UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Caracterización de abono orgánico del cerdo criollo, bajo una dieta suplementaria en Salache”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

Autora:

Tenenuela Caguana Diana Abigail

Tutora:

Tapia Borja Alexandra Isabel

LATACUNGA-ECUADOR

Agosto – 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Tenenuela Caguana Diana Abigail, con cédula de ciudadanía No. 1850796689, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO, BAJO UNA DIETA SUPLEMENTARIA 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, 6 de agosto del 2026

Diana Abigail Tenenuela Caguana
C.C: 1850796689
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 **TENENUELA CAGUANA DIANA ABIGAIL**, identificada con cédula de ciudadanía **1850796689** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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. - LA 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, BAJO UNA DIETA SUPLEMENTARIA 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, BAJO UNA DIETA SUPLEMENTARIA 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, **LA 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 **LA 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

f) 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 4 días del mes de agosto de 2026.

Diana Abigail Tenenuela Caguana	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO, BAJO UNA DIETA SUPLEMENTARIA EN SALACHE", de Tenenuela Caguana Diana Abigail, 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 ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 6 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, la postulante: Tenenuela Caguana Diana Abigail con el título de Proyecto de Investigación:

"CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO, BAJO UNA DIETA SUPLEMENTARIA 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, 6 de agosto del 2026

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

MVZ. Cristina Isabel Bejarano Rivera, Mg.
C.C: 1802458651
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Cristian Santiago Jiménez Jácome, Mg.
C.C: 0501946263
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa en mi vida. Agradezco a mis padres por ser los pilares fundamentales en mi vida. Gracias por brindarme su apoyo y por motivarme a superarme cada dia, por sus concejos que me formaron en mi vida profesional y personal, por sus sacrificios y palabras que me impulsaron a seguir adelante en momentos difíciles. Gracias a mi hermana por estar presente en momentos buenos y malos en este proceso académico y brindarme su apoyo incondicional. Agradezco a Angel por estar presente en esta etapa y agradezco a mi angelito del cielo que fue mi compañía en momentos difíciles y desde el cielo guio mi camino para hacer las cosas correctamente. Gracias.

Diana Abigail Tenenuela Caguana

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para alcanzar esta meta. A mis padres por ser mi ejemplo de esfuerzo y perseverancia, gracias por creer en mí y motivarme a ser mejor cada dia y mi hermana por darme palabras de apoyo dia a dia y nunca dejar de creer en mí.

Diana Abigail Tenenuela Caguana

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DEL CERDO CRIOLLO, BAJO UNA DIETA SUPLEMENTARIA EN SALACHE".

Autora:
Tenenuela Caguana Diana Abigail

RESUMEN

En la parroquia Eloy Alfaro, sector Salache, cantón Latacunga, la crianza porcina de traspatio genera grandes cantidades de estiércol que, al no recibir un manejo técnico adecuado, se convierte en una fuente de contaminación para el suelo y el agua. Ante esta situación, la investigación buscó caracterizar el abono orgánico generado a partir de cerdos criollos alimentados con una dieta suplementaria elaborada con insumos disponibles en la zona, dentro de un proceso de compostaje llevado a cabo en la Granja Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Para ello se trabajó con cuatro cerdos criollos en etapa post-destete, de peso y edad similares, a los que se suministró una dieta compuesta por suero de leche, puré de papa y cebada, alfalfa fresca picada y balanceado comercial, hasta completar 7 kg diarios repartidos en dos raciones, con un aporte de 9,14 % de proteína y 762 kcal/kg de energía. El estiércol producido fue sometido a compostaje durante 63 días, registrando semanalmente temperatura, pH y humedad, datos con los que se construyeron las curvas térmicas y se aplicaron ecuaciones cinéticas para describir el comportamiento del proceso. Durante el compostaje se registró una temperatura máxima de 58 °C, sostenida por encima de 55 °C durante siete días, tiempo suficiente para asegurar la higienización del material y cumplir con las fases mesofílica, termofílica y de enfriamiento propias de este tipo de tratamiento. Al finalizar, el compost mostró niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica acordes a un producto maduro, además de una relación carbono-nitrógeno favorable, mientras que las pruebas microbiológicas descartaron la presencia de patógenos como Salmonella y E. coli. No obstante, se detectaron valores de pH y conductividad eléctrica por encima de lo recomendado, lo que sugiere cierto grado de salinidad en el producto final. Se concluye que la combinación de una dieta suplementaria balanceada con un proceso de compostaje controlado permite obtener un abono orgánico apto para su aplicación, siempre que se utilice en dosis controladas o combinando con otros sustratos, con el fin de neutralizar el efecto de su alcalinidad y salinidad sobre cultivos sensibles, convirtiéndose este abono orgánico en una alternativa sostenible y de bajo costo para los pequeños productores de la zona.

Palabras clave: abono orgánico, cerdo criollo, compostaje, dieta suplementaria, curvas térmicas, aplicación en el suelo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

THEME: "CHARACTERIZATION OF ORGANIC FERTILIZER FROM CREOLE PIG MANURE UNDER A SUPPLEMENTARY DIET IN SALCHE".

Author:
Tenenuela Caguana Diana Abigail

ABSTRACT

In the Eloy Alfaro parish, Salache sector, Latacunga canton, backyard pig breeding generates large amounts of manure that, when not properly managed technically, becomes a source of contamination for the soil and water. In response to this problem, the research aimed to characterize the organic fertilizer generated from Creole pigs manure obtained from animals fed a supplementary diet made with inputs available in the area, within a composting process carried out at the Salache Farm of Universidad Técnica de Cotopaxi . To do this, we worked with four Creole pigs in the post-weaning stage, of similar weight and age, which were fed a diet composed of whey, mashed potatoes and barley, chopped fresh alfalfa and commercial balance, providing a total of 7 kg per day divided into two portions, with a contribution of 9.14% protein and 762 kcal/kg of energy. The manure produced was subjected to composting for 63 days, recording temperature, pH and humidity weekly, data with which the thermal curves were constructed and kinetic equations were applied to describe the behavior of the process. During composting, a maximum temperature of 58 °C was recorded, sustained above 55 °C for seven days, enough time to ensure the sanitization of the material and comply with the mesophilic, thermophilic and cooling phases typical of this type of treatment. At the end, the compost showed levels of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter according to a mature product, in addition to a favorable carbon-nitrogen ratio, while microbiological tests ruled out the presence of pathogens such as Salmonella and E. coli. However, pH and electrical conductivity values above the recommended values were detected, suggesting a certain degree of salinity in the final product. It is concluded that the combination of a balanced supplementary diet with a controlled composting process allows obtaining an organic fertilizer suitable for its application, provided that it is used in controlled doses or combined with other substrates, in order to neutralize the effect of its alkalinity and salinity on sensitive crops, making this organic fertilizer a sustainable and low-cost alternative for small producers in the area.

Keywords: organic fertilizer, Creole pork, composting, supplementary diet, thermal curves, soil application.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. JUSTIFICACIÓN 2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 3
3.1. Beneficiarios directo 3
3.2. Beneficiarios indirectos 3
4. PROBLEMÁTICA 4
5. OBJETIVOS 5
5.1. Objetivo General 5
5.2. Objetivo especifico 5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS 6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA 8
7.1. Importancia de la porcicultura 8
7.1.1. Características del cerdo criollo 8
7.1.2. Nutrición y requerimientos alimenticios. 8
8. Dieta Suplementaria 9
8.1. Concepto de suplementación. 9
8.2. Fuentes energéticas. 9
8.2.1. Fuentes proteicas. 9
8.2.2. Minerales esenciales. 9
8.3. Efecto de la dieta sobre la calidad del estiércol. 10
9. Estiércol porcino y abonos orgánicos 10
9.1. Estiércol porcino 10
9.2. Abonos Orgánicos 10
10. Compostaje Aerobio 10
10.1. Definición y Fundamentos 10
10.2. Proceso de compostaje 11
10.3. Microorganismos del compostaje 11
10.4. Fases del proceso de compostaje 11
10.4.1. Fase mesofílica inicial 11
10.4.2. Fase termofílica 11
10.4.3. Fase de enfriamiento 12
10.4.4. Fase de maduración 12

10.5. Importancia del compostaje 12
10.6. Materia orgánica 12
10.7. Indicadores del proceso de compostaje 13
10.7.1. Temperatura 13
10.7.2. Humedad 13
10.7.3. pH 13
10.7.4. Nitrógeno 14
10.7.5. Carbono orgánico 14
10.7.6. Relación carbono/Nitrógeno 14
10.7.7. Conductividad eléctrica 14
11. Caracterización del compost 14
11.1. Propiedades físicas 15
11.2. Propiedades químicas 15
11.3. Propiedades nutricionales 15
11.4. Parámetros de calidad del compost 15
11.5. Fertilizantes orgánicos y su aplicación agrícola 15
11.5.1. Aportes de nutrientes al suelo 15
11.5.2. Importancia en sistemas agrícolas sostenibles 16
12. PREGUNTA CIENTÍFICA 16
13. METODOLOGÌA 16
13.1. Área de estudio 16
13.2. Lugar experimental (Granja Salache) 16
13.2.1. Ubicación del área de estudio. 16
13.3. Formulación de la dieta suplementaria 17
13.3.1. Unidades experimentales 17
13.3.2. Dieta suministrada 17
13.3.3. Preparación de la dieta 18
13.4. Recolección del estiércol 21
13.4.1. Registro semanal de producción de estiércol 21
13.4.2. Preparación de la pila de compostaje 21
13.4.3. Manejo aerobio del proceso 21
13.5. Aplicación de ecuaciones cinéticas 23

13.5.1. Velocidad de calentamiento 23
13.5.2. Velocidad de enfriamiento 23
13.5.3. Área bajo la curva térmica 24
13.5.4. Tiempo de permanencia termofílica 24
13.5.5. Temperatura máxima 25
13.5.6. Tiempo para alcanzar Tmax 25
13.5.7. Cinética de primer orden 25
13.5.8. Cinética de Newton calentamiento 26
13.5.9. Cinética de Newton enfriamiento 26
13.5.10. Energía acumulada 27
13.6. Muestreo 27
13.7. Preparación de la muestra 27
13.8. Determinación de madurez 28
14. Tipos de investigación 28
14.1. Investigación bibliográfica 28
14.2. Investigación de campo 28
14.3. Investigación científica 28
15. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
15.1. Composición nutricional de la dieta. 28
15.1.1. Registro semanal de producción de estiércol 30
15.1.2. Velocidad de calentamiento 34
15.1.3. Velocidad de enfriamiento 34
15.1.4. Área bajo la curva térmica 35
15.1.5. Tiempo de permanencia termofílica 36
15.1.6. Temperatura máxima 37
15.1.7. Cinética de primer orden 37
15.1.8. Cinética de newton de calentamiento 38
15.1.9. Cinética de Newton de enfriamiento 38
15.1.10. Energía acumulada 39
15.1.1. Resumen de los Parámetros cinéticos del proceso de compostaje 39
15.2. Análisis descriptivo de los parámetros físico químico y biológico del compost elaborado con el estiércol del cerdo criollo. 41
15.2.1. Resultado de los análisis Físico Químico del compost. 41

15.2.2. Resultado del análisis microbiológico del compost 42
15.3. Prueba de normalidad 43
15.4. Análisis de correlación 43
16. Discusión 44
17. Impactos 46
18. Conclusiones 46
19. Recomendaciones 47
20. Bibliografía 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la Dieta Suplementada Estandarizada 17
Tabla 2. Cálculo de materia seca aportada por ingrediente en un lote de 7 kg. 18
Tabla 3. Composición nutricional de la dieta suplementaria 28
Tabla 4. Registro del estiércol 30
Tabla 5. Registro del consumo voluntario 30
Tabla 6. Registro del proceso de compostaje 32
Tabla 7. Velocidad del calentamiento 34
Tabla 8. Resultados obtenidos del proceso de enfriamiento 35
Tabla 9. AUC por fase 35
Tabla 10. Análisis de temperaturas 36
Tabla 11. Tmax y tiempo para alcanza Tmax 37
Tabla 12. Fase de enfriamiento, días 35-63 37
Tabla 13. Cinética de calentamiento 38
Tabla 14. Cinética de enfriamiento 38
Tabla 15. Energía acumulada 39
Tabla 16. Resumen 40
Tabla 17. Muestra 41
Tabla 18. Muestra 42
Tabla 19. Correlación Sperman entre temperatura, humedad y pH durante el compostaje 43
Tabla 20. Valores de significancia (p) de la correlación de Spearman entre el tiempo de compostaje, pH, humedad y temperatura 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dieta Suplementaria 29
Figura 2. Curva térmica pH - Humedad 32
Figura 3. Curva térmica Temperatura 33
Figura 4. AUC 36

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

"Caracterización de abono orgánico del cerdo criollo, bajo una dieta suplementaria para fertilizante en Salache."

