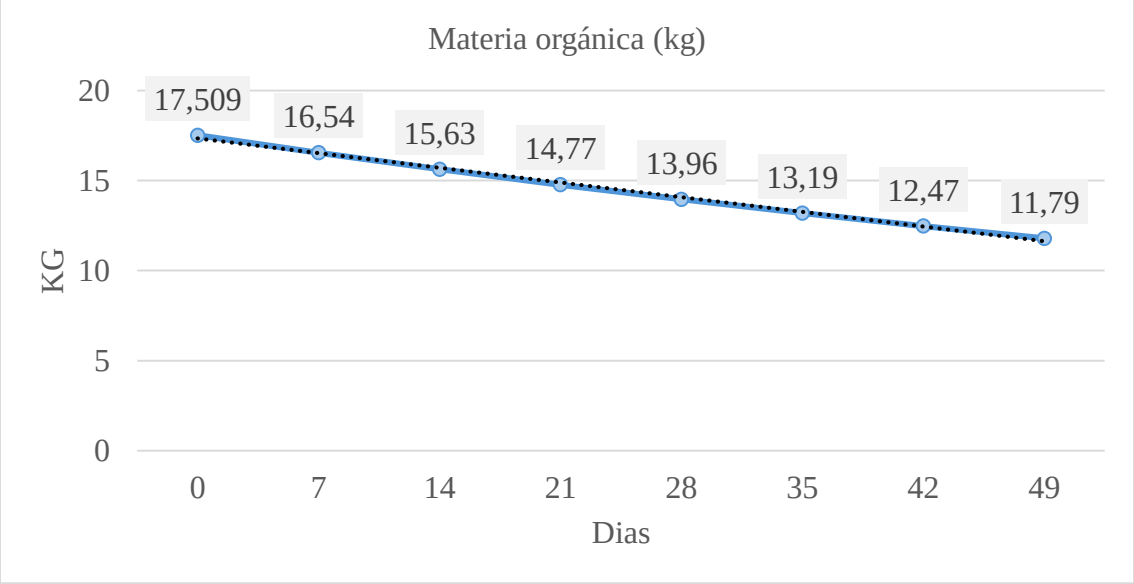
Tabla de degradación de la materia orgánica

Día	Operación	Materia orgánica (kg)
0	$17{,}509 \times e^{0}$	17,509
7	$17{,}509 \times e^{-0.056658}$	16,54
14	$17{,}509 \times e^{-0.113316}$	15,63
21	$17{,}509 \times e^{-0.169974}$	14,77
28	$17{,}509 \times e^{-0.226632}$	13,96
35	$17{,}509 \times e^{-0.283290}$	13,19
42	$17{,}509 \times e^{-0.339948}$	12,47
49	$17{,}509 \times e^{-0.396606}$	11,79

Nota. Tabla de degradación de la materia orgánica del compost de autoría propia.

Figura 11

Curva de degradación de la materia orgánica durante el proceso del compost



Nota. Tabla de degradación de la materia orgánica del compost de autoría propia.

Análisis

La constante de degradación de primer orden es k = 0,0081 día-1; se observó una reducción de la materia orgánica pasando de 17,509 kg a 11,79 kg en un plazo de 49 días

(pérdida del 32,7 %) dato que se encuentra en el rango de descomposición lenta a moderada (0,005 a 0,01 día-1) y es comparable con el rango del 30 al 60 % de pérdida de materia orgánica en compostajes similares con estiércol porcino (USDA, 2023).

14.2.9 Cinética Tipo Newton de Calentamiento

Tabla 16

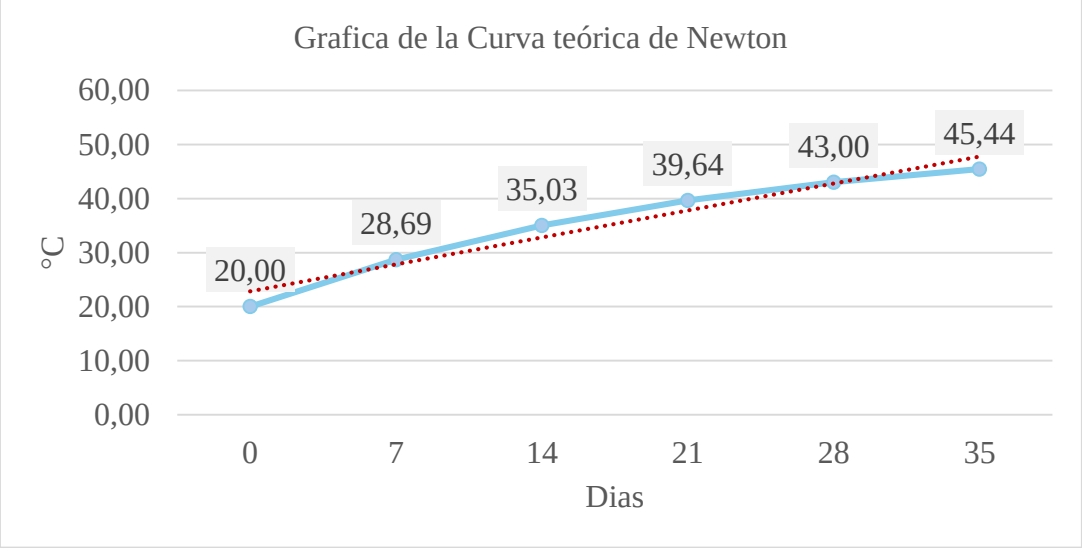
Tabla de cálculo de calentamiento de Temperatura

Tiempo (días)	Cálculo	Temperatura teórica (°C)
0	$52-32\cdot e^{0}$	20,00
7	$52-32\cdot e^{-0.3171}$	28,69
14	$52-32\cdot e^{-0.6342}$	35,03
21	$52-32\cdot e^{-0.9513}$	39,64
28	$52-32\cdot e^{-1.2684}$	43,00
35	$52-32\cdot e^{-1.5855}$	45,44

Nota. Tabla de resultados de calentamiento de autoría propia.

Figura 12

Curva de temperatura de Newton



Nota. Curva de temperatura de Newton de autoría propia.

Aplicación de logaritmo natural

Tabla 17

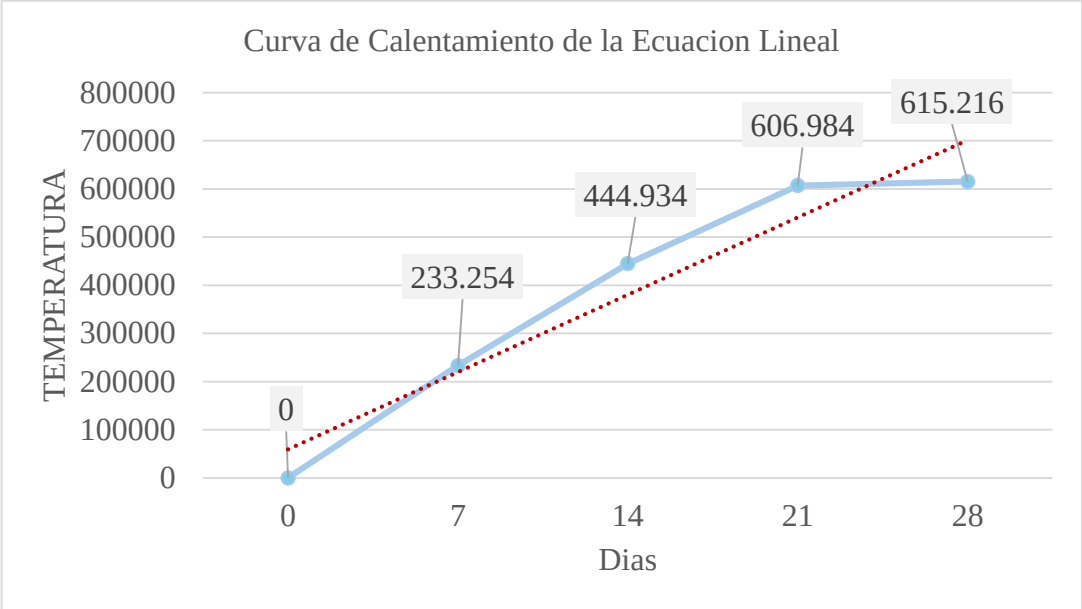
Tabla de cálculo de ecuación de regresión lineal

(x)	(y)	(x^2)	(xy)
0	34.657	0	0.0000
7	33.322	49	233.254
14	31.781	196	444.934
21	28.904	441	606.984
28	21.972	784	615.216
70	150.636	1470	1.900.388

Nota. Tabla del cálculo de K mediante la regresión lineal de autoría propia.

