



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFFECTO DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE
EXCRETAS PORCINAS PARA LA PRODUCCIÓN
BIOFERTILIZANTES EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN
PORCINA EN COLONCHE, SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Agatha Rocio Salazar Alava

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFECTO DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE
EXCRETAS PORCINAS PARA LA PRODUCCIÓN
BIOFERTILIZANTES EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN
PORCINA EN COLONCHE, SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor/a: Agatha Salazar Alava

Tutor: Ing. Marlon Alexis Mena Montoya, Mgtr

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Agatha Rocio Salazar Alava** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11/08/2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD

**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MERCEDES SOLANDA
SANTISTEVAN MENDEZ**

Ing. Mercedes Santistevan Méndez,
PhD

**PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**Marlon Alexis Mena
Montoya**



Ing. Marlon Alexis Mena Montoya,
Mgtr

**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD

**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Washington Vidal, Mgtr
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme salud, fortaleza y sabiduría para superar cada desafío y permitirme culminar esta importante etapa de mi vida. Su guía y amor incondicional han sido el sustento que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles. Agradezco profundamente a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y adquirir los conocimientos y experiencias que fortalecieron mi desarrollo académico y personal. De igual manera, expreso mi reconocimiento al Ing. Alexis Mena Montoya por su orientación, apoyo y acompañamiento durante mi proceso de formación.

Mi más profundo agradecimiento a mi madre, hermanas, sobrinos y a mis mascotas, Tyson y Borbus, quienes con su cariño, compañía y apoyo incondicional fueron una fuente constante de motivación para seguir adelante. Asimismo, agradezco de corazón a mis amigos Liriano, Elvis, Keyla y Saenz, por su amistad, confianza, consejos y apoyo durante toda la etapa universitaria. Cada uno dejó una huella importante en mi vida y contribuyó a que este camino estuviera lleno de aprendizajes, alegrías y momentos inolvidables.

También agradezco a todos mis compañeros, amigos y personas allegadas que, de una u otra forma, formaron parte de este proceso y aportaron con su compañía, apoyo y buenos recuerdos que hicieron de esta experiencia una etapa única.

Agradezco a mi padre pese a todo porque lo tengo presente con amor, porque así pude aprender a ser fuerte sin él.

A todos quienes hicieron posible este logro, mi más sincero agradecimiento.

Agatha

DEDICATORIA

Dedico esto a Dios, ante todo, por darme salud y vida para llegar hasta aquí y cumplir un objetivo más en mi vida. Para mi bella Familia, por estar conmigo siempre y su amor incondicional. Para las personas que realmente puedo llamar amigos, por su apoyo, cariño y por estar presentes en cada momento que lo necesitaba. Para mí Tutor y maestro Ing Alexis Mena Montoya, por su enseñanza en lo académico y sus consejos para mi vida, y mis demás maestros en el transcurso de la carrera. Te lo dedico a ti mi ángel lindo, por todo lo que tú y yo sabemos, siempre serás importante para mí. Finalmente, y claro que sí, me lo dedico a mí, porque si pude y podré con todo lo que quiera y me proponga.

Agatha

RESUMEN

La polución del aire, el agua y el suelo, así como la pérdida del potencial de un residuo para producir biofertilizantes, hacen que el manejo inadecuado de las heces porcinas sea un problema medioambiental. En este contexto, el propósito de la investigación actual fue analizar el impacto de varios procedimientos para tratar las excretas porcinas con el fin de producir biofertilizantes en unidades productivas porcinas ubicadas en la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena. Se llevó a cabo una cuantificación de las excretas producidas por cerdos alimentados con desechos agrícolas. Se examinó el porcentaje y la duración del proceso de degradación de cuatro tratamientos diferentes (estiércol con suelo más microorganismos eficientes, vermicompost, compostaje y biol) y se compararon las propiedades organolépticas y fisicoquímicas de los biofertilizantes obtenidos. La investigación se realizó a través de un método experimental que incluía evaluaciones regulares del pH, la temperatura, el olor, la textura, la conductividad eléctrica y el porcentaje de degradación. Los hallazgos mostraron que el tratamiento con biol llegó al porcentaje más alto de degradación (82.5 %) en el tiempo más corto (30 días), mientras que los tratamientos de compostaje y compost enriquecido con microorganismos efectivos alcanzaron cifras aproximadas del 89 % y 88 % a los 60 días. Además, los biofertilizantes mostraron niveles de pH entre neutros y ligeramente ácidos, lo que es apropiado para el uso agrícola y la actividad microbiológica. Asimismo, poseen características organolépticas típicas de materiales estabilizados. Se concluye que las excretas porcinas son una materia prima apropiada para hacer biofertilizantes, y que el tratamiento con biol se destaca por su eficiencia en lo que respecta a la rapidez de degradación. Los otros tratamientos, por su parte, son opciones viables para utilizar los residuos pecuarios de manera sostenible y generar insumos agrícolas de calidad.