Fecha de inicio: abril 2026

Fecha de finalización: agosto 2026

Lugar de ejecución: Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Eloy Alfaro sector Salache.

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: Tenenuela Caguana Diana Abigail

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Tenenuela Caguana Diana Abigail

Teléfono: 0997699901

Correo electrónico: diana.tenenuela6689@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: Agricultura - Agricultura, silvicultura y pesca - producción agropecuaria.

Línea de investigación: Línea 1: Producción y Biotecnología Animal

Línea de vinculación de la carrera: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

2. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial la actividad porcícola genera cantidades altas de estiércol con concentraciones de nitrógeno, fosforo y materia orgánica. La falta de manejo técnico de los residuos provoca la contaminación de suelos y agua (FAO, 2018). En ecuador la producción de carne de cerdo alcanza las 222.000 toneladas anuales, con una población total de ejemplares (INEC,2022). Según la misma investigación el 61% de las hembras reproductoras pertenecen a sistemas de traspatio evidenciando que la crianza porcina constituye a un problema ambiental de alcance nacional.

En la provincia de Cotopaxi, y de manera más concreta en la comunidad de Salache, la cría de cerdos criollos bajo sistemas tradicionales es una actividad fundamental para la seguridad alimentaria y la economía de los pequeños productores. Sin embargo, esta práctica se complementa con una alimentación que mezcla balanceado comercial con insumos locales, lo que provoca una alteración en la composición nutricional de las excretas afectando directamente el contenido de materia orgánica, N, P y K (Bernal et al., 2017). A pesar de ello el principal obstáculo es la escasez de estudios sobre la calidad de este abono orgánico. Por ende, al no disponer de un marco técnico para su valoración, los desechos son arrojados al ambiente sin un tratamiento previo, provocando contaminación y desaprovechando un recurso de gran potencia agrícola.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1. Beneficiarios directo

El presente trabajo investigativo beneficiara a los estudiantes y miembros de la universidad y los productores de cerdo criollo ecuatoriano del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, involucrados en sistemas de crianza con dietas suplementadas.

3.2. Beneficiarios indirectos

Los productores agrícolas de zonas aledañas al cantón Latacunga, quienes podrían utilizar el abono orgánico caracterizado como una alternativa a los fertilizantes sintéticos contribuyendo a la producción agrícola sostenible.

4. PROBLEMÁTICA

A nivel mundial, la producción de cerdos ha crecido constantemente. Según la FAO (2023), en 2021 la producción de carne de cerdo alcanzo los 120 millones de toneladas, representando un 34% de la producción total de carnes. Este volumen de producción genera cantidades significativas de estiércol, el cual al no ser manejado técnicamente contamina tanto el agua como el suelo. En este contexto, la OMS (2022) advierte que el agua contaminada con nitratos y productos químicos pueden trasmitir enfermedades como la colera, la disentiría y la fiebre tifoidea. En relación con América latina, países como México, Chile y Perú presentan una situación compleja con suelos volcánicos y la minería liberan arsénico de forma natural (OMS, 2022) y la ganadería sin control técnico añade nitrógeno y fosforo que incrementan la contaminación de fuentes hídricas. Por ende, es necesario caracterizar y estabilizar estos residuos orgánicos antes de usarlos en la agricultura.

Debido a que en el Ecuador el inventario porcino asciende a 2,8 millones de cerdos con mas de 94% de los 166.000 son pequeños productores. (MAG, 2025). En la provincia de Cotopaxi estudios recientes han encontrado arsénico en el agua de riego de la parroquia Tanicuchi, específicamente en la Junta Tiliche San José, con valores que oscilan desde 1,41 hasta 3,54 mg/L, lo que supera hasta 35 veces el limite de 0,1 mg/L para uso agrícola (TULSMA, 2012). Como resultado esta agua acida y toxica esta provocando clorosis foliar y estrés químico en los cultivos (Córdova & Molina, 2022). En Salache se presenta un problema que responde al manejo empírico del estiércol porcino, que consiste en aplicarlo directamente al suelo o almacenarlo sin un proceso de compostaje, provoca la lixiviación de nutrientes y emisión de gases contaminantes (FAO, 2023). En síntesis, la combinación de contaminación inorgánica y orgánica esta degradando los suelos y disminuyendo la productividad agrícola.

En la comunidad de Salache, la crianza del cerdo criollo con dietas suplementarias es una actividad importante para la economía local. Pero el problema es que se desconoce realmente cuáles son las propiedades fisicoquímicas del abono que se obtiene de estos animales. Algunos estudios ya han demostrado que darles suplementos a los cerdos hace que sus heces tengan más nutrientes (Li et al., 2021), pero aplicar este abono directamente puede traer varios riesgos, como acidificar el suelo, desbalancear los nutrientes o incluso movilizar contaminantes que estaban ahí presentes (Pergola et al., 2021).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Caracterización de abono orgánico del cerdo criollo, bajo una dieta suplementaria para fertilizante en Salache.

5.2. Objetivo especifico

- Formular una dieta suplementaria, considerando los principales aportes de energía, proteína y minerales.
- 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 nutricional del compostaje

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS

Objetivo Especifico 1	Actividades	Metodología	Resultados
Formular una dieta suplementaria, considerando los principales aportes de energía, proteína y minerales.	-Revisión bibliográfica sobre requerimientos nutricionales en cerdos criollos. -Selección de materias primas disponibles en la zona de estudio. -Formulación de la dieta suplementaria. -Registro del consumo alimenticio de los animales.	- Consulta de literatura científica relacionada con nutrición porcina y suplementación alimenticia. -Cálculo de requerimientos nutricionales. -Formulación de raciones mediante balance nutricional	-Determinación de la composición nutricional de la dieta suplementaria -Conclusión sobre efecto de la dieta en calidad del estiércol.
Objetivo Especifico 2	**Actividades**	**Metodología**	**Resultados**
Evaluar la dinámica térmica del estiércol durante el proceso de compostaje mediante la construcción de curvas térmicas y la aplicación de ecuaciones cinéticas	-Revisión bibliográfica sobre procesos térmicos y cinéticos en compostaje de residuos orgánicos -Monitorear periódicamente la temperatura, pH y humedad durante el proceso de compostaje. -Construir e interpretar las curvas térmicas del proceso de compostaje. -Aplicar ecuaciones cinéticas para evaluar la dinámica térmica del estiércol.	-Adecuación del área experimental, y elaboración de la pila de compostaje. -Registro semanal de la temperatura, humedad y pH. -Organización y procesamiento de los datos obtenidos mediante herramientas estadísticas y gráficas. -Análisis matemático de los datos mediante modelos cinéticos y comparación con información científica.	-Unidad experimental establecida y lista para el monitoreo del proceso de compostaje. -Base de datos térmica que describa el comportamiento de la temperatura durante el compostaje -Curva térmica que permitan identificar la fase mesófila, termófila y de maduración del compostaje. -Parámetros cinéticos y evaluación del comportamiento térmico del estiércol durante el proceso de compostaje.
Objetivo Especifico 3	**Actividades**	**Metodología**	**Resultados**
Determinar la composición fisicoquímica y nutricional del compostaje	-Revisión bibliográfica sobre calidad de abonos orgánicos. -Recolección de muestras de compost maduro.	-Análisis de laboratorio fisicoquímico y microbiológico -Procesamiento estadístico descriptivo de los datos obtenidos	-Determinación de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales del compost. -Tablas comparativas de resultados.

	-Envío de la muestra al laboratorio. -Registro y organización de resultados analíticos. -Interpretación de resultados obtenidos.	

Elaborado por: (Tenenuela, 2026)

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1. Importancia de la porcicultura

La porcicultura es reconocida como una actividad pecuaria de carácter estratégica a nivel mundial, no únicamente por su aporte a la seguridad alimentaria, sino también por su capacidad de generar ingresos en zonas rurales (FAO, 2020). En el contexto latinoamericano, esta labor ha sido históricamente ejecutada por productores de pequeña y mediana escala, quienes recurren a sistemas de manejo extensivos o semi tecnificados. Sin embargo, uno de los retos ambientales de mayor envergadura consiste en la correcta disposición de los desechos porcinos, específicamente las heces, cuyo inadecuado tratamiento ocasiona polución hídrica y liberación de gases con efecto invernadero (Moral et al., 2019).

7.1.1. Características del cerdo criollo

El cerdo criollo (Sus scrofa domestica) es resultado de procesos de naturalización acaecidos a partir de la colonización europea, lo que le ha permitido ajustarse a condiciones particulares de clima, relieve y disponibilidad de insumos locales (Martínez et al., 2018). Entre sus rasgos distintivos destacan la rusticidad, la tolerancia a patologías endémicas, la aptitud para aprovechar subproductos y forrajes, un crecimiento inferior al de razas especializadas, y una grasa intramuscular que confiere atributos organolépticos singulares.

En Ecuador, las poblaciones de estos cerdos se hallan en situación de vulnerabilidad frente a la erosión genética, pese a su innegable valor adaptativo y patrimonial (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2021).

7.1.2. Nutrición y requerimientos alimenticios.

Los requerimientos nutricionales del cerdo criollo difieren de las de las razas mejoradas por su inferior potencial de crecimiento y eficiencia metabólica diferenciada. Según Toro (2008), estos animales muestran una capacidad digestiva de la fibra ligeramente superior, circunstancia que les favorece el aprovechamiento de dietas con alta proporción de forrajes o subproductos. No obstante, para asegurar un estado sanitario apropiado y una calidad aceptable de la canal, resulta necesario cubrir las exigencias de energía metabolizable (2.800–3.100 kcal/kg), proteína bruta entre 12–16% en función de la fase, lisina, calcio, fósforo y oligoelementos (NRC, 2012). La ración basal incide

directamente sobre la composición del estiércol, aspecto que constituye el eje central de la presente indagación.

8. Dieta Suplementaria

8.1. Concepto de suplementación.

Por suplementación alimenticia en porcinos se entiende el aporte de nutrientes concretos ya sean energéticos, proteicos o minerales que no son cubiertos por la ración base o los recursos forrajeros disponibles (García & Ordaz, 2021). El propósito de esta práctica es optimizar el rendimiento productivo, preservar la salud intestinal y en el marco de esta tesis, modificar las propiedades del estiércol con miras a maximizar su utilidad como sustrato para el compostaje.

8.2. Fuentes energéticas.

Entre los insumos energéticos más utilizados en la suplementación porcina se destacan el maíz, sorgo, trigo, melaza y residuos del procesamiento del arroz, los cuales proporcionan carbohidratos de rápida fermentación o de tipo fibroso. Un elemento teórico de trascendencia estriba en que el tipo de carbohidrato condiciona la digestibilidad y, en consecuencia, la cantidad y naturaleza de los sólidos fecales (Urriola et al., 2019). Finalmente, si las dietas contienen alta fibra soluble, aumenta la excreción de nitrógeno y fósforo, mientras que las fuentes energéticas con elevada digestibilidad reducen el volumen de estiércol generado por cada unidad de ganancia ponderal.

8.2.1. Fuentes proteicas.

Entre las fuentes proteicas más utilizadas se incluyen la torta de soya, la harina de pescado, la harina de canola y diversas leguminosas forrajeras constituyen las fuentes proteicas habituales. Tanto el nivel como el perfil de aminoácidos de la proteína afectan la excreción de nitrógeno en forma de urea. Tal como lo señalan Portejoie et al. (2018), las dietas complementadas con proteína de alto valor biológico y debidamente balanceada en aminoácidos esenciales logran reducir hasta en un 30% las pérdidas de nitrógeno fecal y urinario, mejorando así la relación carbono-nitrógeno (C/N) del estiércol, parámetro fundamental para el compostaje.

8.2.2. Minerales esenciales.

Los minerales calcio, fósforo, magnesio, zinc, cobre y manganeso se incorporan mediante premezclas. No obstante, un desbalance por exceso de cobre y zinc, frecuente en raciones comerciales usadas como potenciadoras del crecimiento, se acumula en las heces y puede

ocasionar fitotoxicidad si no se maneja apropiadamente (Jondreville et al., 2022). Por el contrario, una suplementación ajustada a los requerimientos evita desequilibrios y genera un abono con un perfil nutrimental más favorable para los cultivos.