Figura 13

Curva de temperatura de calentamiento de la ecuación de regresión lineal



Nota. Curva de temperatura de calentamiento de la ecuación de regresión lineal de autoría propia.

Análisis

El calentamiento se modeló haciendo uso de la cinética de Newton en el rango de temperaturas entre T0 = 20 °C y Teq = 52 °C, con valor de kH = 0,0453 día^{-1} al usar como referencia para la constante de la cinética a la fecha del día 28, las temperaturas teóricas (20,00 a 45,44 °C entre los días 0 y 35) se ajustaron bien a los límites del período observado aunque se subestimó levemente la temperatura en el interior del período observado, el valor

de kH corresponde a un calentamiento un poco lento, lo que concuerda con el clima frío de Angamarca (Bertoldi, 2007).

14.2.10 Cinética Tipo Newton de Enfriamiento

Tabla 18

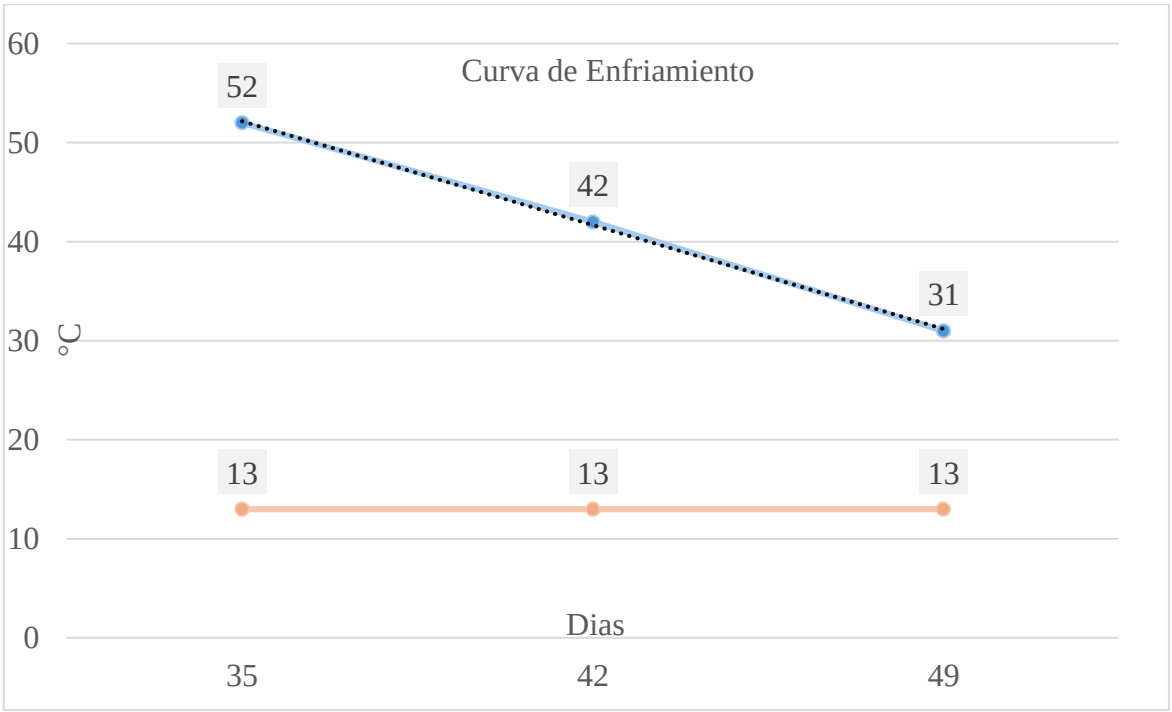
Tabla de temperatura registrada

Día	Temperatura (°C)
35	52
42	42
49	31

Tamb = 13 °C

Figura 14

Curva de disminución de temperatura de la ecuación de la constante cinética



Nota. Curva de temperatura de enfriamiento de la ecuación de la cinética de la contante de autoría propia.

Tabla 19

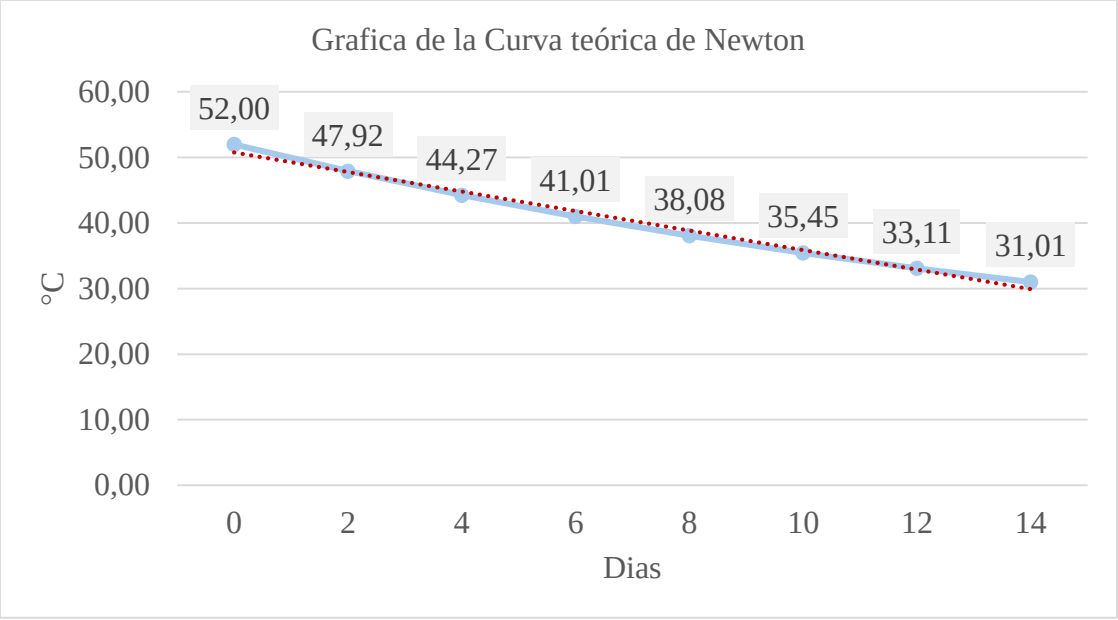
Tabla final de cálculo cinético de Newton

Tiempo (días)	Desarrollo	Temperatura (°C)
0	$13 + 39 \cdot e^{0}$	52,00
2	$13 + 39 \cdot e^{-0.1104}$	47,92
4	$13 + 39 \cdot e^{-0.2208}$	44,27
6	$13 + 39 \cdot e^{-0.3312}$	41,01
8	$13 + 39 \cdot e^{-0.4416}$	38,08
10	$13 + 39 \cdot e^{-0.5520}$	35,45
12	$13 + 39 \cdot e^{-0.6624}$	33,11
14	$13 + 39 \cdot e^{-0.7728}$	31,01

Nota. Cálculo de la cinética de Newton de Enfriamiento de autoría propia.

Figura 15

Curva de temperatura de enfriamiento de la cinética de Newton



Nota. Curva de la cinética de Newton de enfriamiento de autoría propia.