Palabras clave: biofertilizantes, compostaje, degradación, estiércol porcino, sostenibilidad.

ABSTRACT

Air, water, and soil pollution, together with the loss of the potential of pig waste to produce biofertilizers, make the improper management of swine manure an environmental concern. In this context, the aim of the present study was to analyze the effect of different treatment methods for swine manure to produce biofertilizers in pig production units located in the Colonche parish, Santa Elena Province. A quantification of the manure produced by pigs fed with agricultural residues was carried out. The percentage and duration of the degradation process were evaluated for four different treatments (manure mixed with soil and effective microorganisms, vermicompost, composting, and biol), and the organoleptic and physicochemical properties of the resulting biofertilizers were compared. The research was conducted using an experimental method that included regular evaluations of pH, temperature, odor, texture, electrical conductivity, and degradation percentage. The findings showed that the biol treatment achieved the highest degradation rate (82.5%) in the shortest period (30 days), whereas the composting and compost enriched with effective microorganisms treatments reached approximately 89% and 88% degradation, respectively, after 60 days. Furthermore, the biofertilizers exhibited pH values ranging from neutral to slightly acidic, which are suitable for agricultural use and microbial activity. They also presented organoleptic characteristics typical of stabilized organic materials. It is concluded that swine manure is an appropriate raw material for the production of biofertilizers, with the **biol** treatment standing out due to its efficiency in achieving rapid degradation. The other treatments also represent viable alternatives for the sustainable utilization of livestock waste and the production of high-quality agricultural inputs.

Keywords: Biofertilizers, Composting, Degradation, Swine manure, Sustainability.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**EFEECTO DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE EXCRETAS PORCINAS PARA LA PRODUCCIÓN BIOFERTILIZANTES EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN PORCINA EN COLONCHE, SANTA ELENA**” y elaborado por **Agatha Rocio Salazar Alava**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**AGATHA ROCIO
SALAZAR ALAVA**

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema de investigación	2
Objetivos de la Investigación.....	3
Objetivo General:.....	3
Objetivos Específicos:	3
Hipótesis	3
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Marco referencial	4
1.1.1 Excretas porcinas	4
1.1.2 Tratamiento de excretas	5
1.1.3 Composición de las excretas	5
1.1.4 Material orgánico	6
1.1.5 Uso del estiércol porcino como abono orgánico	6
1.1.6 Presencia de microorganismos benéficos y patógenos	6
1.1.7 Carga orgánica y demanda biológica de oxígeno (DBO)	7
1.1.8 Aporte de nutrientes al suelo y a los cultivos.....	7
1.1.9 Producción biofertilizante	9
1.1.10 Biol.....	9
1.1.11 Compostaje.....	12
1.1.12 Vermicompostaje	14
1.1.13 Microorganismos eficientes (EM).....	17
1.1.14 Estiércol enriquecido con suelo y microorganismos eficientes	20
1.1.15 Calidad de los biofertilizantes orgánicos	22
1.1.16 Uso de biofertilizantes en la agricultura sostenible.....	26
1.1.17 Economía circular	27
1.1.18 Valorización de residuos pecuarios.....	27
1.1.19 Indicadores internacionales de calidad de biofertilizantes	28
1.1.20 Investigaciones comparativas.....	29
2 MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1 Caracterización del área de estudio	32
2.2 Material biológico y condiciones experimentales	32