8.3. Efecto de la dieta sobre la calidad del estiércol.

La evidencia documentada ha señalado de manera consistente que la alimentación influye la generación de amoníaco, la concentración de metales pesados, la relación C/N y la actividad microbiológica del estiércol (Möller & Müller, 2017). Además, un complemento dietético bien formulado puede elevar el contenido de nutrientes aprovechables (N, P, K) mientras disminuye la presencia de patógenos entéricos y favorecer la estructura física del estiércol para su posterior compostaje. En consecuencia, se evidencio un vacío teórico de pocas investigaciones que abordan el efecto de dietas suplementarias con ingredientes locales sobre la calidad del estiércol de cerdos criollos en condiciones tropicales andinas como las de Salache.

9. Estiércol porcino y abonos orgánicos

9.1. Estiércol porcino

El estiércol porcino es define como una mezcla de heces, orina, restos de alimento y, en ocasiones, materiales de cama. Su composición presenta variaciones atribuibles a la dieta, la edad del ejemplar, el sistema de manejo y las condiciones de almacenamiento (Sommer et al., 2018). Generalmente muestra un elevado porcentaje de humedad (70–85%), un contenido de materia orgánica (60–75% en base seca), nitrógeno total (2–6% base seca), fósforo (1–3%) y potasio (1–2%). Sin embargo, el estiércol fresco puede albergar microorganismos patógenos y semillas de malezas, lo cual torna imperativa la aplicación de tratamientos biotérmicos como el compostaje.

9.2. Abonos Orgánicos

El abono orgánico es un material de origen animal o vegetal sometido a procesos de descomposición controlada que aporta nutrientes al suelo y mejora sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. Crisolo Berrospi (2023) señala que la utilización de residuos sólidos orgánicos, incluyendo el estiércol porcino, es beneficiosa debido a la alta concentración de nutrientes que puede ser aprovechada como fertilizante orgánico en la agricultura.

10. Compostaje Aerobio

10.1. Definición y Fundamentos

El compostaje aerobio es un proceso biológico de oxidación controlada de la materia orgánica en presencia de oxígeno, llevado a cabo por una sucesión de microorganismos que generan calor, dióxido de carbono, agua y un producto final estable y humificado denominado compost (Haug, 2018). Este proceso se basa en la respiración aerobia, dentro de la cual la relación carbono-nitrógeno (C/N) óptima se sitúa en un rango de 25:1 a 35:1, lo que garantiza la actividad microbiana.

10.2. Proceso de compostaje

El compostaje es una técnica simple y efectiva para reciclar la materia orgánica y producir abono orgánico. Sin embargo, para que este proceso se realice de manera óptima, es importante tener en 10 cuenta ciertas consideraciones como la infraestructura necesaria para evitar malos olores y mantener la estética del lugar (Luna, 2019). Además, es fundamental controlar la temperatura y la humedad para garantizar una buena descomposición de los residuos y evitar la entrada de aguas pluviales que podrían afectar el proceso. Todo esto demuestra la importancia de planificar y preparar adecuadamente el lugar donde se realizará el compostaje para obtener un abono de calidad y contribuir al cuidado del medio ambiente (Luna, 2019).

10.3. Microorganismos del compostaje

En el proceso participan diversos microorganismos, entre ellos incluyen las bacterias que predominan en las fases inicial y termofílica, degradando compuestos de fácil asimilación, mientras que los hongos actúan preferentemente en las fases mesofílica y de maduración, descomponiendo lignina y celulosa (Insam & de Bertoldi, 2020).

10.4. Fases del proceso de compostaje

10.4.1. Fase mesofílica inicial

Debido a la acción de las bacterias mesófilas que actúan degradando azúcares y almidones, con la consecuente producción de calor, desde temperatura ambiente hasta 40 °C. (Isam & Bertoldi, 2020)

10.4.2. Fase termofílica

Durante la fase termófila del compostaje, las bacterias termófilas y las actinobacterias descomponen proteínas y hemicelulosa. Este proceso genera temperaturas que oscilan entre 40 y 70°C, lo que permite la eliminación de patógenos y semillas de malezas. (FAO s.f; Haug, 2018)

10.4.3. Fase de enfriamiento

La fase de enfriamiento se caracteriza por el descenso de la temperatura hasta los 40°C momento en el que ocurro una recolonización por hongos y enterobacterias (FAO, 2013).

10.4.4. Fase de maduración

Después del enfriamiento la ultima etapa del proceso de compostaje comienza la fase de maduración. En esta fase la mezcla se enfría hasta llegar a temperatura ambiente, se producen nuevas reacciones químicas de condensación y proliferación de compuestos de carbono, resultando así en la formación de ácidos y la consolidación de nuevas moléculas. Esta fase es crucial para obtener un compost de buena calidad ya que en esta fase se completa la degradación de componentes mas resistentes. (Diaz, L. et al., 2020)

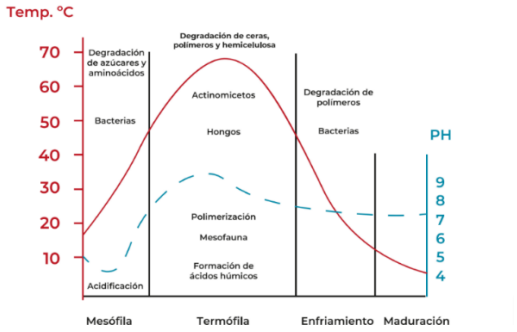


Ilustración 1: Etapas del compostaje

Fuente: Diaz, L. et al., (2020)

10.5. Importancia del compostaje

El compostaje es una técnica muy valiosa para la valoración de los residuos orgánicos en la economía circular, ya que disminuye la dependencia de insumos y reduce los efectos dañinos de este sobre el medio ambiente. Esta práctica de manejo de residuos favorece la protección de los ecosistemas y el avance hacia un desarrollo de criterios de sostenibilidad (Leanpio, 2019).

10.6. Materia orgánica

Según la norma NTE INEN 209 (2016), los materiales de origen orgánico son aquellos que proceden de fuentes vegetales y origen animal, los cuales resultan aptos para la elaboración de abonos orgánicos. La materia orgánica cumple una función fundamental en los ecosistemas ya que son el sustento de vida del planeta. Es por ello que resulta necesario comprender su

comportamiento y dinámica para poder conservarla y potenciarla mediante practicas apropiadas (Armony,2020).

10.7. Indicadores del proceso de compostaje

10.7.1. Temperatura

La temperatura es el parámetro más crítico a considerar. De acuerdo con la normativa internacional (p. ej., EPA, 2020) se debe alcanzar al menos 55°C durante tres días consecutivos para lograr la sanitización. Valores superiores a 70°C inhiben la actividad microbiana; valores inferiores a 45°C no aseguran la destrucción de patógenos.

10.7.2. Humedad

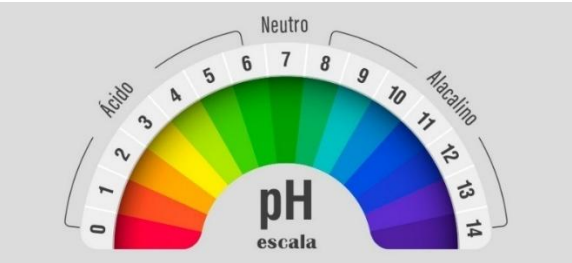
El intervalo óptimo de humedad se ubica entre 40% y 60%. Una humedad inferior al 35% detiene la actividad microbiana; una superior al 65% provoca condiciones de anaerobiosis, generación de olores desagradables y formación de lixiviados (Bernal et al., 2017). En el caso específico del estiércol porcino, que presenta una alta humedad inicial (>75%), se hace necesaria su mezcla con materiales estructurantes secos (paja, cascarilla de arroz, aserrín).



Fuente: (Vera, S., & Pinotti, L., 2020).

10.7.3. pH

Durante la fase inicial, la degradación de ácidos orgánicos reduce el pH hasta valores de 5–5.5; posteriormente, la producción de amoníaco lo eleva a un rango de 7.5–8.5. Un pH final comprendido entre 6.5 y 8.0 es indicativo de un compost maduro (Gajalakshmi & Abbasi, 2008).



Fuente: (Pialhovik., 2018).

10.7.4. Nitrógeno

La concentración de nitrógeno en el compost esta determinada por varios factores que incluyen el tipo de material de partida, durante el desarrollo del compostaje se observa una reducción en los niveles de nitrógeno total, esto es relaciona principalmente por la emisión del amoniaco por volatilización. Con el fin de garantizar un proceso aérobico eficiente se considera aceptable que las pérdidas de nitrógeno no superen 20% del contenido presente al inicio del proceso esto según lo establecido por Sharma (2017).

10.7.5. Carbono orgánico

Durante el proceso de compostaje los microorganismos emplean el carbono orgánico como principal fuente energética para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica. En determinadas circunstancias la demanda de carbono puede superar a la de nitrógeno, lo cual debe ser controlado ya que un exceso de nitrógeno podría prolongar el tiempo necesario para la degradación completa del material (Sharma et al., 2017)

10.7.6. Relación carbono/Nitrógeno

La relación carbono y nitrógeno constituye un indicador fundamental para monitorear la evolución y determinar la calidad final del compost. Este parámetro varía según la naturaleza de los materiales iniciales y se calcula dividiendo el porcentaje de carbono orgánico total entre el porcentaje de nitrógeno total presentes en la mezcla a compostar. A lo largo del proceso la relación carbono y nitrógeno experimenta una disminución progresiva, partiendo de valores cercanos a 35:1 hasta estabilizarse en torno a 15:1 lo que refleja la maduración y estabilización del material (Roman et al., 2013)

10.7.7. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica indica la presencia de altas concentraciones de sales que pueden ser perjudiciales en la germinación de semillas. En particular algunas materias primas utilizadas para compost pueden generar valores elevados de conductividad eléctrica es por ello que es importante monitorear la conductividad eléctrica para evitar salinización al suelo o problemas de toxicidad en las plantas, esto debido a la aplicación excesiva de sales (Rivas, Magalys; & silva, Ramon,2019)

11. Caracterización del compost

11.1. Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas se incluyen la coloración (pardo oscuro a negro), el olor característico a tierra de bosque, la textura desmenuzable, la temperatura ambiente y la baja densidad aparente (0.4–0.7 g/cm³). La ausencia de materiales fácilmente reconocibles y la estabilidad estructural constituyen indicadores visuales de madurez (Bernal et al., 2017; Gajalakshmi & Abbasi, 2008)

11.2. Propiedades químicas

Los parámetros químicos que determinan la calidad del compost incluyen al pH, que debe situarse entre 6.5 y 8.5; la conductividad eléctrica cuyo valor debe ser inferior a 4dS/m para evitar efectos fitotóxicos; el carbono orgánico total con un contenido mínimo del 25% en base seca, un nitrógeno total mayor del 1.5%, una relación C/N inferior a 20:1 y una capacidad de intercambio catiónico que supere los 30 meq/100g. Todos estos parámetros se rigen dentro de los niveles legales (Thompson et al., 2019).

11.3. Propiedades nutricionales

Nitrógeno, fósforo (expresado como P_2O_5) y potasio (K_2O) son los macronutrientes primarios. El compost derivado de estiércol porcino suele aportar N asimilable de forma lenta (liberación en un plazo de 2 a 4 meses), P moderadamente disponible y K rápidamente aprovechable. Asimismo, se determinan calcio, magnesio, azufre y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu).

11.4. Parámetros de calidad del compost

Normativas como la chilena NCh 2880 (2016) o la europea EU 2019/1009 establecen límites específicos: metales pesados (mg/kg MS): Cd <0.7, Pb <45, Cu <100, Zn <200; patógenos: ausencia de *Salmonella* en 25 g, huevos de helmintos <1 huevo/g; estabilidad biológica: consumo de O_2 <1.5 mg O_2/g MO/h. Se identifica un vacío teórico consistente en la carencia de estándares particulares en Ecuador para la caracterización fisicoquímica se utiliza la NTE INEN 2011:1998 pero esta no cubre los límites de calidad de compost que procedente de cerdos criollos alimentados con dietas suplementarias locales, lo cual otorga justificación a la presente investigación.