Tabla 20

Tabla final de la ecuación lineal

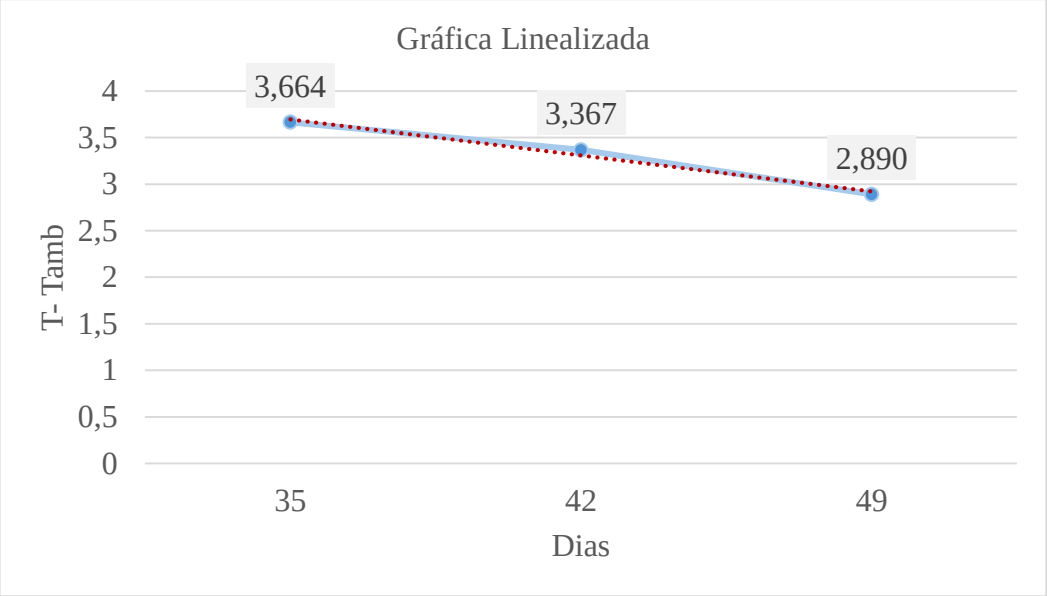
Día	Temperatura	T - Tamb	ln(T−Tamb)
35	52	39	3,664

42	42	29	3,367
49	31	18	2,890

Nota. Cálculo final de la ecuación lineal de autoría propia.

Figura 16

Curva de descenso de la temperatura del cálculo de la ecuación lineal



Nota. Curva de descenso de la temperatura del cálculo de ecuación lineal de autoría propia.

Análisis

El proceso de enfriamiento fue ajustado a la descripción que hacía Newton, con un kN = 0,0552 día⁻¹, Tamb = 13 °C y T0 = 52 °C, el modelo que siguió a partir de allí dio como resultado un valor para la temperatura final a los 49 días de 31,01 °C, que prácticamente coincide con el valor observado (31 °C) y, por tanto, se puede considerar como confirmado el hecho de que la adaptación exponencial es válida en este sentido, la constante kN fue superior a la kH = 0,0453 día⁻¹, lo que quiere decir que la pila perdió calor más rápido de lo que lo ganó (Bertoldi, 2007).

14.2.11 Cinética Tipo Newton de Calentamiento y Enfriamiento

Tabla 21

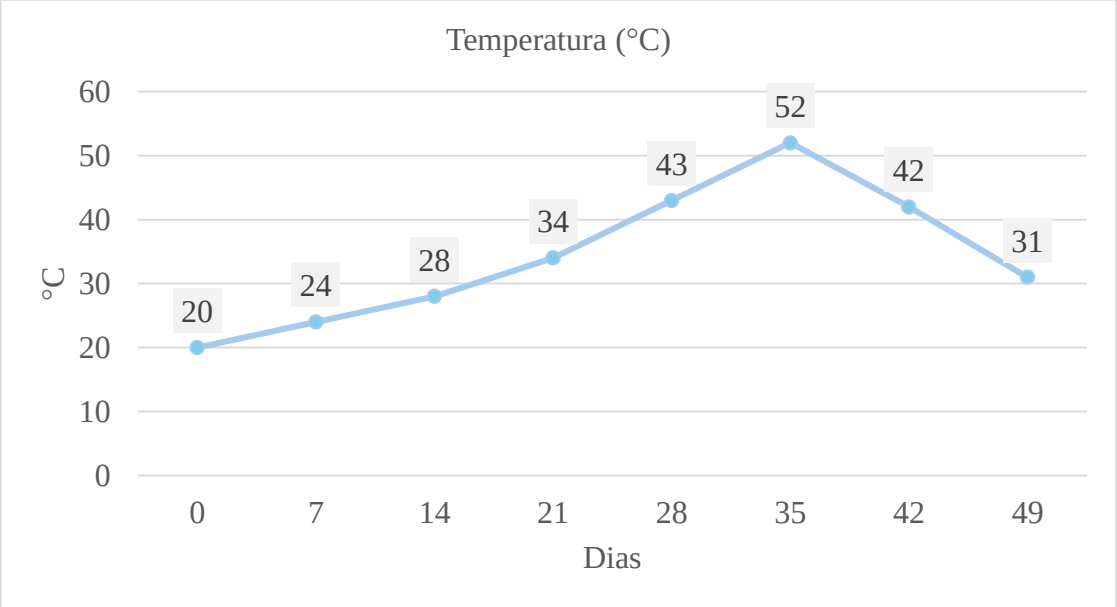
Tabla de datos registrados en la maduración del compost

Dia	Fecha	Temperatura (°C)	pH	Humedad (%)
0	28/4/2026	20	7,0	65
7	5/5/2026	24	7,5	63
14	12/5/2026	28	7,5	60
21	19/5/2026	34	7,8	58
28	26/5/2026	43	8,0	55
35	2/6/2026	52	8,5	53
42	9/6/2026	42	8	50
49	16/6/2026	31	7,5	48

Nota. Tabla de datos registrados durante la maduración del compost de autoría propia.

Figura 17

Curva de temperatura registrada durante el compost



Nota. Curva de temperatura registrada durante la maduración del compost de autoría propia.

Tabla 22

Tabla de temperatura de calentamiento de la ecuación cinética de Newton

Temperatura de Calentamiento		
Tiempo	Cálculo	Temperatura

(días)		teórica (°C)
0	$52-32\cdot e^{0}$	20,00
7	$52-32\cdot e^{-0.3171}$	28,69
14	$52-32\cdot e^{-0.6342}$	35,03
21	$52-32\cdot e^{-0.9513}$	39,64
28	$52-32\cdot e^{-1.2684}$	43,00
35	$52-32\cdot e^{-1.5855}$	45,44

Nota. Tabla de calentamiento de la ecuación cinética de autoría propia.

Tabla 23

Tabla de temperatura de enfriamiento de la ecuación cinética de Newton

Temperatura de Enfriamiento		
Tiempo (días)	Desarrollo	Temperatura (°C)
0	$13+39\cdot e^{0}$	52,00
2	$13+39\cdot e^{-0.1104}$	47,92
4	$13+39\cdot e^{-0.2208}$	44,27
6	$13+39\cdot e^{-0.3312}$	41,01
8	$13+39\cdot e^{-0.4416}$	38,08
10	$13+39\cdot e^{-0.5520}$	35,45
12	$13+39\cdot e^{-0.6624}$	33,11
14	$13+39\cdot e^{-0.7728}$	31,01

Nota. Tabla de enfriamiento de la ecuación cinética de autoría propia.

Tabla 24

Tabla de temperatura de calentamiento y enfriamiento de la ecuación cinética de Newton