2.3	Materiales, equipos y reactivos.....	33
2.3.1	Materiales.....	33
2.3.2	Equipos.....	33
2.4	Tipo de investigación.....	33
2.5	Diseño de investigación	33
2.5.1	Diseño experimental.....	33
2.6	Detalle de tratamientos	34
2.7	Manejo del experimento	34
2.8	Variable a evaluar	36
2.8.1	Cantidad de excretas recolectadas.....	36
2.8.2	Producción de biofertilizantes.....	36
2.8.3	Tiempo de degradación	36
2.8.4	Calidad física del biofertilizante	37
2.8.5	Parámetros físicos a medir	39
2.9	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
3.1	Excretas generadas en cerdos alimentados con residuos agrícolas.....	41
3.2	Evaluación de los tiempos de degradación del estiércol porcino para la elaboración de biofertilizantes.	42
3.3	Temperatura y tiempo de degradación.....	44
3.4	Correlación entre pH, Conductividad eléctrica y tiempo de degradación	46
3.5	Comparación de las características químicas de los diferentes tratamientos..	49
3.6	Comparación de las características físicas de los diferentes tratamientos.....	51
4	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	55
4.1	Conclusiones.....	55
4.2	Recomendaciones	56
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
6	ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del estiércol fresco de cerdo según (Moreno y Cadillo, 2021)	8
Tabla 2. Indicadores de calidad del compost según (Tigrero, 2026).....	12
Tabla 3. Tratamientos	34
Tabla 4. Descriptores organolépticos.....	39
Tabla 5. Resultados de correlación del tiempo y porcentaje de degradación	43
Tabla 6. Características químicas de los tratamientos	51
Tabla 7. Características físicas de los tratamientos	53
Tabla 8 Cronograma de actividades para la ejecución del trabajo de integración curricular “Métodos de tratamiento de excretas porcinas para la producción biofertilizantes en unidades de producción porcina”, durante el PA-2025-2. ...	¡Error!

Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manejo de excretas de origen porcino en la comuna San Pedro parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena. Fuente: Orrala (2021).	5
Figura 2. Medidor de pH.....	22
Figura 3. Parroquia Colonche, lugar en donde se realizó la investigación, vía satelital.....	32
Gráfico 4. Resultados semanales de las excretas generadas en cerdos alimentados con residuos agrícolas.	42
Gráfico 5. Correlación de temperatura/degradación.....	46
Gráfico 6. Correlación entre pH, CE y tiempo de degradación.	49

ÍNDICE DE ANEXOS

FIGURA A1. Lombrices Eufenia fetida

FIGURA A2. Realizando la toma de peso de excrementos de los cerdos

FIGURA A3. Tratamiento de compostaje

FIGURA A4. Lugar experimental de todos los tratamientos

FIGURA A5. Tratamiento de bioles para la toma de la ce.

FIGURA A6. Toma de la conductividad eléctrica en compostaje

FIGURA A7. Conductividad eléctrica en biol

FIGURA A8. Textura de compostaje

FIGURA A9. Tratamientos de compostaje y compostaje con ME

FIGURA A10. Peso de compostaje con ME

FIGURA A11. Aplicación de ME en el biol.

FIGURA A12. Recipiente donde se realizó el biol.

FIGURA A13. Biol listo para la fermentación

FIGURA A14. Tomando el peso del excremento para el biol.

FIGURA A15. Aplicación de levadura para el biol

FIGURA A16. Textura de compostaje con microorganismos eficientes.

FIGURA A 17. Croquis del manejo experimental de todos los tratamientos realizado por la IA.

INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Certified en América Latina (2024), Brasil ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en la producción de carne de cerdo y se destaca como uno de los principales actores en el comercio internacional de proteínas animales. Este sector exige cada vez más que la producción se base en prácticas éticas de crianza y en un manejo responsable que considere las necesidades, el comportamiento y la nutrición adecuada de los cerdos. Además, en su hábitat natural, los cerdos consumen una dieta rica en fibra, lo que les ayuda a sentirse satisfechos. Sin embargo, al alimentarse en grupo, pueden volverse agresivos y enfrentarse entre sí por el alimento. Esta situación puede evitarse mediante el suministro individualizado o mediante sistemas que permitan que todos los animales coman al mismo tiempo.

En Ecuador, la producción porcina es una de las actividades pecuarias más relevantes en zonas rurales. No obstante, muchos pequeños productores carecen de tecnologías adecuadas para el tratamiento de excretas, lo que limita la sostenibilidad del sector (INEC, 2021). A su vez, la promoción de biofertilizantes representa una alternativa ecoeficiente que contribuye a la productividad agrícola sin comprometer el ambiente. Es importante resaltar que, del total de ganado porcino existente, el 59.4 % es de raza; del cual el 27.1 % se concentra en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y el 18.7 % en Imbabura (Moran, 2024).

Sin embargo, en la provincia de Santa Elena, especialmente en colonche. Orrala (2021) menciona que, el incremento de la producción de carne y la intensificación de las explotaciones a nivel mundial han hecho que los productores estén bajo presión para limitar el impacto ambiental que causa la producción animal. En el caso de la porcicultura los dos elementos que causan mayor contaminación ambiental son el nitrógeno y el fósforo.