11.5. Fertilizantes orgánicos y su aplicación agrícola

11.5.1. Aportes de nutrientes al suelo

Los nutrientes del compost se liberan de forma paulatina gracias a la acción de los microorganismos del suelo. Así, un compost con un 2% de nitrógeno total podría proporcionar entre 60 y 120 kg de N por hectárea al año, en función de la dosis y de la actividad biológica del suelo. El fósforo permanece parcialmente quelado por ácidos orgánicos, lo que disminuye su fijación en suelos ácidos; el potasio se encuentra disponible casi en su totalidad (Agegnehu et al., 2017). Además de estos nutrientes la materia orgánica mejora la estructura del suelo, favoreciendo la infiltración de agua y aumentando su resistencia a la erosión.

11.5.2. Importancia en sistemas agrícolas sostenibles

La agricultura sostenible promueve el reciclaje de nutrientes, la disminución de insumos externos y la conservación de la biodiversidad edáfica. El uso de compost de estiércol porcino se alinea con los principios de la economía circular, al transformar un residuo en un insumo de valor (FAO, 2020). Investigaciones recientes (Cuéllar & Ramírez, 2022) afirman que, en los sistemas de producción campesina andina, la combinación de cerdos criollos alimentados con recursos locales y el compostaje de sus excretas constituye un modelo agroecológico pertinente y resiliente.

12. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿El compost elaborado a partir del estiércol de cerdo criollo alimentado bajo una dieta suplementaria presenta características que permiten su uso en sistemas agrícolas?

13. METODOLOGÌA

13.1. Área de estudio

Esta investigación se realizó en el sector de Salache, perteneciente a la Parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. La zona se caracteriza por una altitud promedio de 2.700 y 2.850 metros, con temperatura anual de 12 y 15 ºC. Se selecciono un predio con infraestructura para la crianza de cerdos criollos bajo condiciones controladas de alimentación y manejo sanitario.

13.2. Lugar experimental (Granja Salache)

13.2.1. Ubicación del área de estudio.



Ilustración 1 Granja Salache

Fuente: Google earth

13.3. Formulación de la dieta suplementaria

13.3.1. Unidades experimentales

La muestra experimental estuvo conformada por cuatro cerdos criollos en etapa post – destete con un peso promedio de 10 kg y edad de seis semanas. La selección de animales de características fenotípicas similares responde a la necesidad de reducir la variabilidad individual en los procesos de digestibilidad y metabolismo de los nutrientes, factores que influyen directa en la composición de las excretas (Moral et al., 2005).

13.3.2. Dieta suministrada

13.3.2.1. Dieta suplementaria estandarizada.

Tabla 1. Composición de la Dieta Suplementada Estandarizada

Ingrediente	Porcentaje (%)	Cálculo (7 kg * %)	Peso Exacto a Mezclar (kg)
Suero de Leche	56.3%	7 kg X 0.563	3.94 kg
Puré Estandarizado	32.8%	7 kg X 0.328	2.30 kg
Alfalfa Fresca Picada	4.7%	7 kg X 0.047	0.33 kg
Balanceado Comercial	6.2%	7 kg X 0.062	0.43 kg
TOTAL	100%		7.00 kg

Fuente: Ramos Canche (2020)

Elaborado por: Tenenuela, 2026

Interpretación: La dieta suplementaria fue formulada bajo un principio del 70% de la materia seca, los ingredientes utilizados son de la alimentación tradicional porcina local, mientras que el 30% correspondió a un balanceado comercial para fase de crecimiento. Esta proporción fue establecida considerando el aporte de energía y fibra, el balanceado aporta un proteína, aminoácidos y minerales que complementa la dieta. La preparación de la dieta se realizó en la mañana y tarde para garantizar la frescura de la mezcla y evitar que el suero se llegue a fermentar, cuyo contenido alto de lactosa lo hace susceptible a la acidificación por bacterias lácticas cuando es almacenado por tiempos extensos (Walsh et al., 2020).

Se verifico la proporción de materia seca aportada por cada ingrediente, para ello se multiplico el peso húmedo de cada componente por su respectivo porcentaje de materia seca.

Se aplicó la siguiente formula por cada ingrediente:

- $MS\ aportada\ (kg) = Peso\ humedo\ (kg\ )\ x\ \%\ \frac{MS}{100}$
- $\text{MS Tradicional} = 0{,}236 + 0{,}575 + 0{,}066 = 0{,}877\ \text{kg}$
- $\text{MS Suplemento} = 0{,}378\ \text{kg}$
- $\%\text{MS Tradicional} = \frac{1{,}255}{0{,}877} \times 100 = 69{,}9\%; \%\text{MS Suplemento} = 30{,}1\%$

Tabla 2. Cálculo de materia seca aportada por ingrediente en un lote de 7 kg.

Ingrediente	Peso húmedo (kg)	MS (%)	MS aportada (kg)
Suero	3,94	6	0,236
Puré	2,30	25	0,575
Alfalfa	0,33	20	0,066
Balanceado	0,43	88	0,378
Total	7,00		1,255

Elaborado por: Tenenuela, 2026

13.3.3. Preparación de la dieta

- La preparación de la dieta se inició con la cocción de las papas sin sal hasta su ablandamiento. Posteriormente, fueron escurridas para eliminar el exceso de agua y controlar la humedad final de la mezcla. Seguido de ello fueron aplastadas y enfriadas hasta alcanzar la temperatura ambiente. El pure estandarizado consistió en mezclar 70% de papa proporcionando energía metabolizable de aproximadamente 3,200 – 3,400 kcal/kg MS y 30% de grano de cebada en peso seco aportando fibra soluble y almidón de digestión más lenta, esta combinación logra una relación energía – proteína adecuada para cerdos en etapa post – destete que requieren energía para el crecimiento, pero con una capacidad digestiva muy limitada.





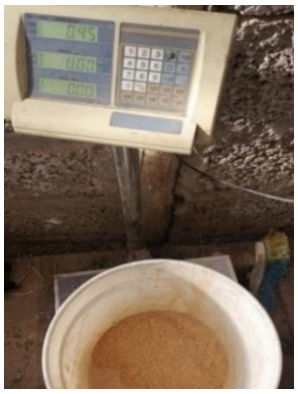
- En un recipiente limpio se pesó y mezclo en orden el suero siendo este el componente más liquido con aproximadamente 93% de humedad, el pure estandarizado actúa como un espesante natural creando una mezcla homogénea y la alfalfa picada se añadió después ya que por su naturaleza fibrosa es necesario que sea humedecida para integrarse adecuadamente.







- Finalmente, se añadió el balanceado y se mezcló hasta obtener una consistencia a una sopa espesa homogénea y se sirvió inmediatamente para evitar fermentación y sabores indeseables que causen rechazo por parte de los animales.



- La dieta se ofreció en dos raciones diaria de 7 kg cada una considerando el peso corporal y el consumo esperado con un total de 14 kg al día, esta cantidad asegura que el animal cubra sus requerimientos energéticos y proteicos. Se controlo la alimentación de los cerdos en horario fijos para evitar estrés y asegurar una eficiencia digestiva.

- Después de 1 a 2 horas se retiró y peso el sobrante de la dieta considerado que al transcurrir ese tiempo el cerdo consume la mayor parte de la ración y la mezcla comienza a perder frescura el consumo cesa.



Control de consumo voluntario

Se realizo un registro diario sobre el alimento ofrecido y el alimento rechazado con el fin de evaluar la aceptación de la dieta por parte de los animales (Scielo México, 2017)

$$Consumorealvoluntario(kg) = Ofrecido(kg) - Rechazado(kg)$$

13.4. Recolección del estiércol

Diariamente, se recolecto el estiércol fresco antes de 24 horas de su deposición, evitando perdidas de nitrógeno por volatilización. Según Sommer (2018) sin recolección inmediata, las pérdidas de nitrógeno pueden alcanzar el 30 – 50% en las primeras 48 horas, la materia recolectada se acumuló en un área designada para compostaje durante 15 días.

Para la recolección se utilizaron herramientas como palas, escobas y carretillas para transportar el estiércol, estas permitieron una recolección eficiente sin mezclar el estiércol con otros contaminantes.

13.4.1. Registro semanal de producción de estiércol

Durante cada semana se cuantificó la producción de estiércol generada por los cuatro cerdos criollos. La cuantificación semanal permitió establecer la relación entre el consumo alimenticio y la excreción. La producción de estiércol es un indicador indirecto de la digestibilidad de la dieta, la salud intestinal y el balance nutricional que presentaron los cerdos. (Sarmiento et al., 2025)

13.4.2. Preparación de la pila de compostaje

Método Indore: Este método consiste en realizar un compostaje en montón, es ideal para gestionar grandes volúmenes de materia orgánica y obtener un compost maduro de calidad en un plazo de 3 meses (Inversa, 2011).

El estiércol recolectado se mezcló con rastrojo de maíz seco para lograr la relación Carbono y Nitrógeno inicia y humedad del 50 a 60%. El volumen de la pila es de 1 m^3 para lograr alcanzar la fase termofílica.





13.4.3. Manejo aerobio del proceso

El proceso se mantuvo bajo condiciones aeróbicas mediante prácticas periódicas de aireación y control de humedad. El compostaje aerobio se basa en la respiración de microorganismos que utilizan oxigeno como aceptor final de electrones (Salazar Arce, T., 2014)

13.4.3.1. Volteos

Durante los tres meses se realizaron volteos periódicos con el fin de brindar aireación y homogenización del material, aportando oxigeno fresco en el interior de la pila, homogeneizando la humedad y controlando la temperatura. Según el método Indore (Cepeda, 2023) durante la fase mesófila los volteos se realizan cada 7 días para evitar la pérdida de calor inicial y en la fase de maduración se reduce la frecuencia a 7 – 14 días ya que ya actividad de los microorganismos disminuye y el material requiere mayor estabilidad.



13.4.3.2. Monitoreo semanal

Se realizo monitoreos periódicos del compostaje controlando pH, humedad y temperatura. Estos tres parámetros constituyen en los indicadores para evaluar la evolución del proceso (Agrotendencia, 2025).





13.4.3.3. Construcción de curvas térmicas

Los datos obtenidos fueron organizados para construir curvas térmicas que describirán el comportamiento de la temperatura, humedad y pH.

A partir de la curva se identificaron la fase mesófila, termófila, enfriamiento y maduración, permitiendo identificar la evolución del compostaje.

13.5. Aplicación de ecuaciones cinéticas

Se aplico diferentes fórmulas matemáticas que permitieron entender cómo se comportó el proceso del compostaje en los días que se ejecutó la investigación. Cada formula explica si los microorganismos están vivos, activos y trabajando correctamente.

13.5.1. Velocidad de calentamiento

La velocidad de calentamiento se define como la pendiente de la curva temperatura – tiempo durante la fase mesofílica inicial, la cual refleja la actividad metabólica de los microorganismos y su capacidad para descomponer la biomasa. Según (Haug, 1993) la rapidez con la que alcanza la fase termofílica constituye un indicador clave de la eficiencia del sistema.

Formula:

$$V_c = \frac{Tf - Ti}{t_f - t_i}$$

Vc: Velocidad de cambio térmico o tasa de cambio.

Tf: Temperatura final

Ti: Temperatura inicial

tf: Tiempo final

ti: Tiempo inicial

13.5.2. Velocidad de enfriamiento

La velocidad de enfriamiento mide la disminución de la temperatura del compostaje una vez que la actividad microbiana comienza a disminuir señalando el agotamiento de la biomasa fácilmente degradable. Según Mudhoo, A., & Mohee, R. (2007) la velocidad de enfriamiento está controlada por la conductividad térmica del material la humedad y la eficiencia del intercambio de calor con el medio ambiente.