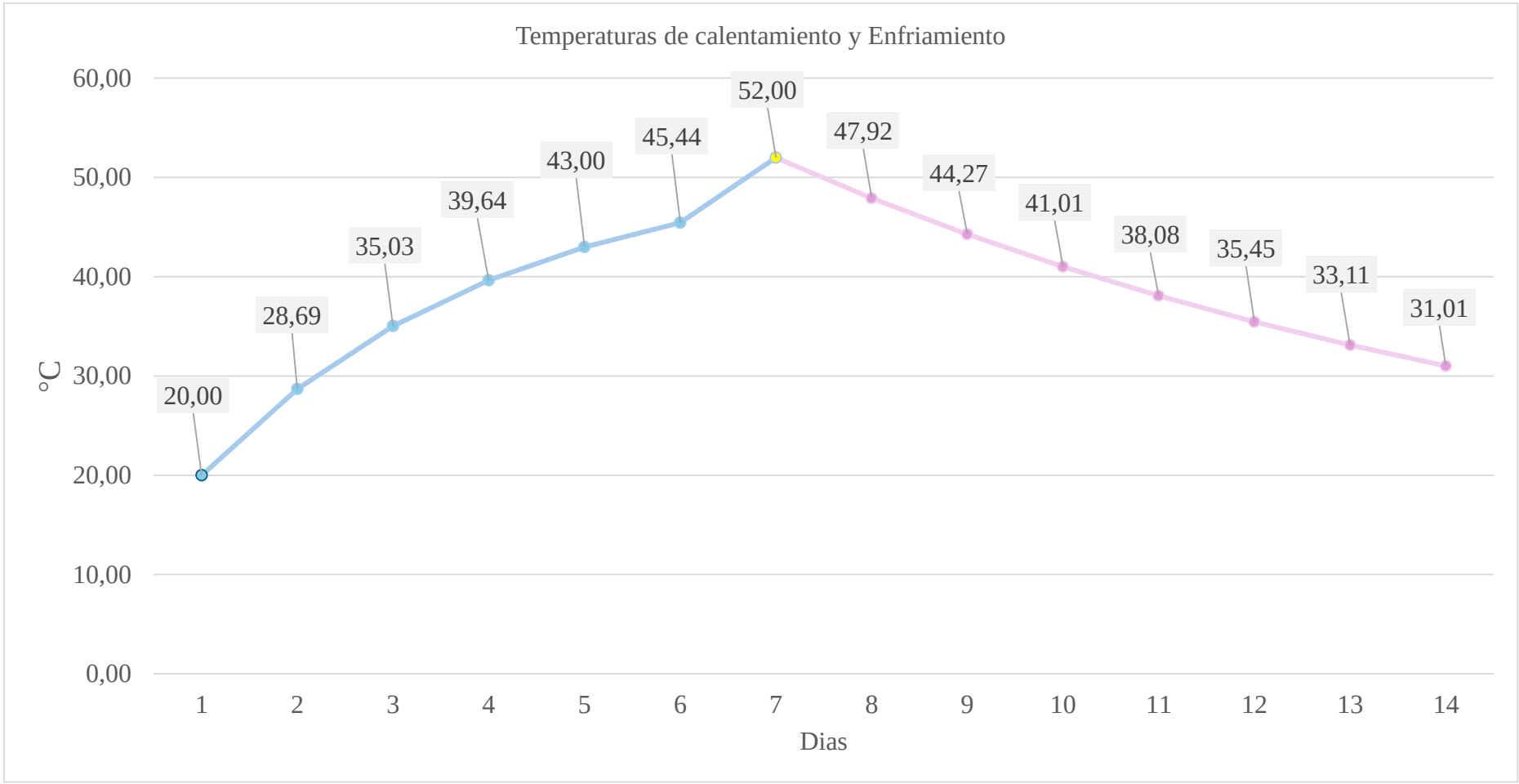
Temperaturas de calentamiento y Enfriamiento		
N °	Cálculo	Temperatura teórica (°C)
0	$52-32\cdot e^{0}$	20,00
1	$52-32\cdot e^{-0.3171}$	28,69
2	$52-32\cdot e^{-0.6342}$	35,03

3	$52-32\cdot e^{-0.9513}$	39,64
4	$52-32\cdot e^{-1.2684}$	43,00
5	$52-32\cdot e^{-1.5855}$	45,44
6	$13+39\cdot e^{0}$	52,00
7	$13+39\cdot e^{-0.1104}$	47,92
8	$13+39\cdot e^{-0.2208}$	44,27
9	$13+39\cdot e^{-0.3312}$	41,01
10	$13+39\cdot e^{-0.4416}$	38,08
11	$13+39\cdot e^{-0.5520}$	35,45
12	$13+39\cdot e^{-0.6624}$	33,11
13	$13+39\cdot e^{-0.7728}$	31,01

Nota. Tabla de calentamiento y enfriamiento de la ecuación cinética de autoría propia.

Figura 18

Curva de temperatura de calentamiento y enfriamiento mediante la ecuación cinética de Newton



Nota. Curva de temperatura de calentamiento y enfriamiento mediante la ecuación cinética de Newton de autoría propia.

Análisis

La integración de los segmentos de calentamiento y enfriamiento tipo Newton reprodujo de forma aceptable la curva térmica completa del proceso, desde 20 hasta 52 °C y de 52 hasta 31,01 °C, el modelo sobrestimó levemente la temperatura en los días 35 y 42 (predijo 45,44 °C frente a los 52 y 42 °C observados), diferencia atribuible a que el modelo no captura los picos de origen metabólico propios de la fase termófila (Bertoldi, 2007).

14.2.12 Energía Acumulada en el Compostaje

Tabla 25

Tabla de energía acumulada determinada por la educación cinética

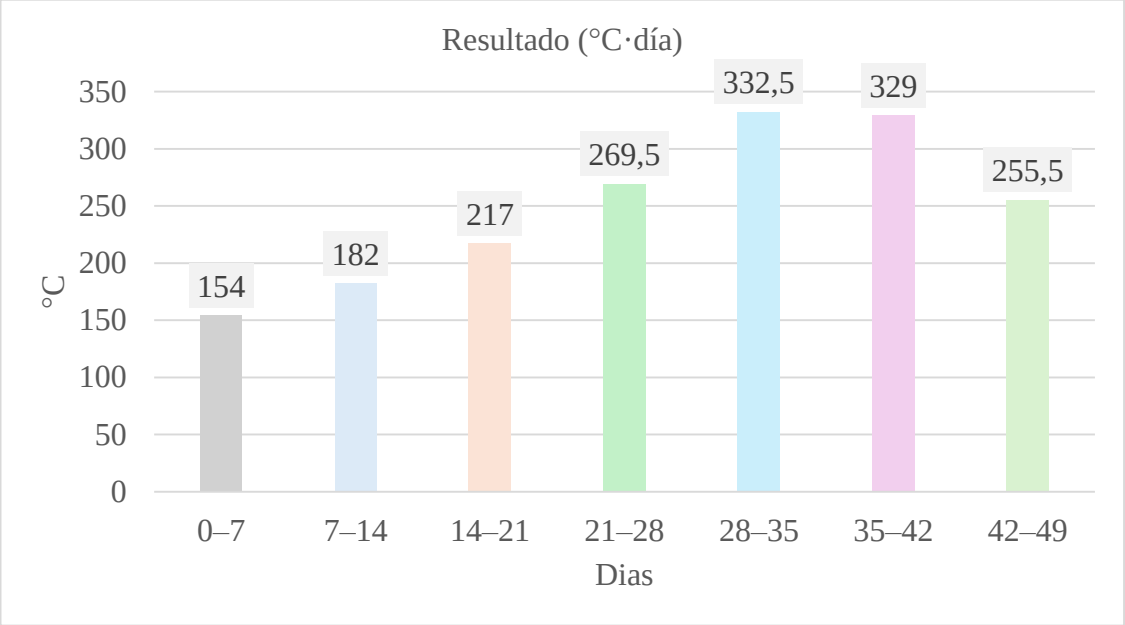
Intervalo	Cálculo	Resultado (°C · día)
0–7	((20+24) /2) ×7	154
7–14	((24+28) /2) ×7	182
14–21	((28+34) /2) ×7	217
21–28	((34+43) /2) ×7	269,5
28–35	((43+52) /2) ×7	332,5
35–42	((52+42) /2) ×7	329
42–49	((42+31) /2) ×7	255,5
Total		1739,5

TOTAL= 1739,5 °C/día

Nota. Tabla de energía determinada por intervalo de día de autoría propia.

Figura 19

Energía determinada por cada fase del compost en el intervalo de días



Nota. Energía determinada por cada fase del compost en el intervalo de días de autoría propia.

Análisis

En la siempre valorada acumulación de energía (conforme a la regla trapezoidal) se obtuvieron valores de 1.739,5 °C·día, siendo los aportes máximos entre los días 21 y 35, que fueron de 269,5 y 332,5 °C·día (es el 34,6 % del total). Este registro se encuentra dentro del intervalo relacionado con una estabilización correcta y una desinfección parcial de los residuos orgánicos en el contexto de épocas frías (Castro, 2023).

15. Resultados Obtenidos del análisis Físico-Químico.

Tabla 26

Tabla de resultados del análisis físico-químico

RESULTADOS						
Parámetros	**Resultados**	**Unidad**	**Técnica Analítica**	**Norma / Rango de referencia**	**Cumplimiento**	**Clasificación**
pH	7,92	------	Potencio métrico	6,5 – 8,5 (NCH 2880, clase A)	Cumple	Clase A
CE	7,76	ms/cm	Potencio métrico	≤ 3,0 (clase A) / 3,1–10,0 (clase	Cumple clase B	Clase B

				B) NCH 2880		
N	1,02	%	Kjeldahl	≥ 0,5 % mínimo normativo (NCH 2880)	Cumple	Clase A
P	0,140	%	Colorimétrico	0,1 – 1,0 % (rango FAO, 2013)	Cumple	Dentro del Rango
K	1,21	%	A. Atómica	≤ 1,0 % (referencia técnica general)	Excede levemente	Por encima del límite de referencia
M.O.	33	%	Walkey y Black	≥ 20 % mínimo (clase A, NCH 2880)	Cumple	Clase A
RELACION C: N	17		calculo	≤ 20 (indicador de madurez)	Cumple	Compost maduro

Nota. Tabla de resultados del análisis Físico-químico de autoría propia.