El crecimiento de la producción porcina trae consigo una generación considerable de residuos orgánicos, principalmente estiércol y aguas residuales, cuyo manejo inadecuado puede generar impactos sobre el suelo, el agua y la atmósfera. Las excretas porcinas contienen cantidades importantes de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo, que pueden representar un riesgo ambiental cuando son liberados sin un tratamiento adecuado. La acumulación y disposición sin control de estos residuos puede favorecer procesos de eutrofización, emisiones de gases y alteraciones en la calidad del suelo (Qi *et al.* 2023)

Investigaciones recientes señalan que el manejo de estiércol porcino constituye uno de los principales desafíos ambientales asociados con la producción porcina. Las diferentes alternativas de tratamiento y disposición del estiércol porcino presentan impactos ambientales diferenciados y que la recuperación de nitrógeno y fósforo puede contribuir a reducir dichos impactos. Asimismo, una revisión sistemática hecha por Villamil *et al.* (2023). Destaca el compostaje como una alternativa para el manejo de residuos orgánicos de las explotaciones porcinas, señalando que el control de factores del proceso es necesario para obtener productos estables y con características fisicoquímicas y microbiológicas adecuadas.

Las excretas porcinas representan una fuente potencial de contaminación ambiental debido a su contenido de materia orgánica y nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo. Según Glibert (2020), entre 1990 y 2017 las emisiones de metano asociadas al manejo del estiércol porcino aumentaron 29 %, mientras que las de óxido nitroso se incrementaron 58 %. Por ello, el manejo y aprovechamiento adecuado de estos residuos resulta fundamental para reducir su impacto ambiental y favorecer la recuperación de nutrientes mediante alternativas como la producción de biofertilizantes.

Los abonos de origen animal, como el estiércol y el compost, desempeñan un papel crucial en la mejora de la salud del suelo dentro de los sistemas productivos agrícolas. Estos abonos incrementan la materia orgánica del suelo, mejoran su estructura, aumentan la capacidad de retención de agua y promueven la actividad microbiana beneficiosa. Además, contribuyen a la regeneración de los ecosistemas agrícolas, fomentando la biodiversidad y reduciendo la dependencia de insumos químicos (Vega, 2024).

Problema de investigación

La inadecuada disposición de las excretas porcinas en las unidades de producción genera problemas ambientales como contaminación del suelo, agua y emisión de malos olores. En muchas explotaciones porcinas dentro de la parroquia de Colonche, provincia de Santa Elena, estos residuos no reciben un tratamiento adecuado, desaprovechando su potencial para la producción de abonos orgánicos y biofertilizantes.

Ante esta situación, surge la necesidad de evaluar diferentes tratamientos de excretas porcinas, como biol y diferentes tipos de compostaje, con el fin de determinar alternativas sostenibles que permitan reducir el impacto ambiental y mejorar el aprovechamiento de estos residuos dentro de las unidades de producción porcina (Peñafiel, 2024).

La formulación del problema consiste en: ¿Pueden las excretas porcinas, mediante tratamientos como la elaboración de biol, compostaje, vermicompost y la aplicación de microorganismos eficientes, mejorar su aprovechamiento para la producción de biofertilizantes?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General:

Evaluar el efecto de los métodos de tratamiento de excretas porcinas en la producción de biofertilizantes en unidades de producción porcina en la parroquia de Colonche, provincia de Santa Elena

Objetivos Específicos:

- Calcular la cantidad de excretas generadas en cerdos alimentados con residuos agrícolas.
- Evaluar los tiempos de degradación del estiércol porcino para la elaboración de biofertilizantes.
- Comparar las características químicas de los biofertilizantes obtenidos mediante diferentes tratamientos de excretas porcinas, incluyendo compostaje, vermicompostaje y el uso de microorganismos eficientes.

Hipótesis

Al menos uno de los métodos de tratamiento de excretas será efectivo para la producción de biofertilizantes aplicados a cultivos agrícolas.

Los niveles de degradación permitirán obtener óptimas características para la producción de biofertilizantes aplicados a cultivos agrícolas.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Marco referencial

1.1.1 *Excretas porcinas*

Según Molina *et al.* (2020) aluden que, la industria porcícola genera un volumen de desechos que causa un impacto ambiental negativo, el cual recae principalmente en los cuerpos de agua, con incidencia también en el aire y el suelo. Estudios realizados en países con sistemas de alimentación porcina y climas similares a México, revelan que un cerdo de 100 kg excreta aproximadamente 6.17 kg de heces y orina por día. Asimismo, el autor señala que, las excretas porcinas tienen un contenido de materia orgánica biodegradable del 55% y de elementos contaminantes como patógenos, nitrógeno, fósforo, y minerales como cobre, zinc y arsénico.