Formula:

$$V_c = \frac{T_{max} - T_f}{t_f - t_{max}}$$

Vc: Tasa de cambio o velocidad de enfriamiento

Tmax: Temperatura máxima registrada

Tf: Temperatura

tmax: Tiempo en el que se alcanzó la temperatura máxima.

tf: Tiempo final

13.5.3. Área bajo la curva térmica

Según Mason, I. G., & Milke, M.W. (2005) área bajo la curva térmica es el parámetro que se determina mediante el método de los trapecios, el cual aproxima la integral de la temperatura en el tiempo y representa la energía térmica acumulada. Como resultado su aplicación para comparar la variación de C/N permite obtener una medida integrada de la actividad microbiana a lo largo del tiempo

Formula:

$$\mathcal{AUC} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n-1}} \left(\frac{\mathcal{T}i + \mathcal{T}i + 1}{2}\right) * (ti + 1 - ti)$$

$\sum_{i=1}^{n-1}$: Suma el área de todos los trapecios desde el primer punto (i =1) hasta el penúltimo punto (n-1)

$\frac{\mathcal{T}i + \mathcal{T}i+1}{2}$: Es la altura promedio de cada trapecio. Representa el promedio de la variable media (eje Y) entre dos puntos consecutivos

$(ti + 1 - ti)$: Es la base de cada trapecio. Representa el intervalo de tiempo entre dos mediciones consecutivas

13.5.4. Tiempo de permanencia termofílica

El tiempo de permanencia termofílica se define como el periodo acumulado durante el cual la temperatura del compostaje se mantiene igual o superior a un umbral crítico generalmente de 45º o 55º que es considerado una medida que cumple con las normativas de calidad del compostaje ya

que la mayoría de los microorganismos, patógenos y semillas de malezas son eliminados en esa fase. (Bernal et al., 2009; Haug, 1993)

Formula:

$$TPT = \sum \triangle t \;\; cuano\, T \;\geq 45° C$$

$\triangle \boldsymbol{t} =$ Representa en intervalo de tiempo específico en la cual se cumplen las condiciones

13.5.5. Temperatura máxima

La temperatura máxima alcanzada refleja la intensidad del proceso y la eficiencia del aislamiento térmico del sistema. En el compostaje se estableció una temperatura máxima óptima en rango de 55ºC y 65ºC por encima de cuál actividad microbiana puede verse inhibida de la desnaturalización de enzimas mientras que por debajo del 45° la higienización puede ser incompleta (Finstein y Morris, 1975).

Formula:

$$T_{max} = \max(T_i)$$

13.5.6. Tiempo para alcanzar Tmax

El tiempo requerido para alcanzar la temperatura máxima es un indicador que se obtiene a partir del tiempo correspondiente a la temperatura máxima reflejando la velocidad con la que la actividad microbiana responde a la biomasa y establece la fase termofílica (Díaz et al., 2003).

Formula:

$$t_{Tmax} = t\,(T_{max})$$

13.5.7. Cinética de primer orden

Según Eilerten, I., Schnell, S., & Walcher, S. (2024) la cinética de primer orden es el modelo utilizado para describir la degradación de la materia orgánica durante el compostaje. En este modelo la velocidad de reacción es proporcional a la concentración de biomasa disponible, se expresa mediante una ecuación exponencial o su forma linealizada logarítmica. La aplicación de

este modelo permite estimar el tiempo necesario para alcanzar un grado de estabilización deseado y es la base de muchos modelos matemáticos de compostaje.

Formula:

$$T\ (t) = T_{\infty} + (\ T_0 - \ T_{\infty})e^{-kt}$$

$\boldsymbol{T_{\infty}}$**:** Es la temperatura del ambiente la cual se asume constante

13.5.8. Cinética de Newton calentamiento

La ley de Newton de calentamiento es un modelo fenomenológico que describe como la temperatura del compostaje aumenta exponencialmente hacia una temperatura ambiente. Este modelo derivado de la ley de enfriamiento de Newton corresponde a la velocidad de cambio de la temperatura proporcional a la diferencia entre la temperatura del sistema y la temperatura de equilibrio siendo la constante de calentamiento el parámetro que caracteriza la eficiencia del intercambio de calor. La ley de Newton se ha utilizado para modelar el comportamiento térmico de pilas de compostaje especialmente en sistemas estáticos con aireación pasiva donde la transferencia de calor por convección natural es dominante (Bari et al., 2000).

Formula:

$$T(t) = \ T_a * (T_a - \ T_0)e^{-kt}$$

Ta: Es la temperatura ambiente

T0: La diferencia de temperatura inicial entre el objeto y el ambiente

13.5.9. Cinética de Newton enfriamiento

La ley de Newton de enfriamiento en su formulación aplicada al compostaje describe la disminución exponencial de la temperatura durante la fase de maduración, cuando la actividad microbiana ha disminuido considerablemente y el sistema se aproxima a la temperatura ambiente. Este modelo se caracteriza por la eficiencia de la disipación de calor y para determinar el tiempo

necesario para que el compost alcance una temperatura que permita su manipulación y aplicación al suelo (Wibowo et al., 2023).

Formula:

$$T(t) = T_a * (T_0 - T_a)e^{-kt}$$

13.5.10. Energía acumulada

Según Valverde Orozco (2024) la energía acumulada es el parámetro que cuantifica la cantidad total de calor generado durante el proceso de compostaje. Esta ecuación proporciona una medida absoluta de la energía liberada,

Formula:

$$Q = mc \triangle T$$

Q= Representa la energía térmica absorbida o liberada

mc= Es la masa de la sustancia se mide en kg o gr.

$\triangle \boldsymbol{T} =$ La variación de la temperatura es el cambio experimental del cuerpo

13.6. Muestreo

Previo al análisis se procedió a la toma de muestras del compost madurado. Dicho proceso se llevó a cabo mediante un muestreo de tipo compuesto, para el cual se extrajeron porciones desde distintas alturas y laterales de la pila, siguiendo las directrices estándar para la recolección de muestras representativas en campo (TMECC,2002). Acto seguido, dichas porciones fueron reunidas en bolsas selladas, con el propósito de obtener una representación del material total (Kizza et al., 2023)

13.7. Preparación de la muestra

Una vez reunida la submuestra, se procedió a la homogenización mecánica de la misma, seguida de un secado parcial a temperatura ambiente, este redujo las actividades enzimáticas del compost (Wallenius, 2010) Debido al acondicionamiento se logró estandarizar las condiciones iniciales para los ensayos de laboratorio, reduciendo así la variabilidad de la muestra.

13.8. Determinación de madurez

La madurez del compostaje describe si el material ya es apto para uso agrícola y está estrechamente ligada a fitotoxicidad, unificación y estabilización de la materia orgánica pero la evidencia coincide en que ningún indicador aislado sirve para todos los compost (Kong, 2024). La literatura revisada y experimental indica que la determinación más confiable usa una combinación de pruebas físicas químicas y biológicas, con umbrales que cambian según materia prima, proceso y uso final (Chang, 2023)

14. Tipos de investigación

14.1. Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica se basó en la búsqueda, recopilación, organización, análisis crítico e interpretación de información contenida en documentos escritos, audiovisuales y electrónicos, con el propósito de fundamentar teóricamente la investigación.

14.2. Investigación de campo

Se define como aquello que se realiza en el entorno donde suceden fenómenos que se desean estudiar, basándose en la observación directa. La investigación de campo consistió en la recolección y análisis del estiércol del cerdo criollo bajo la dieta suplementaria, este tipo de estudio permitió obtener datos reales proporcionando una base científica para proponer medidas de mitigación.

14.3. Investigación científica

El presente proyecto de investigación se enmarco dentro de la investigación científica aplicada, para lo cual se aplicó modelos cinéticos para determinar el comportamiento del compostaje en las diferentes fases del proceso. El análisis demostró que el proceso del compostaje cumplido con ciertos parámetros los cuales fueron acertados con la aplicación de modelos cinéticos.

15. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

15.1. Composición nutricional de la dieta.

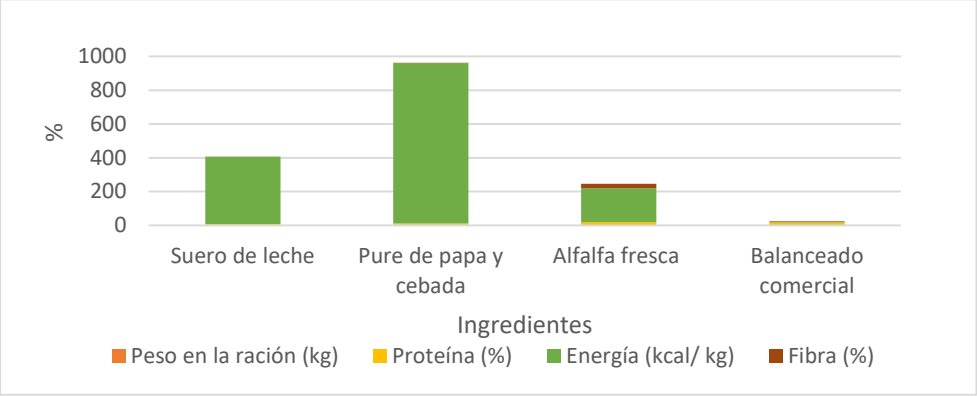
Tabla 3. Composición nutricional de la dieta suplementaria

Ingrediente	Peso en la ración (kg)	Proteína (%)	Energía (kcal/ kg)	Fibra (%)

Suero de leche	3,94	3,5	400	0,0
Pure de papa y cebada	2,30	8,2	950	2,1
Alfalfa fresca	0,33	18,0	200	28,0
Balanceado comercial	0,43	16,0	2,800	5,5
Total	7,00	9,14	762	3.1

Elaborado por: Tenenuela, 2026

Figura 1. Dieta Suplementaria



Interpretación: En la tabla 4 se observa la composición nutricional de la dieta suplementaria formulada a partir de ingredientes locales, siendo el suero de leche represento el 56,3% del peso total con un aporte proteico de 35% y energético de 400 kcal/kg, su función principal no es nutricional sino una fuente de energía de rápida fermentación a partir de la lactosa. El pure de papa y cebada con el 32,9 de la ración aportó mayor energía por el contenido del almidón. En el caso de la alfalfa fresca esta presento una menor cantidad de 4,7% en la ración, pero con el mayor contenido proteico de 18% esto ya que su contenido de fibra es de 28%. El balanceado comercial presentó el 6,1% del peso total pero este ingrediente era el de mayor densidad nutricional de 2 800 kcal/kg y 16% de proteína esto para corregir deficiencias que el insumo local no lograba cubrir.

Esto indica que la combinación de ingredientes alcanzó un 9,14% de proteína bruta y 762 kcal/kg, esto busca equilibrar la energía, proteína y fibra para cubrir las necesidades nutricionales.

En la figura 1 se observa que el pure de papa y la cebada es el ingrediente que más aporta energía dentro de la dieta. El suero contribuye energía, pero en menor proporción que el pure, la alfalfa

aporta en mayor cantidad la fibra y el balanceado presenta valores bajos en comparación con los demás ingredientes.

15.1.1. Registro semanal de producción de estiércol

Tabla 4. Registro del estiércol

Día	Cerdo 1 (kg)	Cerdo 2 (kg)	Cerdo 3 (kg)	Cerdo 4 (kg)	Total, diario (mañana + tarde) (kg)
1	0,23	0,24	0,25	0,25	0,97
2	0,25	0,22	0,23	0,24	0,94
3	0,28	0,25	0,25	0,27	1,05
4	0,25	0,25	0,26	0,26	1,02
5	0,23	0,21	0,22	0,24	0,9
6	0,27	0,24	0,23	0,28	1,02
7	0,21	0,28	0,24	0,24	0,97
8	0,32	0,34	0,29	0,33	1,28
9	0,29	0,33	0,32	0,35	1,29
10	0,3	0,32	0,35	0,33	1,3
11	0,29	0,29	0,29	0,31	1,18
12	0,28	0,3	0,28	0,26	1,12
13	0,35	0,31	0,36	0,38	1,4
14	0,38	0,35	0,36	0,37	1,46
15	0,28	0,32	0,32	0,31	1,23

Elaborado por: Tenenuela, 2026

Tabla 5. Registro del consumo voluntario

Día	Cerdo N°	Peso corporal (kg)	Cantidad ofrecida (kg)	Cantidad de rechazo (kg)	Consumo real voluntario (kg)
1	1	9,61	1,75	0,41	1,34
	2	10,3	1,75	0,3	1,45
	3	9,83	1,75	0,41	1,34
	4	10,47	1,75	0,34	1,41
2	1	9,71	1,75	0,35	1,4
	2	10,41	1,75	0,3	1,45
	3	9,99	1,75	0,39	1,36
	4	10,6	1,75	0,28	1,47
3	1	9,89	1,75	0,32	1,43
	2	10,59	1,75	0,25	1,5
	3	10,13	1,75	0,36	1,39
	4	10,75	1,75	0,27	1,48
4	1	10,04	1,75	0,29	1,46
	2	10,75	1,75	0,21	1,54
	3	10,34	1,75	0,31	1,44
	4	10,92	1,75	0,24	1,51
5	1	10,24	1,75	0,27	1,48