Análisis

La muestra de compost analizada, a la que nos referiremos como "compost", alcanzó los 7.92 de pH (siendo el rango 6.5-8.5 el que indica la NCH 2880), los 7.76 mS/cm (rango mínimo exigido, ya que clasifica el compost como compost grado B por su contenido en sales) y contenía N = 1.02 %, P = 0.140 % y K = 1.21 %, superando todos los mínimos que establecía la correspondiente normativa en las tres etapas de estudio, los porcentajes encontrados en la materia orgánica (MO = 33 %) y la relación C/N (C/N = 17) reflejan que se trataba de un compost estable y maduro en paralelo a lo que se había expuesto en estudios sobre los abonos orgánicos generados a partir de estiércol porcino en Perú (MO = 30.83 % y C/N = 16.1) (Crisolo, 2023).

16. Resultados Obtenidos del análisis Microbiológico.

Tabla 27

Tabla de resultados del análisis Microbiológico

RESULTADOS					
Parámetros	**Resultados**	**Unidad**	**Técnica Analítica**	**Rango o límite de referencia**	**Cumplimiento**
Ecoli.	NEGATIVOS	ufc/g	Recuento total Petri para E. Coli	Ausencia o < 1000 UFC/g (Reglamento UE 2019/1009)	Si Cumple
Coliformes Fecales	3,4 X 10^4	ufc/g	Recuento total Petri para Coliformes fecalesF	< 1000 NMP o UFC/g (US EPA 40 CFR Part 503, Clase A)	No Cumple
Staphylococcus aureus	0	CS en 25 g	Recuento de Staphylococcus aureus Placas Petri	No existe un límite específico para compost; se espera ausencia	Si Cumple

Nota. Tabla de resultados del análisis Microbiológico de autoría propia.

Análisis

No se logró evidenciar la presencia de E. Coli ni Staphylococcus aureus, lo cual demuestra que la fase termófila (Tmax = 52 °C durante 10,34 días) se hizo efectiva para eliminar a dichos patógenos, no obstante, los coliformes fecales (3,4 × 10^4 UFC/g) superaron los umbrales de la clase A (1.000 NMP/g) y de la clase B (5.000 NMP/g) de la NCH 2880, condición que sugiere que el tiempo de maduración fue escaso para inactivar la carga microbiológica, en correspondencia a las temperaturas bajas de Angamarca (Román et al., 2023).

17. Resultado del análisis estadístico.

17.1 Estadística descriptiva

Tabla 28

Tabla resumen de los cálculos de estadística descriptiva

Variable	Media	Mediana	DE	Mínimo	Máximo	Varianza	Rango	CV%
Temperatura(°C)	34,25	32,5	10,75	20	52	115,64	32	31,39%
PH	7,72	7,65	0,45	7	8,5	0,21	1,5	5,86%
Humedad (%)	56,5	56,5	6,07	48	65	36,86	17	10,75%

Nota. Tabla resumen de los cálculos de estadística descriptiva de autoría propia.

Análisis

La temperatura también fue la variable que presentó mayor dispersión respecto a la media (media = 34,25 °C; DE = 10,75; CV = 31,39 %), la temperatura refleja sin duda un enorme rango de la temperatura experimentada durante el proceso (20-52 °C, apreciándose también la alta DE); el pH por el contrario es la variable cuyo comportamiento presenta menor rango alcalino (media = 7,72; CV = 5,86 %), y el comportamiento del pH es muy constante dentro del rango alcalino que define el compostaje, la humedad fue decreciendo continuamente (-20,8 con una media de -56,5 %; CV = 10,75 %), como era de esperar ante la pérdida de humedad durante el proceso de maduración.

18. Correlación de los parámetros de temperatura, PH, Humedad.

18.1 Prueba de normalidad de los parámetros de temperatura, pH, humedad (Shapiro-Wilks)

Tabla 29

Tabla de resultados de la prueba de normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Temperatura	8	34,25	10,75	0,95	0,8047
PH	8	7,73	0,45	0,96	0,8596
Humedad	7	57,71	5,41	0,96	0,8227

Nota. Tabla resultados de la prueba de normalidad de autoría propia.

Análisis

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que las tres variables cumplen una distribución normal, con p muy superiores a 0,05 (temperatura: p = 0,8047; pH: p = 0,8596; humedad: p = 0,8227), de esta manera, se habilitaron las pruebas paramétricas -la correlación de Pearson y la regresión lineal- en los análisis que se llevan a cabo posteriormente.

18.2 Correlación entre de los parámetros de temperatura, pH, humedad

Tabla 30

Tabla de resultados de la correlación de los parámetros temperatura, pH, humedad

Correlación de Pearson: Coeficientes/Probabilidad

	Temperatura	PH	Humedad
Temperatura	1,00	6, 8E-05	4, 7E-03
PH	0,97	1,00	0,01
Humedad	-0,91	-0,87	1,00

Nota. Tabla resultados de la correlación de los parámetros de autoría propia.

Análisis

Detectó el investigador que existía una correlación positiva muy fuerte entre pH y temperatura (r = 0.97; p < 0,001); coincidieron correlaciones negativas fuertes entre temperatura y humedad (r = -0,91; p < 0,01) y entre pH y humedad (r = -0,87; p = 0,01), es decir, que se estaban intensificando tanto la temperatura como el pH en la medida que la humedad va declinando, correlación que puede ser considerada característica de la fase termófila y de maduración.

18.3 Regresión lineal de Temperatura, pH

Tabla 31

Tabla de regresión lineal de los parámetros temperatura, pH

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R=	R= Aj	ECMP	AIC	BIC
PH	8	0,94	0,93	0,03	-7,59	-7,35

Coeficiente de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
Const	6,33	0,15	5,96	6,69	42,21	<0,0001		
Temperatura	0,04	4, 2E-03	0,03	0,05	9,72	0,0001	94,53	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,35	1	1,35	94,53	0,0001
Temperatura	1,35	1	1,35	94,53	0,0001
Error	0,09	6	0,01		
Total	1,44	7			

Nota. Tabla de resultados de la regresión lineal de temperatura, pH de autoría propia.

Análisis

El modelo explicó el 93 % de la variabilidad del pH en función de la temperatura, con un R^2 ajustado de 0,93, un estadístico F de 94,53 y un valor de p correspondiente a 0,0001, con cada incremento de un grado que experimentó la temperatura, el pH aumentó de media 0,04 unidades, lo que confirma, desde el análisis de regresión, la asociación previamente revelada en el análisis de correlación.

18.4 Regresión lineal de Temperatura, Humedad

Tabla 32

Tabla de regresión lineal de los parámetros temperatura, humedad

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R=	R= Aj	ECMP	AIC	BIC
Humedad	7	0,82	0,79	13,96	32,24	36,08

Coeficiente de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF

Const	72,5	3,19	64,29	80,71	22,7	<0,0001		
Temperatura	-0,43	0,09	-0,65	-0,20	-4,84	0,0047	23,45	1,0 0

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	144,6	1	144,60	23,45	0,0047
Temperatura	144,6	1	144,60	23,45	0,0047
Error	30,83	5	6,17		
Total	175,43	6			

Nota. Tabla de resultados de la regresión lineal de temperatura, humedad de autoría propia.

Análisis

El 79 % de la variación de la humedad fue explicada por la temperatura (R^2 ajustado = 0,79; F = 23,45; p = 0,0047); se observó que la humedad disminuyó una media de 0,43 puntos porcentuales por cada grado más de temperatura, constata la relación inversa anteriormente hallada.

18.5 Regresión lineal de Humedad, PH

Tabla 33

Tabla de regresión lineal de los parámetros humedad, pH

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R=	R= Aj	ECMP	AIC	BIC
Humedad	7	0,75	0,70	17,42	38,63	38,47

Coeficiente de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
Const	133,68	19,50	83,55	183,80	6,86	<0,0010		
Temperatura	-9,79	2,51	-16,24	-3,34	-3,90	0,0114	15,22	1,0 1

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	132,06	1	132,06	15,22	0,0114
Temperatura	132,06	1	132,06	15,22	0,0114
Error	43,37	5	8,67		
Total	175,43	6			

Nota. Tabla de resultados de la regresión lineal de humedad, pH de autoría propia.