El autor Bruno (2018), alude que, las excretas de los cerdos están compuestas aproximadamente por un 55% de materia fecal y un 45% de orina. Su contenido de humedad alcanza el 90%, mientras que la materia seca representa cerca del 10%. Su densidad es similar a la del agua, lo que las convierte en un fluido con peso comparable. Dentro de esta mezcla, se encuentran sólidos que pueden flotar, depositarse en el fondo o permanecer en suspensión. Según el sistema de manejo implementado, estas excretas pueden clasificarse como estiércoles o purines. Los estiércoles incluyen tanto las heces como la orina, además del material utilizado como cama para los animales, el cual ha pasado por un proceso de fermentación. Por otro lado, los purines se componen de excretas líquidas y sólidas mezcladas con agua proveniente de diversas fuentes, como bebederos, tareas de limpieza o precipitaciones, también pueden contener restos de alimento y materiales de cama.

El estiércol porcino constituye una de las principales fuentes de materia orgánica utilizadas en la elaboración de biofertilizantes, compost y vermicompost, debido a su elevado contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal. Además de aportar nutrientes, favorece la actividad microbiana del suelo, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y contribuye al reciclaje de residuos pecuarios, reduciendo el impacto ambiental asociado a su disposición inadecuada. Sin embargo, para garantizar un uso agronómico seguro y eficiente, es indispensable someterlo previamente a procesos de estabilización biológica, como el compostaje, el vermicompostaje o la digestión anaerobia, que disminuyen la carga de microorganismos

patógenos, reducen los olores y mejoran la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Peñañiel, 2021).

1.1.2 Tratamiento de excretas

El tratamiento de excretas porcinas se refiere al conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos aplicados para transformar los residuos fecales y urinarios generados por la actividad porcina en productos menos contaminantes y potencialmente aprovechables, como biofertilizantes o energía renovable (Granados *et al.*, 2022).

Según Martín (2021), menciona que, el sistema de manejo debe adaptarse al tipo de granja, la variación estacional en las características y cantidades de desechos producidos que en función del manejo de los cerdos incluyen además de heces y orina, restos de alimento y/o de pajas u otro material que se usa como cama. Desde el momento de diseñar una granja se toman decisiones sobre cada una de las cinco componentes de un sistema de manejo de residuos, estas son: Recolección (barrido, lavado, gravedad), almacenamiento temporal entre una fase y otra, tratamiento (que puede incluir varios pasos o procesos), transporte y uso final.

1.1.3 Composición de las excretas

El autor Orrala (2021) el amoníaco proviene del nitrógeno excretado principalmente en la orina 85%, en las heces 15%, y su tasa de volatilización depende de la relación existente entre los iones amonio y amoníaco la cual depende el pH de la excreta.

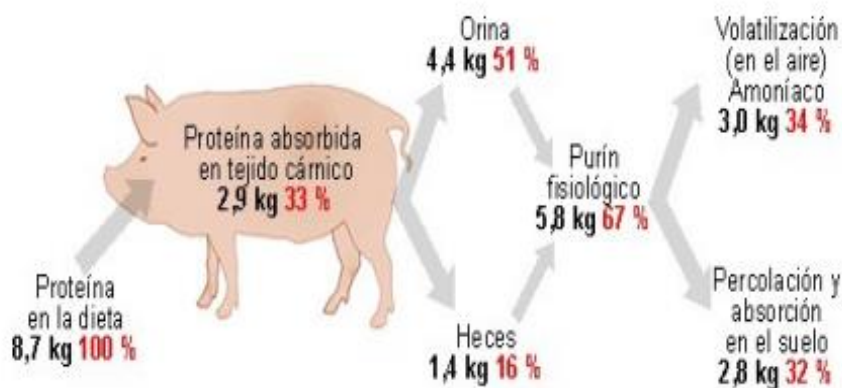


Figura 1. Manejo de excretas de origen porcino en la comuna San Pedro parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena. Fuente: Orrala (2021).

1.1.4 Material orgánico

De acuerdo con el autor ASEPORC (2020) existen algunos tipos de tratamiento que se pueden aplicar a los desechos orgánicos que a su vez se pueden combinar, a continuación, se explican algunos.