	2	10,81	1,75	0,19	1,56
	3	10,45	1,75	0,26	1,49
	4	11,03	1,75	0,24	1,51
6	1	10,39	1,75	0,24	1,51
	2	11,03	1,75	0,19	1,56
	3	10,63	1,75	0,25	1,5
	4	11,16	1,75	0,22	1,53
7	1	10,57	1,75	0,19	1,56
	2	11,16	1,75	0,15	1,6
	3	10,82	1,75	0,25	1,5
	4	11,28	1,75	0,17	1,58
8	1	10,64	1,75	0,16	1,59
	2	11,26	1,75	0,15	1,6
	3	10,97	1,75	0,21	1,54
	4	11,42	1,75	0,16	1,59
9	1	10,83	1,75	0,16	1,59
	2	11,39	1,75	0,15	1,6
	3	11,16	1,75	0,21	1,54
	4	11,62	1,75	0,13	1,62
10	1	10,95	1,75	0,14	1,61
	2	11,61	1,75	0,12	1,63
	3	11,29	1,75	0,19	1,56
	4	11,73	1,75	0,15	1,6
11	1	11,12	1,75	0,12	1,63
	2	11,68	1,75	0,1	1,65
	3	11,47	1,75	0,13	1,62
	4	11,86	1,75	0,14	1,61
12	1	11,31	1,75	0,15	1,6
	2	11,8	1,75	0,12	1,63
	3	11,57	1,75	0,15	1,6
	4	11,95	1,75	0,1	1,65
13	1	11,41	1,75	0,13	1,62
	2	11,94	1,75	0,09	1,66
	3	11,75	1,75	0,13	1,62
	4	12,14	1,75	0,11	1,64
14	1	11,58	1,75	0,09	1,66
	2	12,15	1,75	0,06	1,69
	3	11,92	1,75	0,11	1,64
	4	12,22	1,75	0,09	1,66
15	1	11,78	1,75	0,1	1,65
	2	12,27	1,75	0,05	1,7
	3	12,07	1,75	0,09	1,66
	4	12,38	1,75	0,06	1,69

Elaborado por: Tenenuela, 2026

Interpretación: En la tabla 5 se observa que en los primeros días la cantidad del estiércol recogido fue más baja y desde el día 8 en adelante empezó a subir esto porque los cerdos empezaron aceptar la dieta como una nueva comida y empezaron a comer más mientras ganaban peso hasta el dia 15.

En la tabla 6 se observa que al inicio los cuatro cerdos dejaban bastante comida sin terminar esto ya que los animales se estaban adaptando al cambio de dieta y es por eso que en los primeros días los cerdos necesitaban un tiempo para acostumbrarse a comerla.

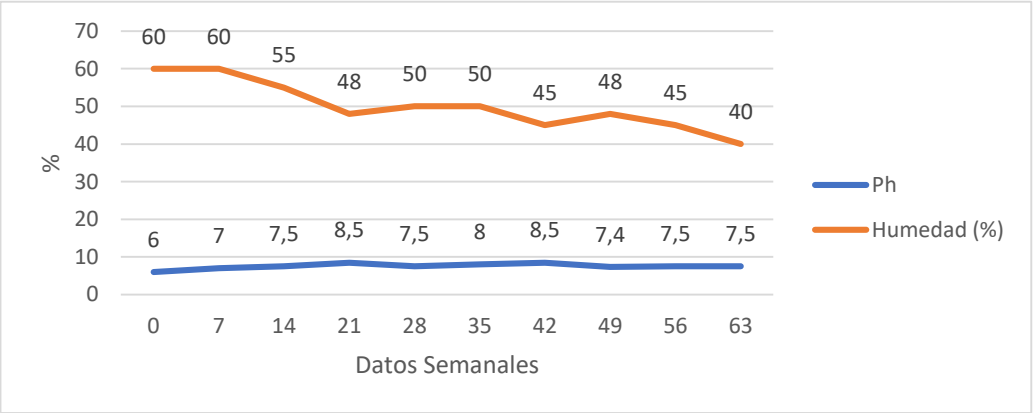
Al pasar los días fueron dejando cada vez menos comida hasta llegar a terminarla por completo al final del estudio mostrando que la dieta fue aceptada, en el caso de la ganancia de peso la dieta suplementaria cumplió con alimentar y nutrir a los cerdos ya que se observó que al inicio del estudio los cerdos pesaban 10 kg y al final superaban los 12 kg, esto ya que los cerdos comían más y con mayor capacidad para procesar el alimento también eliminaban una mayor cantidad de desechos por eso mientras el peso fue subiendo también se recogió más estiércol.

Tabla 6. Registro del proceso de compostaje.

Día	Fecha	pH	Humedad (%)	Temperatura (°C)
0	14/4/2026	6	60	35
7	21/4/2026	7	60	24
14	28/4/2026	7,5	55	26
21	5/5/2026	8,5	48	31
28	12/5/2026	7,5	50	58
35	19/5/2026	8	50	54
42	26/5/2026	8,5	45	42
49	2/6/2026	7,4	48	34
56	9/6/2026	7,5	45	25
63	16/6/2026	7,5	40	22

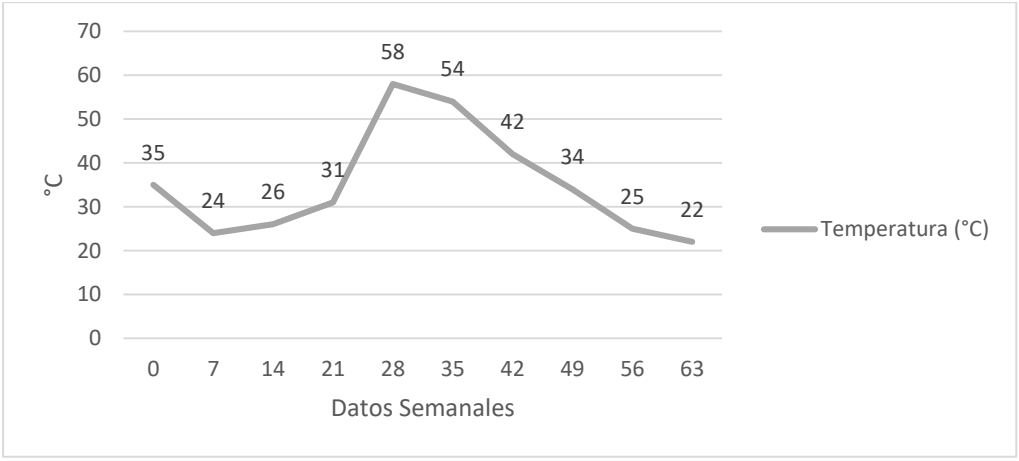
Elaborado por: (Tenenuela, 2026)

Figura 2. Curva térmica pH - Humedad



Elaborado por: Tenenuela, 2026

Figura 3. Curva térmica Temperatura



Elaborado por: Tenenuela, 2026

Interpretación : En la tabla 7 se observa el registro del estiércol durante los 63 días, donde el pH se mantuvo relativamente estable, iniciando en 6 y subiendo hasta llegar a 8,5, este comportamiento se relaciona con la progresión de la actividad microbiana durante los primeros días predominó la degradación de compuestos de orgánicos simples como los azúcares y almidones lo que generó ácidos orgánicos responsables del pH acido inicial, posteriormente los microorganismos comenzaron a metabolizar las proteínas y compuestos nitrogenados presentes en el sustrato dónde se liberó amoniaco, este carácter alcalino explica el ascenso del pH hacia valores básicos observados entre los días entre los dias 14 y 42 . La humedad muestra una disminución progresiva pasando de 60% al inicio hasta 40% al final, lo cual indica que en el proceso el compostaje fue perdiendo agua ya que la evaporación acelerada por el calor metabólico generado

durante la fase termofílica conlleva al consumo de agua como medio necesario para reacciones bioquímicas de degradación llevadas a cabo por los microorganismos. La temperatura presenta variación con un pico de 58 °C en el día 28 lo que evidencia el ingreso a la fase termofílica caracterizada por la máxima actividad de microorganismos capaces de degradar grasas, proteínas y carbohidratos además de eliminar patógenos y semillas de malezas presentes en el material inicial. Posteriormente la temperatura descendió hasta 22 °C, indicando el ingreso del compost a su fase de maduración en la cual los compuestos orgánicos residuales se transforman en sustancias húmicas estables que aportan valor agronómico al producto final.

En la figura 2 se observa que el pH se mantiene estable a lo largo del proceso. En el caso de la humedad representada por la línea naranja se observa como la humedad fue perdiendo agua gradualmente. En la figura 3 se observa que la temperatura alcanzo un pico de temperatura que coincide con la etapa donde el material se descompone. Estas graficas permiten visualizar como el proceso paso de una fase inicial activa a una fase final más fría y estable.

15.1.2. Velocidad de calentamiento

Tabla 7. Velocidad del calentamiento

Días	Ti (°C)	Tf (°C)	Velocidad de calentamiento °C/día
0-7	35	24	-1,57
7-14	24	26	0,29
14-21	26	31	0,71
21-28	31	58	3,86
28-35	58	54	-0,57

Elaborado por: Tenenuela, 2026

Interpretación: En la tabla 8 se observa la velocidad de calentamiento durante el proceso de las primeras cinco semanas del material. Se registra una disminución de temperatura entre los días 0 a 7 con una velocidad negativa de -1,57 °C/día, lo que indica que el material se enfriaba en esta etapa inicial. Luego entre los días 7 a 21 el calentamiento fue leve mostrando que el proceso fue activándose progresivamente. En cambio, entre los días 21 a 28 se evidencio una fase más intensa de actividad microbiana. Finalmente, entre los días 28 a 35 se presentó un descenso de temperatura con una velocidad de -0,57 °C/día indicando que el compostaje empezó a estabilizarse después del pico de mayor actividad.

15.1.3. Velocidad de enfriamiento

Tabla 8. Resultados obtenidos del proceso de enfriamiento

Días	Ti (°C)	Tf (°C)	Velocidad °C/día
28-35	58	54	0,57
35-42	54	42	1,71
42-49	42	34	1,14
49-56	34	25	1,29
56-63	25	22	0.43

Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 9 se observa el proceso de enfriamiento del material entre los días 28 a 63, donde la temperatura desciende gradualmente desde 58 °C hasta 22°C. La velocidad de enfriamiento se presentó entre los días 35 a 42 con 1,71 °C/día indicando que en esta etapa el material perdió calor de manera rápida tras el pico máximo de temperatura. Finalmente, entre los días 56 a 63 la velocidad de enfriamiento disminuyo a 0,43 °C/día indicando que el material se fue acercando a una temperatura ambiente.

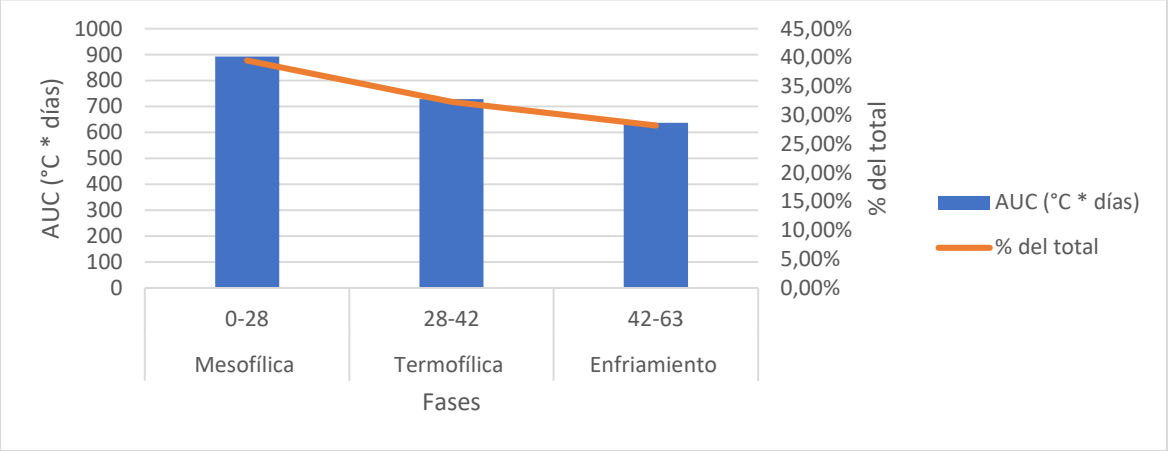
15.1.4. Área bajo la curva térmica

Tabla 9. AUC por fase

Fase	Días	AUC (°C * días)	% del total
Mesofílica	0-28	892,5	39,5%
Termofílica	28-42	728,0	32,3%
Enfriamiento	42-63	637,0	28,2%
TOTAL		2258,0	100%

Elaborado por: Tenenuela,2026

Figura 4. AUC



Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 10 se observa el área bajo la curva en cada frase del proceso, la fase mesofílica presento un aporte de 39,5% indicando que en esta etapa inicial se acumula la mayor cantidad de calor durante más tiempo representando el período de adaptación y colonización de los microorganismos mesófilos encargados de iniciar la degradación de los compuestos orgánicos más simples de manera sostenida en el tiempo. La fase termofílica representa un 32,3%, lo cual atribuye a la elevada intensidad térmica alcanzada durante este período con un pico de 58ºC que compensó su corta duración este comportamiento se relaciona a la máxima actividad microbiana. Finalmente, la fase de enfriamiento aporta el 28,2% confirmando la progresiva disminución de la actividad microbiana conforme se agotó el sustrato dando paso a la estabilidad del material.