Análisis

El nivel de humedad y el pH se relacionaron de forma significativa tal como se determinó resulta $R^2 = 0,70$; $F = 15,22$; $p = 0,0114$) dado que a cada unidad de incremento del pH la humedad del sustrato decreció 9,79 puntos porcentuales lo cual se consideró en base a la relación que se dio entre el comportamiento químico del sustrato y su humedad.

19. Correlación de parámetros de dieta suministrada y excretas recolectadas.

19.1 Prueba de normalidad de los parámetros dieta suministrada y excretas recolectadas (Shapiro-Wilks)

Tabla 34

Tabla de resultados de la prueba de normalidad de los parámetros dieta suministrada y excretas recolectadas

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Dieta	15	12,51	0,25	0,89	0,1318
Excretas	15	3,4	0,29	0,91	0,2557

Nota. Tabla de resultados de la prueba de normalidad de autoría propia.

Análisis

La prueba de Shapiro-Wilk apuntó que el propio consumo de dieta ($p = 0,1318$) al igual que la ingesta de excretas ($p = 0,2557$) obedecen la normalidad, dando como resultado un dato que actuó a favor para usar la correlación de Pearson y evaluar la relación que existe entre ambas.

19.2 Correlación entre de los parámetros dieta suministrada y excretas recalentadas

Tabla 35

Tabla de correlación entre los parámetros dieta suministradas y excretas recolectadas

Correlación de Pearson: Coeficientes/probabilidad

	Dieta	Excretas
Dieta	1,00	0,33
Excretas	-0,27	1,00

Nota. Tabla de resultados de la correlación de los parámetros dieta suministrada y excretas recolectadas de autoría propia.

Análisis

La relación existente entre la cantidad de alimentación proporcionada a los seres vivos y la cantidad de excretas que se generan en esos mismos seres vivos de acuerdo a lo recogido por los resultados tenía poca intensidad y no resulta significativa (con un r alrededor de 0,3 en valor absoluto) sin que pueda apreciarse un patrón lineal evidente entre esas dos variables. Cabe recordar la Tabla 89: los coeficientes se recogen de forma no simétrica (0,33 en sentido directo y -0,27 en sentido inverso), hecho que puede corresponder a una posible anomalía de cálculo o a una posible anomalía de transcripción dado que la correspondiente matriz de correlación de Pearson ha de ser siempre simétrica.

Tabla 36

Tabla resumen de resultados de cálculos cinéticos, Fisicoquímicos, Microbiológicos y correlación

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE CÁLCULOS CINÉTICOS Y FISICOQUÍMICOS

Categoría	Parámetro	Resultado Obtenido	Unidad	Referencia / Norma

Dieta Tradicional	Proporción puré — Papa / Cebada	**70% / 30%**	%	*Caizaluisa, 2026*
	Proporción dieta — Puré / Suero / Alfalfa	**35% / 60% / 5%**	%	*Caizaluisa, 2026*
	Suministro total diario (4 animales)	**14,00**	kg/día	*Caizaluisa, 2026*
	Ración por animal	**3,50**	kg/animal/día	*Caizaluisa, 2026*
Monitoreo Del Proceso	Temperatura inicial (día 0)	**20**	°C	*Caizaluisa, 2026*
	Temperatura máxima (Tmax) — día 35	**52**	°C	*Óptimo: 55–65 °C (FAO, 2013)*
	Temperatura final — día 49	**31**	°C	*Caizaluisa, 2026*
	pH inicial (día 0)	**7,0**	—	*Rango óptimo: 6,5–8,5*
	pH máximo (día 35)	**8,5**	—	*NCH 2880*
	pH final (día 49)	**7,5**	—	*NCH 2880*
	Humedad inicial (día 0)	**65**	%	*Rango óptimo: 50–60 %*
	Humedad final (día 49)	**48**	%	*Rango óptimo: 50–60 %*
Velocidad De	Velocidad global (Vc)	**0,914**	°C/día	*Caizaluisa, 2026*
	Velocidad mínima — días 0–14	**0,57**	°C/día	*Fase mesófila (AIMPLAS,*

Calentamiento				*2023)*
	Velocidad máxima — días 21–35	**1,29**	°C/día	*Fase termófila (AIMPLAS, 2023)*
Velocidad De Enfriamiento	Velocidad — días 35–42	**-1,43**	°C/día	*Caizaluisa, 2026*
	Velocidad máxima — días 42–49	**-1,57**	°C/día	*Caizaluisa, 2026*
Tiempo para Alcanzar Tmax	t-Tmax	**35**	días	*Rango literatura: 2–42 días Consistente con Vc global*
	Tasa de ascenso térmico (TAT)	**0,914**	°C/día	
Tiempo De Permanencia Termófila	TPT45 (T >= 45 °C)	**10,34**	días	*Mínimo USDA-AMS: 3 días USDA-AMS, s.f.*
	Intervalo termófilo	**Día 29,56 – 39,90**	días	
Área Bajo La Curva (AUC)	AUC total	**1.739,5**	°C·día	*Rango efectivo: 1.000–2.000 Caizaluisa, 2026*
	AUC fase mesófila (días 0–14)	**336,0**	°C·día	*Caizaluisa, 2026*
	AUC fase termófila (días 14–35)	**819,0**	°C·día	*Caizaluisa, 2026*
	AUC fase enfriamiento (días	**584,5**	°C·día	*Caizaluisa, 2026*

	35–49)			
	AUC máximo (días 21–35) — % del total	**602,0 (34,6%)**	°C·día	*Caizaluisa, 2026*
Cinética Newton — Calentamiento	Constante kH (referencia día 28)	**0,0453**	día-1	*Moderado: 0,03–0,08 (Morales et al., 2025)*
	Constante K (regresión lineal)	**0,4255**	día-1	*Morales et al., 2025*
	Temperatura de equilibrio (Teq)	**52**	°C	*Tmax observada*
Cinética Newton — Enfriamiento	Constante kN	**0,0552**	día-1	*Moderado: 0,03–0,06 (Svirin et al., 2022)*
	T inicial enfriamiento (día 35)	**52**	°C	*Caizaluisa, 2026*
	T teórica final día 49 — verificación	**31,01**	°C	*Real observado: 31 °C*
Cinética De Primer Orden	Constante k de degradación MO	**0,0081**	día-1	*Rango aerobio: 0,01–0,02 (Petric et al., 2012)*
	Materia orgánica inicial (día 0)	**17,509**	kg	*Caizaluisa, 2026*
	Materia orgánica final (día 49)	**11,79**	kg	*Caizaluisa, 2026*
	Pérdida total de MO	**5,719**	kg	*Caizaluisa,*

	Pérdida porcentual de MO	**32,7**	%	*2026 Rango literatura: 30–60 % (Fermentation, 2026)*
Fisicoquímica Del Compost	pH	**7,92**	—	*NCH 2880 clase A: 6,5–8,5*
	Conductividad Eléctrica (CE)	**7,76**	ms/cm	*NCH 2880 — Clase B Mínimo normativo: 0,5 %*
	Nitrógeno Total (N)	**1,02**	%	*Rango FAO: 0,1–1,0 %*
	Fósforo Asimilable (P)	**0,140**	%	*Referencia: <= 1,0 %*
	Potasio Intercambiable (K)	**1,21**	%	*Mínimo clase A: 20 %*
	Materia Orgánica (MO)	**33**	%	*Madurez: C/N <= 20*
	Relación C/N	**17**	—	
Análisis Microbiológico	E. coli	**NEGATIVO**	UFC/g	*Ausencia requerida (TotalChem Lab, 2026)*
	Coliformes fecales	**3,4 x 10(4)**	UFC/g	*NCH 2880 clase A: <= 1.000 NMP/g*