En la figura 4 se observa que la fase mesofílica presenta un valor mas alto, seguida de la fase termofílica y luego de la fase de enfriamiento, la línea de tendencia representa una tendencia decreciente, esta figura permite visualizar como se distribuye el calor acumulado a lo largo de las fases del proceso de compostaje.

15.1.5. Tiempo de permanencia termofílica

Tabla 10. Análisis de temperaturas

Dia	Temperatura	>45 °C	>55°C
0	35 °C	No	No
7	24 °C	No	No

14	26 °C	No	No
21	31 °C	No	No
28	58 °C	Si	Si
35	54 °C	Si	No
42	42 °C	No	No
49	34 °C	No	No
56	25 °C	No	No
63	22 °C	No	No

Elaborado por: Tenenuela, 2026

En la tabla 11 se observa como la temperatura máxima fue de 58 °C y el compost supero los 55°C satisfaciendo los estándares internacionales de bioseguridad para el uso de abonos orgánicos en cultivos alimenticios. Las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2018).

15.1.6. Temperatura máxima

Tabla 11. Tmax y tiempo para alcanza Tmax

Parámetro	Resultado
Temperatura máxima	58 °C
Tiempo para alcanzar Tmax	28 días

Elaborado por: Tenenuela,2026

En la tabla 12 se mostró como el compostaje alcanzo la temperatura máxima de 58 ºC, con un pico máximo a los 28 días indicando que el proceso fue lento.

15.1.7. Cinética de primer orden

Tabla 12. Fase de enfriamiento, días 35-63

Dia (t)	Humedad real (%)	Humedad calculada (%)
35	50	50,0
42	45	47,24

49	48	44,64
56	45	42,18
63	40	39,85

Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 13 se observa la fase de enfriamiento del proceso 35 a 63, comparando la humedad real con la humedad calculada mediante este modelo. La humedad calculada se ajusta significativamente a la humedad real en la mayoría de días, lo que indica que el modelo utilizado representa de forma adecuada el comportamiento real del compost.

15.1.8. Cinética de newton de calentamiento

Tabla 13. Cinética de calentamiento

Dia	t (días)	Temperatura real (°C)	Temperatura Teórica Newton (°C)
21	0	31	31,0
25	4	NM	51,2
28	7	58	58,0

Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 14 se observa la comparación de la temperatura registrada y la temperatura calculada mediante el modelo teórico de Newton durante la fase de calentamiento. La fórmula permite predecir valores en momentos donde no se tomó una medición directa ajustándose muy bien al comportamiento real del calentamiento durante este periodo.

15.1.9. Cinética de Newton de enfriamiento

Tabla 14. Cinética de enfriamiento

Dia	t (días)	Temperatura real (°C)	Temperatura Teórica Newton (°C)
28	0	58	58.0
35	7	54	41.1

49	21	34	29,00
63	35	22	23,0

Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 15 se observa el comportamiento del compost en la fase de enfriamiento, comparando la temperatura real medida con la temperatura teórica calculada mediante el modelo de Newton. La fórmula permite calcular con exactitud el enfriamiento en las primeras etapas ajustándose al comportamiento real del compost en el que este se estabiliza con el tiempo.

15.1.10. Energía acumulada

Tabla 15. Energía acumulada

Días	Ti (°C)	Tf (°C)	$\triangle \boldsymbol{T}$ (°$\boldsymbol{C}$)
0-7	35	24	-11
7-21	24	31	+7
21-28	31	58	+27
28-63	58	22	-36

Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 16 se observa la variación de temperatura registrada en distintos periodos del proceso, reflejando cómo se comportó la energía acumulada a lo largo del tiempo. Entre los días 0 y 7 se presenta una disminución de 11°C, lo que indica una pérdida de calor en la etapa inicial del proceso. Posteriormente, entre los días 7 y 21, la temperatura aumenta en 7°C, mostrando el inicio de una fase de activación más estable. El cambio más importante se da entre los días 21 y 28, donde se registra el mayor incremento con +27°C, evidenciando el punto de mayor actividad y generación de calor dentro del proceso. Finalmente, entre los días 28 y 63 ocurre la disminución más marcada, con -36°C, lo que indica que el proceso entra en una fase de enfriamiento prolongado hasta estabilizarse por completo.

15.1.1. Resumen de los Parámetros cinéticos del proceso de compostaje

Tabla 16. Resumen

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad de calentamiento	Vc (max)	3,86	°C/día
Velocidad de enfriamiento	Venf	1.71	°C/día
Área bajo la curva	AUC	2258,0	°C/día
Tiempo termofílico	ttermofilo	7	Días
Temperatura máxima	Tmax	58	°C
Tiempo de Tmax	tTmax	28	Días
Cinética de primer orden	Hcalc	39,85	%
Cinética de Newton de calentamiento	TNewton, cal	51,2	°C
Cinética de Newton de Enfriamiento	TNewton, enf	23,0	°C
Energía acumulada	△Tmax	+27	°C

Elaborado por: Tenenuela, 2026

Interpretación: En la tabla 17 se observa un resumen de los parámetros térmicos más importantes del proceso de descomposición. La velocidad máxima de calentamiento de 3,86 °C/día, resultó considerablemente superior a la velocidad de enfriamiento de 1,71 °C/día, esta simetría explica la naturaleza de ambos procesos mientras que el calentamiento responde a una reacción metabólica. El enfriamiento depende principalmente de la perdida de energía hacia el ambiente y la disminución progresiva, esta diferencia se explica porque la fase de ascenso térmico fue más rápida que la de descenso. En el caso de la temperatura máxima alcanzada de 58º se mantuvo dentro de un periodo de 7 días lo que indica un consumo rápido en el estiércol. Al comparar la temperatura máxima real con la del modelo de calentamiento de Newton de 51,2 °C/día, se observa que la temperatura superó el valor teórico evidenciando que el crecimiento térmico no puede explicarse únicamente mediante un modelo, si existía una contribución activa de calor metabólico generado por la intensa actividad microbiana durante la fase termofílica. En el caso del modelo de enfriamiento de Newton 23.0 ºC, resultó muy cercana a la temperatura final registrada evidenciando la disminución del proceso de la actividad fermentativa activa. Finalmente, la cinética de primer orden de 39.85% indica que al dia 63 la vida de la materia ha alcanzado una

transformación parcial y continuará estabilizándose durante una etapa de maduración adicional. Estos parámetros cinéticos respaldan que el proceso de compostaje del abono orgánico del cerdo bajo dieta suplementaria evaluada en Salache siguió una dinámica térmica con un proceso de descomposición eficiente caracterizado por una fase termofílica intensa, seguida de un cambio hacia la estabilidad térmica y la maduración del material

15.2. Análisis descriptivo de los parámetros físico químico y biológico del compost elaborado con el estiércol del cerdo criollo.

La evaluación de la calidad del compost obtenido en la presente investigación se fundamentó con los parámetros establecidos por la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 221:1997 y las directrices del manual INIAP N° 89, los cuales definen los requisitos que debe cumplir el abono orgánico para ser considerado apto para su uso como fertilizante o enmienda agrícola.

15.2.1. Resultado de los análisis Físico Químico del compost.

Según el manual INIAP N° 89, los principales parámetros que se consideran son los contenidos totales y disponibles de N, P y K, % de materia orgánica, relación C/N, Ph y conductividad eléctrica.

Tabla 17. Muestra

Parámetros	Resultado	Limites	Unidad	Técnica analítica
Potencial de hidrogeno (pH)	9,28	6.5 - 8,5		Potenciométrico
Conductividad eléctrica (CE)	7,65	2,0 - 4,0	ms/cm	Potenciométrico
Nitrógeno total (N)	1,12	1,0 - 2,5	%	Digestion Kjedahl
Fosforo (P)	0,124	0,5 - 1,5	%	Colorimétrico
Potasio (K)	1,02	0,5 - 2,0	%	Absorción atómica
Materia orgánica (M.O)	28	25,0 - 50,0	%	Walkey y Black
Relación C: N	15	10 - 20		Calculo

Fuente: Thompson et al. (2019)

Elaborado por: Tenenuela,2026

Interpretación: En la tabla 18 se observa que el compost final presenta un potencial de hidrógeno registró un valor de 9,28 superando el límite máximo establecido de 8,5 por lo que se clasifica como alcalino. De igual manera la conductividad eléctrica alcanzó 7,65 ms/cm, indicando un contenido de sales solubles por encima de lo recomendado. El nitrógeno total de 1,12% se encuentra dentro del rango de referencia. El potasio de 1,02% y la materia orgánica de 28% también cumplen con los rangos establecidos. El único parámetro que se encuentra por debajo del límite mínimo establecido es el fósforo con 0,124%. La relación carbono nitrógeno de 15 se ubica dentro del intervalo esperado en una posición central del rango indicando que el compost esta en un punto de madurez favorable para su uso como abono.

15.2.2. Resultado del análisis microbiológico del compost

Según el manual del INIAP número 89 la evaluación microbiológica del compost constituye un efecto fundamental para garantizar su inocuidad y aptitud como fertilizante orgánico. En este sentido los parámetros considerados para determinar la calidad sanitaria del producto incluyen en la presencia de microorganismos patógenos como *Salmonella spp, Escherichia coli* y *Coliformes fecales,* los cuales deben encontrarse dentro de los límites establecidos por la norma vigente.

Tabla 18. Muestra

Parámetro	Resultado	Unidad	Técnica analítica
Escherichia coli	NEGATIVO	ufc/g	Recuento total en placa
Coliformes fecales	$4,1 * 10^4$	ufc/g	Recuento total en placa
Salmonella spp en 25 g	Ausencia	ufc/g	Recuento total en placa

Elaborado por: Tenenuela,2026**.**

Interpretación: En la tabla 19 se observa el análisis microbiológico, donde se evidencia la ausencia de Escherichia coli, lo que indica que el material no presenta contaminación por este microorganismo. En cuanto a los coliformes fecales, se registró un valor de $4,1 \times 10^4$ ufc/g, evidenciando la presencia de este grupo de microorganismos indicadores en el compost final. Por su parte, la Salmonella spp también mostró ausencia en la muestra analizada, lo cual es un resultado favorable ya que este microorganismo es de gran importancia sanitaria. El compost cumple con los criterios de inocuidad para los dos patógenos de mayor relevancia sanitaria evaluados mientras

que el resultado de coliformes fecales indica que el compost es apto para usos agrícolas con restricciones.

15.3. Prueba de normalidad

15.4. Análisis de correlación

Tabla 19. Correlación Sperman entre temperatura, humedad y pH durante el compostaje

Variables	Dia	pH	Humedad	Temperatura
Dia	1,00			
pH	0,35	1,00		
Humedad	-0,91	-0,55	1,00	
Temperatura	-0,18	0,26	0,20	1,00

Fuente: Infostat.

Tabla 20. Valores de significancia (p) de la correlación de Spearman entre el tiempo de compostaje, pH, humedad y temperatura

Par de variables	p (Spearman)	p-valor	¿Significativo (p<0,05)?
Dia – humedad	-0,91	0,00021	Si, muy significativo
Dia – pH	0,35	0,33	No
Dia – temperatura	-0,18	0,60	No
pH – humedad	-0,55	0,10	No
pH – temperatura	0,26	0,46	No
Humedad – temperatura	0,20	0,57	No

Elaborado por: Tenenuela,2026.

Interpretación: El análisis de correlación de Spearman muestra la relación del tiempo el pH, Humedad y la temperatura durante el proceso esta relación fue más evidente entre el tiempo y la humedad porque mientras más días pasaban la humedad bajaba en forma constante y es por eso que la relación fue estadísticamente confiable en el caso del pH este no mostró una relación tan clara con el tiempo porque no subió de forma continua sino que tuvo pequeños cambios antes de estabilizarse aunque eso no significó que su comportamiento no haya tenido sentido biológico. La temperatura no tuvo una relación fuerte con las demás variables, pero eso se debe a que primero subió y luego bajó formando una curva.