	Staphylococcus aureus	**0**	CS en 25 g	*Ausencia (TotalChem Lab, 2026)*
Estadística Descriptiva	Temperatura — Media	**34,25**	°C	Caizaluisa, 2026
	Temperatura — Desviación Estándar	**10,75**	°C	Caizaluisa, 2026
	Temperatura — Coef. de Variación	**31,39**	%	Caizaluisa, 2026
	pH — Media	**7,72**	—	Caizaluisa, 2026
	pH — Desviación Estándar	**0,45**	—	Caizaluisa, 2026
	pH — Coef. de Variación	**5,86**	%	Caizaluisa, 2026
	Humedad — Media	**56,5**	%	Caizaluisa, 2026
	Humedad — Desviación Estándar	**6,07**	%	Caizaluisa, 2026
	Humedad — Coef. de Variación	**10,75**	%	Caizaluisa, 2026
Prueba De Normalidad (Shapiro-Wilk)	Temperatura — W / p	**0,95 / 0,8047**	—	Normal (p > 0,05)
	pH — W / p	**0,96 / 0,8596**	—	Normal (p > 0,05)
	Humedad — W / p	**0,96 / 0,8227**	—	Normal (p > 0,05)
	Dieta suministrada — W / p	**0,89 / 0,1318**	—	Normal (p > 0,05)
	Excretas — W / p	**0,91 / 0,2557**	—	Normal (p > 0,05)

Correlación De Pearson	Temperatura — pH	**r = 0,97**	—	p < 0,001; correlación positiva muy fuerte
	Temperatura — Humedad	**r = -0,91**	—	p < 0,01; correlación negativa fuerte
	pH — Humedad	**r = -0,87**	—	p = 0,01; correlación negativa fuerte
	Dieta — Excretas	**r ≈ 0,33 / -0,27**	—	No significativa; matriz asimétrica (revisar Tabla 89)
Regresión Lineal	pH = f(Temperatura) — R^2 aj.	**0,93**	—	F = 94,53; p = 0,0001
	pH = f(Temperatura) — coeficiente	**0,04**	pH/°C	IC95%: 0,03–0,05
	Humedad = f(Temperatura) — R^2 aj.	**0,79**	—	F = 23,45; p = 0,0047
	Humedad = f(Temperatura) — coeficiente	**-0,43**	%/°C	IC95%: -0,65 a -0,20
	Humedad = f(pH) — R^2 aj.	**0,7**	—	F = 15,22; p = 0,0114
	Humedad = f(pH) —	**-9,79**	%/unidad pH	IC95%: -

coeficiente	16,24 a -3,34

Nota. Tabla resumen de los cálculos cinéticos y análisis físico-químicos y microbiológicos.

Discusión General

El proceso de compostaje aerobio del estiércol de cerdo criollo bajo la ingesta de ganados tradicionales, alcanzó una temperatura máxima de 52 °C en el día 35, además, tuvo un tiempo de permanencia termófila (TPT_{45}) de 10,34 días y un área bajo la curva térmica (AUC) de 1.739,5 °C·día, todavía por debajo de unas condiciones óptimas para alcanzar el rango óptimo de temperaturas termófilas (55-65 °C) que se considera óptimo para conseguir una higienización completa según(Rivero & Thomas, 2024) aun cuando los resultados confirmen que el compostaje cumplió satisfactoriamente con unas condiciones termófilas ideales para estabilizar el sustrato.

En la misma línea comparativa, pero con trabajos que se han realizado en Ecuador, (Castro, 2023) halló bajo la condición de compostaje de estiércol vacuno y estiércol porcino los valores de pH de 7,0, de relación C/N de 14,0 y unos contenidos de N, P y K con valores que fueron superiores a un 1,4 %, 0,31 % y a un 2,07 %, respectivamente, si los comparamos con los valores que se obtuvieron en este trabajo, lo cual hace pensar que en el compost de Angamarca hay menos concentración de nutrientes. En el cantón La Maná (provincia de Cotopaxi, Ecuador) se alcanzaron temperaturas máximas de 37,45 a 38,95 °C en la condición de compostaje con residuos vegetales y estiércol vacuno, notablemente inferiores a la temperatura máxima de 52 °C de este trabajo, lo cual respalda la afirmación de que la dieta rica en suero de leche empleada en Angamarca favoreció una mayor actividad microbiana termofílica que la que podrían explicar solo los aspectos climáticos.

Las temperaturas ambientales frías de Angamarca (10-15 °C) hicieron el papel de sumidero de calor y también redujeron la fase termófila hasta el intervalo más corto del descrito para climas templados, donde la fase termófila podría durar semanas bajo un rango de temperaturas de 55-65 °C (Trasviña, 2024). Este comportamiento se encamina a lo descrito en el contexto de compostajes llevados a cabo en las tierras altoandinas, donde la pérdida de calor a una temperatura fría limita la duración y la intensidad del pico térmico.

En lo que se refería a la calidad del compost que se logró obtener, los parámetros fisicoquímicos que fueron alcanzados (pH = 7,92; CE = 7,76 mS/cm; N = 1,02 %; P = 0,140 %; K = 1,21 %; MO=33 %; C/N = 17) fueron también similares a los descritos por (Crisolo, 2023) para el compost de estiércol de cerdo del Perú, donde se encontró N = 1,27 %; C/N = 16,1; pH = 6,91; MO=30,83%), lo que nos permite suponer que ambos compost, a pesar de la diferencia de condiciones climáticas y de prácticas de manejo en ambos estudios, tenían un grado de estabilización similar; así mismo, la pérdida de materia orgánica determinada (32,7 %; k = 0,0081 día^{-1}) se encuentra también en el rango de 30 a 60% reportado por (Petric et al., 2023) y (Zhou et al., 2026) para el compostaje de estiércol porcino con material estructurante.

Desde el punto de vista microbiológico, el recuento de coliformes fecales (3,4 × 10^4 UFC/g) se encontró fuera de los límites permitidos por la norma chilena NCH 2880, para clases A y B. A diferencia de los procesos donde la fase termófila se alarga de forma tal que el recuento disminuye a los niveles de clase A, el tiempo de maduración del presente trabajo no fue suficiente, en las condiciones frías de los procesos que se desarrollaron en Angamarca, constituyendo esta la limitación más importante del proceso frente a los resultados encontrados en la literatura consultada.

Se ha llegado a la conclusión, en base a lo anterior, de que el compostaje aeróbico de estiércol de cerdo bajo dieta tradicional es viable a escala técnica en la región andina

ecuatoriana y produce un compost de calidad fisicoquímica similar al reportado en la propia y en otros estudios de compost de la región latinoamericana, aunque las condiciones de altura requieren alterar el manejo del proceso, es decir, volúmenes de pilas más grandes o tiempos de maduración más elevados para alcanzar las condiciones microbiológicas que justifiquen el compost de clase A.

18. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

Se realizaron estudios en cuanto a parámetros cinéticos como tasa de calentamiento, TPT_{45}, AUC y Newton type models utilizando herramientas matemáticas que podrán ser utilizadas para la predicción y monitoreo del compostaje aerobio bajo condiciones en andinas y que podrán ser aplicadas para el desarrollo de proyectos en manejo de residuos orgánicos en sistemas familiares de la región, aportando así a una perspectiva metodológica en esta área. (De Anda, 2023)

Los resultados proporcionan a los pequeños productores de Angamarca una alternativa técnica accesible y de bajo costo para gestionar el estiércol porcino, mejorando la fertilidad del suelo, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y fomentando la sostenibilidad de las pequeñas unidades rurales de la región andina ecuatoriana (Castro-Hernández et al., 2023).

El tratamiento del estiércol de cerdo en compost maduro disminuyó el riesgo de contaminación de suelo, agua y aire en Angamarca; la eliminación de E. coli y Staphylococcus aureus y el estabilizamiento de la MO con C/N = 17 evidenciaron la disminución de la carga patógena y el aumento de la calidad agronómica del producto (Castro-Hernández et al., 2023; Román et al., 2023).

El compostaje aerobio convirtió el estiércol porcino en un fertilizante orgánico local con N = 1,02%, P = 0,140%, K = 1,21% y MO = 33%, reduciendo costos de producción

agrícola y generando valor agregado a los residuos del sistema productivo, fortaleciendo la economía local y la soberanía alimentaria de las comunidades andinas de Cotopaxi (Castro-Hernández et al., 2023; Realpe & Landin, 2026).

19. CONCLUSIONES

- El compostaje del estiércol de cerdo criollo llegó a la fase termófila (Tmax = 52 °C, día 35) con una velocidad de calentamiento de 0,914 °C/día, un tiempo de permanencia termófila de 10,34 días y un área bajo la curva de 1.739,5 °C·día, este valor fue mayor que el mínimo de 3 días sugerido por el USDA-AMS para la higienización, aunque las bajas temperaturas ambientales de la localidad de Angamarca (10-15 °C) no permitieron alcanzar el rango óptimo de 55-65 °C.

- El compostaje que se obtuvo está clasificado como tipo B por la NCH 2880, obteniendo a la vez las siguientes propiedades físicas y químicas (pH = 7,92; CE = 7,76 mS/cm; N = 1,02 %; P = 0,140 %; K = 1,21 %; MO = 33 %; C/N = 17) además, no se detectó la presencia de E. coli ni de Staphylococus aureus en el material compostado como tampoco la de Salmonella spp, aunque se obtuvieron coliformes fecales ($3,4 \times 10^4$ UFC/g) muy por encima de lo permitido, por lo que no puede considerarse compost de tipo A.

- La relación entre el tipo de dieta ofrecida (14 kg/día; puré 35 %, suero 60 %, alfalfa 5 %) y la producción de excretas fue baja y sólo bastante relevante ($r \approx 0,3$), no se observó una línea clara entre ambas variables, por lo que no se puede decir que existe una relación cuantitativa entre el tipo de alimentación y la producción de excretas en las condiciones en que fueron evaluadas.

20. RECOMENDACIONES

- Incrementar el volumen de la pila a un mínimo de 2-3 m^3, incorporar los inoculantes de microorganismos eficaces y cubrir la pila por la noche con un aislante térmico, para conseguir temperaturas superiores a 55 °C y aumentar el TPT_{45} en climas fríos como el de Angamarca.

- Prolongar en extensión el proceso de compostaje a 60-90 días, recirculando semanalmente el sustrato, realizando un segundo análisis microbiológico al final de la maduración que verifique la eliminación de coliformes fecales, con el fin de llegar a la clasificación de compost tipo A según la NCH 2880.

- Ampliar el estudio de correlación con exámenes de balance nutricional (ingesta, digestibilidad, excreción de nitrógeno y fósforo) en sucesivos trabajos para intentar explicar con mayor propiedad cuáles son los componentes de la dieta tradicional que están relacionados con la cantidad y la composición de las excretas del cerdo de traspatio.

21. BIBLIOGRAFÍAS

Alvarado, Lupita, Huaynalaya, Katiusca, Monzón, & Alfredo. (2022). *TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniero Ambiental*.

Argueta, C. R. O. (2020). *Prácticas para la mejora en el proceso de compostaje de abonos orgánicos elaborados a base de estiércol y su efecto en el suelo: Revisión de literatura*. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c4199442-92ac-4b47-955f-bbb0066d86f5/content

Armando, S.-F., & Segura, J. (2025). *Digestibilidad de nutrientes en cerdos en crecimiento: Un indicador para selección genética*. https://doi.org/10.56369/BAC.6394

Bastidas, G. E. (2025). *El crédito tributario del IVA y la liquidez en las empresas del sector de servicios de mantenimiento de aires acondicionados de la zona 8 del Ecuador*. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/45627

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Bertoldi. (2007). *Chapter 3 Microbiology of the composting process* [Elsevier]. https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80006-6

Carlos. (2020). *Guía Técnica para Alimentación de Cerdos: Dr. Carlos Campabadal*. https://www.engormix.com/porcicultura/nutricion-lechones/guia-tecnica-alimentacion-cerdos_n27352/

Castro. (2023). *Adición de inóculos microbianos y condiciones optimizadas de elaboración en un compost comercial* [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/]. https://doi.org/10.15517/rac.v47i2.56130

Chimbo, D. E. (2023). *Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la Granja Experimental ECAA* [PUCE - Ibarra]. https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/42804

Crisolo, L. K. (2023). *Producción de compost utilizando residuos orgánicos y estiércol de cerdo, con fines agrícolas en Casma, Ancash* [Universidad Científica del Sur]. https://doi.org/10.21142/tl.2023.3210

Delgado, M. del M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., Martín Sánchez, J. V., Delgado Arroyo, M. del M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AVÍCOLAS EMPLEANDO DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS* [Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM]. https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15

Díaz, S. P., Estrada, M. S. S., Rusinque, M. C., Tapias, D. F. R., & Bonilla, G. A. E. (2024). *Guía de compostaje para agricultores* [Editorial AGROSAVIA]. https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7407808

Elimelech, E., Ert, E., & Ayalon, O. (2019). *Bridging the gap between self-assessments and measured household food waste: A hybrid valuation approach*. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.015

Fallas, D. A. (2023). *Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada* [UNIVERSIDAD DE COSTA RICA]. https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/29b2d09d-1361-46d3-a095-653b12794488

Fernández. (2020). *Factores que influyen en el proceso de compostaje de residuos*. https://www.infoagro.com/documentos/factores_que_influyen_proceso_compostaje_residuos.asp

Fertilab. (2022). *Manual de Muestreo para Fertilab | PDF | Muestreo (Estadísticas)*. https://es.scribd.com/document/642183484/Manual-de-muestreo-4a-edicion-v2021

García, J. B. (2020). *Tema 8 Ecuaciones diferenciales (Ley del calentamiento de Newton)* [UNIVERCIDAD DE LA LAGUNA]. https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/10358/mod_resource/content/18/T8%20EDO%20Ejemplo.pdf

Landín. (2023). *Capitulo 7. Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcicolas* [FAO]. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/543357a1-238e-4aef-a2c5-8f50c04b2421/content/x6372s08.htm

Llangarí. (2021). *INGENIERA ZOOTECNISTA* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. pdf. https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/cc0ab335-b799-44a5-97d6-582914163bce/content

Martinez, E. A. (2024). *COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL CERDO CRIOLLO (Sus scrofa ssp) EN ETAPA DE ENGORDE A BASE DE CEBADA, DISTRITO DE VILCA - HUANCAVELICA.*

Mendoza, J., & Cortéz, J. (2025). Comparación del compostaje y vermicompostaje en la calidad del suelo mediante el análisis de temperatura, pH y fertilidad. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad, 8*, e530. https://doi.org/10.46380/rias.v8.e530

Michel, P. S., Agamuthu, P., Mehran, S. B., Santha, C., & Fauziah, S. H. (2021a). *Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward*. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.038

Michel, P. S., Agamuthu, P., Mehran, S. B., Santha, C., & Fauziah, S. H. (2021b). *Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward*. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.038

Naranjo, F. J. (2021). *Evaluación del comportamiento productivo de cerdos en crecimiento – Ceba con la utilización de vísceras de pollo en su alimentación, parroquia Anconcito* [La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021]. https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6359

Perez, J. E. V. (2013). *USO DE PROBIÓTICOS EN LA ALIMENTACIÓN CON SUERO DE LECHE EN CERDOS AL DESTETE*.

Petric, I., Helić, A., & Avdić, E. A. (2023). *Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.046

Quishpe, E. M. (2023). *Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la comunidad de Pisambilla* [PUCE - Ibarra]. https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/42803

Ramírez. (2023). *Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada* [Univercidad de Costa Rica]. https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/29b2d09d-1361-46d3-a095-653b12794488/full

Ramos, K. A. O. (2021). *CALIDAD DE ABONOS ORGANICOS (COMPOST) A PARTIR DEL ESTIERCOL PORCINO Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO RADICULAR EN EL MAÍZ EMBLEMA (Zea mays) EN SANTA ELENA* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f6da0449-5289-473e-83de-9fc096a4857d/content

Raya, V. todas las entradas de D. (2021). *Compostaje y vermicompostaje*. https://soloesciencia.com/2021/03/22/compostaje-y-vermicompostaje/

Rivero, F. A., & Thomas, D. P. (2024). *CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS ALIMENTICIOS Y DE PODA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO", PRESIDENTE PRUDENTE, SÃO PAULO, BRASIL*.

Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). *Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América* [Colegio de Postgraduados]. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2023). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina* [FAO]. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3388s

Sanchez, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology*, *247*, 1155-1164. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193

Tiquia, S. M. (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*, *79*(5), 506-512. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.02.040

Trasviña, A. M. (2024). *Modelo del Efecto de la Relación Carbono/Nitrógeno de los Residuos Orgánicos Urbanos en la Calidad de la Composta* [doctoralThesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3221

USDA. (2023). *Home | Agricultural Marketing Service*. https://www.ams.usda.gov/

Zhou, Y., Huang, M., Li, W., Zheng, Z., Chen, W., Hu, L., & Li, H. (2026). Qualitative Assessment and Interrelation of Organic Carbon Transport and Bioactivity Characteristics During Natural Composting and Vermicomposting: Various Pig Manure/Straw Pellets Ratios. *Fermentation*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/fermentation12020098

Zhu, N. (2007). *Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.12.003