16. Discusión

La dieta suplementaria formulada compuesta por un 70% de materia seca proviene de insumos tradicionales y un 30% de balanceado comercial esta proporción respondió a los requerimientos energéticos y proteicos propios de cerdos post - destete cuya demanda de energía metabolizable se sitúa entre 2,800 y 3,100 kcal/kg (NRC, 2012), mientras que el balanceado comercial pese a representar solo el 30% concentro la mayor densidad de proteína y aminoácidos esenciales esta relación se refleja en la composición del estiércol resultante coincidiendo con lo señalado por Bernal et al. 2017 quién indica que la combinación de balanceado con insumos locales altera la composición nutricional de las excretas. Estudios sobre nutrición porcino como los de González et al. (2022) han evidenciado que la fuente de fibra incorporada en la dieta influye en la digestibilidad y en la retención del nitrógeno lo que respalda porque la alfalfa pese a su menor peso en la ración contribuyó al balance nutricional final. Asimismo, el aumento en la producción del estiércol conforme los animales ganaban peso responde a un principio fisiológico simple que a mayor peso corporal corresponde a una mayor capacidad gástrica y consumo total de alimento lo que incrementa la excreción de nutrientes no asimilados.

En el caso de la dinámica térmica el proceso alcanzó una temperatura máxima de 58 °C en el día 28 estando por encima de 55 °C durante 7 días consecutivos. Este evidenció la higienización térmica descrito por Haug (1993), que a temperaturas superiores a 55 ºC se producen la desnaturalización de proteínas, microorganismos mesófilos y patógenos. Esto se evidencio en el análisis microbiológico donde se confirmó la ausencia de Escherichia coli y salmonela spp. en el compost final determinando la inocuidad el producto. Este comportamiento fue respaldado mediante el cálculo del área bajo la curva por fase y los parámetros cinéticos obtenidos confirmando un patrón térmico coherente y no aleatorio

El comportamiento del pH fue en ascenso de 6,0 a un valor final de 9,28 este incremento se debió a un incremento de la actividad microbiana durante el compostaje en las primeras etapas, la degradación de compuestos orgánicos simples genera ácidos orgánicos que explican el pH inicial más bajo y conforme los microorganismos metabolizaban las proteínas y compuestos nitrogenados del estiércol, se liberaba amoniaco compuesto de naturaleza alcalina que desplaza el pH hacia valores básicos tal como fue demostrando experimentalmente por Sánchez, Monedero et al. (2001)

quiénes encontraron correlaciones estadísticas significativas entre las formas de nitrógeno liberadas y el aumento simultáneo del pH y la conductividad eléctrica durante el compostaje de distintos residuos orgánicos. Este patrón de acidificación inicial y de alcalinización se relación a lo descrito por Gajalakshmi & Abbasi (2008), quienes señalan que un pH final entre 6,5 y 8,0 es indicativo de madurez rango que en este estudio fue superado Es importante enfatizar que el cambio registrado no representa una variación menor sino una diferencia de aproximadamente mil veces en la concentración de iones de hidrógeno. Este proceso coincide con el pico de temperatura del día 28 y la aceleración en la pérdida de humedad que se observó y confirmó con la correlación de Speraman del día y la humedad evidenciando que estas tres variables son manifestaciones interconectadas de un mismo evento biológico.

El pH final de 9,28 supera el límite superior recomendado de 8,5 junto con la conductividad eléctrica de 7,65 dS/m que excede el rango de referencia de 4,4 a 5,5 dS/m, reportado en compost de estiércoles Bernal et al. (2009), tiene implicaciones agronómicas que debe explicarse con precisión. Según la literatura el pH alcalino indica el mecanismo donde el hierro, zinc, manganeso y cobre tienen a precipitarse y absorberse en formas químicas poco solubles, reduciendo drásticamente su disponibilidad para la planta y generando deficiencias inducidas en lugar de toxicidad por exceso (Marschner, 2012). El riesgo agronómico de este compost no es la toxicidad por metales sino la inducción de deficiencias de micronutrientes en el suelo receptor debido a la elevada alcalinidad aportada. A esto se suma el efecto de la conductividad eléctrica elevada valores tan altos de sales solubles incrementan la presión osmótica de la solución del suelo dificultando la absolución de agua por la raíz incluso cuando existe humedad disponible generando un estrés hídrico de origen fisiológico y no por la escasez real del agua (Munns, 2002).

Los resultados del nitrógeno total de 1,12%, potasio de 1,02%, materia orgánica de 28% y en la relación carbono nitrógeno 15:1, son coherentes con compost nutricionalmente maduro, asimismo la ausencia de Escherichia coli y Salmonela spp. respalda la inocuidad sanitaria, sin embargo, el pH y la conductividad eléctrica elevados indican que el producto no debería aplicarse de forma directa al suelo en el estado actual dado el riesgo de inducir deficiencias de micronutrientes y generar estrés osmótico radicular. Su aprovechamiento es viable si se implementan medidas correctivas como la mezcla con sustratos de menor pH o menor contenido salino, la dilución previa a la aplicación o la extensión del periodo de maduración para permitir una mayor estabilización de

las sales solubles, tal como ocurre naturalmente en procesos de compostaje más prolongados (Bernal et al., 2009). Estos resultados evidencian que el proceso de compostaje del estiércol de cerdo criollo bajo la dieta suplementaria evaluada fue técnicamente eficaz en términos de higienización y estabilización de la materia orgánica pero su aplicación práctica como fertilizante en Salache requiere un manejo correctivo previo que mitigue los riesgos asociados a su eleva alcalinidad y salinidad.

17. Impactos

Económico: Ofrece a los productores de Salache y zonas aledañas una alternativa de bajo costo frente a los fertilizantes sintéticos, revalorizando el estiércol de cerdo criollo —un subproducto actualmente desaprovechado o dispuesto sin tratamiento— como insumo agrícola, lo que representa un ahorro potencial en la economía familiar de los pequeños productores.

Ambiental: Promueve el manejo técnico del estiércol porcino mediante compostaje, reduciendo la lixiviación de nutrientes y la emisión de gases contaminantes propios de su disposición directa al suelo; esto es relevante en un contexto donde ya existe contaminación por arsénico y nitratos en fuentes hídricas de Cotopaxi, evitando sumar una carga contaminante adicional.

Social: Beneficia directamente a los productores de cerdo criollo de sistemas de traspatio del cantón Latacunga (el 61% de las hembras reproductoras del país pertenecen a este tipo de sistema, según INEC, 2022), brindándoles un marco técnico de referencia para el manejo de sus excretas, en una actividad clave para la seguridad alimentaria y economía local de Salache.

Técnico: Genera información inédita sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del compost de cerdo criollo bajo dieta suplementaria, mediante una metodología replicable de curvas térmicas y parámetros cinéticos, llenando un vacío de estudios señalado explícitamente en la justificación del proyecto.

18. Conclusiones

La caracterización del abono orgánico evaluada confirma que el compost si es un abono orgánico viable, ya que sus valores de nitrógeno de 1,12%, potasio de 1,02%, materia orgánica de 28% y la relación carbono nitrógeno de 15:1 están dentro de los rangos de referencia establecidos por el manual del INIAP N° 89. Sin embargo, el pH de 9,28 y su conductividad eléctrica de 7,65 dS/m

superan los límites recomendados y el abono no es apto para su aplicación directa. La aplicación no se recomienda en suelos alcalinos ni en cultivos sensibles a la clorosis férrica donde el riesgo agronómico se vería grave.

La dieta suplementaria formulada tuvo un efecto directo y medible sobre la composición nutricional del estiércol, el aporte energético y proteico se evidencio en el contenido de nitrógeno, potasio y materia orgánica en el compost final confirmando que la formulación fue nutricionalmente funcional. No obstante, con esta dieta la proteína disponible al degradarse en la fase termofílica genero una liberación de amoniaco que fue la causa principal del pH y la conductividad eléctrica elevados en el compost final.

Si el compost se aplica directamente al suelo sin un manejo correctivo la conductividad eléctrica incrementaría la presión osmótica de la solución del suelo, dificultando la absorción del agua por la raíz; con el pH alcalino se precipitarán los micronutrientes esenciales en formas químicas solubles induciendo deficiencias nutricionales en el cultivo. Se concluye que el abono si sirve pero no de forma directa su aptitud agronómica está condicionada a la aplicación de medidas correctivas previas.

19. Recomendaciones

Se recomienda el uso agrícola bajo un esquema de aplicación controlada se sugiere una dosis del 30-50% de compost mezclado con 50-70% de tierra o sustrato acido- neutro evitando su aplicación pura junto con un periodo de maduración extendido de 90 a 120 dias antes de su uso con el fin de estabilizar las sales solubles y la reducción del pH.

Dado que la dieta suplementaria evaluada demostró ser nutricionalmente funcional se recomienda su adopción por parte de pequeños productores porcinos de la zona como una alternativa accesible para mejorar el valor fertilizante de sus excretas, sugiriendo incorporar una fuente mineral adicional de fosforo en la formulación ya que este fue el macronutriente más bajo en el compost final. Considerando que la materia orgánica y la relación C:N son adecuadas para un compost maduro, se recomienda promover el uso de este abono.

20. Bibliografía

Scielo México (2017). *Evaluación de la degradación, consumo voluntario y comportamiento productivo de ovinos alimentados con saccharina y maíz*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282017000300431

Sarmiento-Franco LA, Segura-Correa JC. 2025. Digestibilidad de nutrientes en cerdos en crecimiento: un indicador para selección genética. Bioagrociencias 18 (2): 68-74 DOI: http://doi.org/10.56369/BAC.6394

Salazar Arce, T. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, *3*(2), 74–84. https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.680

(FAO). (2018). El estiércol porcino y su impacto ambiental.

Bejarano Rivera, C. I. (2026). El cerdo criollo, su aporte a la economía y desarrollo sostenible de las familias rurales, en la comunidad Salache – Cotopaxi.

Martínez, R., et al. (2018). Caracterización de las poblaciones de cerdos criollos en el Ecuador. Publicación del INIAP o artículo en revista científica.

INIAP. (2021). Informe sobre la situación de los recursos zoogenéticos en Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

García, A., & Ordaz, J. (2021). Nutrición y alimentación porcina: bases para la formulación de dietas. Editorial Universitaria.

Möller, K. & Müller, T. (2012). "Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review". Engineering in Life Sciences, 12(3), 242-257.)

Diacono, M., & Montemurro, F. (2022). "Compost from manures: effects on soil fertility and crop yield". En Sustainable Agriculture Reviews 50. Springer. Esta publicación más reciente confirma que el uso de compost derivado de estiércol incrementa el contenido de carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Haug, R. T. (2018). The Practical Handbook of Compost Engineering (1st ed.). CRC Press.

Enlace de referencia: https://www.perlego.com/book/1612732/the-practical-handbook-of-compost-engineering-pdf

Luna Gaona, A. (2, de julio de 2019). El proceso de compostaje. UMA México. https://umamexico.com/el-proceso-del-compostaje/

Insam, H., & de Bertoldi, M. (2020). "Microbiology of the composting process". En: Waste Management and the Environment (o en la obra de referencia "Microbiology of Composting" editada por Insam et al., Springer).

Gajalakshmi, S., & Abbasi, S. A. (2008). Solid waste management by composting: State of the art. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 38(5), 311-400..

González, A., Figueroa, V., Bentancur, O., & Astigarraga, L. (2022). Efecto de la fuente de fibra en la digestibilidad y la retención de nitrógeno en cerdos. Archivos de Zootecnia, *71*(274), 105-113.

Bernal, M. P., et al. (2009). "Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review". Bioresource Technology, 100(22), 5444-5453..

Díaz, M. J., Madejón, E., López, F., López, R., & Cabrera, F. (2003). Optimization of the regular composting process for agricultural wastes. Process Biochemistry, 38(9), 1329-1337. doi.org

Thompson, W. H., Leege, P. B., Millner, P. D., & Rynk, M. E. (Eds.). (2002). Test methods for the examination of composting and compost (TMECC). US Composting Council Research and Education Foundation; United States Department of Agriculture. https://www.compostingcouncil.org/page/TMECC

Romero Barco, A. G. (2022). Técnicas del compostaje para la elaboración de biofermentos de origen sólido. [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. Disponible en: http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9

Valverde Orozco, V. H. (2024). Optimización del compostaje de residuos agropecuarios para la recuperación de la energía calórica del proceso y empleo agrícola de los compost obtenidos [Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Repositorio institucional.