Biodigestores: Un biodigestor tiene la capacidad de descomponer materia orgánica de diversos tipos y a partir de estos generar biogás, el cual es un combustible renovable que puede producir electricidad y calor.

Compost: Este sistema es muy recomendable desde el punto de vista ambiental. Funciona mediante la instalación de un tren de tratamiento que comprende las siguientes fases:

Cárcamo receptor: Invariablemente se debe de contar con un cárcamo receptor con capacidad para la producción de mínimo 3 días.

Separador de sólidos: Se debe contar con un separador de sólidos, este es necesario por ser el primer paso en el tratamiento del agua residual.

Sin embargo, en investigaciones antes realizadas el método más utilizado es el enterramiento, para este fin se construye una fosa alargada y profunda del tamaño del brazo de la máquina excavadora, deberá estar protegida con una malla perimetral para resguardar de animales de rapiña, y colocar una cubierta para la lluvia (Solano, 2022).

1.1.5 Uso del estiércol porcino como abono orgánico

El estiércol porcino, de consistencia líquida, es la mezcla de heces, orina, agua de la limpieza de los corrales, más el alimento y agua que se desperdicia; tiene valor agronómico, ya que se puede usar como abono orgánico, para la producción de cultivos sin impactos ambientales significativos. Si no es manejado adecuadamente, puede impactar negativamente al medio ambiente, perjudicando, el medio hídrico, atmosférico y suelo (Ayala, 2018).

1.1.6 Presencia de microorganismos benéficos y patógenos

Rodriguez (2020) señala que, los microorganismos son capaces de desarrollarse y reproducirse en unas determinadas condiciones de vida (nivel de pH, agua, temperatura, oxígeno...). Se pueden diferenciar tres tipos:

- Los microorganismos beneficiosos que son inofensivos para el ser humano e incluso pueden ser favorables como pueden ser los que forman parte de la flora intestinal. Algunos alimentos que contienen estos organismos son el queso o los yogures.
- Los microorganismos alterantes modifican la apariencia y características del alimento, ya sea el olor, color, sabor, textura... haciendo inadecuado su consumo.
- Los microorganismos patógenos son más peligrosos debido a que estos no cambian las características organolépticas del alimento, pero sí que lo contaminan. Estos suponen un grave riesgo para la salud ya que son causantes de toxiinfecciones alimentarias. El hecho de que los alimentos no presenten ningún cambio visible hace muy difícil de detectar su presencia haciéndolos potencialmente más peligrosos. Algunos ejemplos de este tipo de patógenos son la listeria, el *E.coli* o la Salmonella.

1.1.7 Carga orgánica y demanda biológica de oxígeno (DBO)

Según Muñoz (2020), las excretas porcinas poseen una alta concentración de materia orgánica, compuesta por heces, orina y restos de alimento. Esta composición las convierte en residuos con una considerable carga contaminante si no se manejan correctamente. Un parámetro clave para evaluar este impacto es la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), que mide el oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica. En el caso de los cerdos, la DBO es elevada, lo cual puede reducir el oxígeno en fuentes hídricas, afectando la vida acuática. Por ello, es fundamental aplicar tratamientos que disminuyan dicha carga antes de su disposición o uso agrícola.

Además, La DBO indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica en un periodo de 5 días, a una temperatura constante de 20 °C. Se mide en miligramos de oxígeno disuelto por litro y es uno de los métodos más usados en el tratamiento de aguas residuales. La prueba se realiza comparando el oxígeno inicial y final en una muestra mantenida sin luz ni contacto con el aire (Gallo, 2018).

1.1.8 Aporte de nutrientes al suelo y a los cultivos.

Según Ayala (2018) , los abonos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos ha sido demostrada ampliamente. Las excretas animales son benéficas para los suelos debido a que los organismos del suelo descomponen la materia orgánica, lo que puede luego aumentar la capa arable, la aireación y la fertilidad, incrementar la capacidad de retención de agua y potencialmente reducir la erosión por viento

y agua. El estiércol porcino, como tal, puede ser usado como abono orgánico; aunque también hay la posibilidad de separarlo en su fracción líquida y sólida. La primera puede ser usar para el riego y la segunda como “guano” para fertilizar los campos de cultivo.

La composición del estiércol es muy compleja y depende de factores fisiológicos, ambientales y alimenticios, entre otros. Alguna de las características más importantes del estiércol fresco de cerdo se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del estiércol fresco de cerdo según (Moreno y Cadillo, 2021)

Características	Valor
Nitrógeno total	1.5 – 5.0 g/L
Fósforo	1.0 – 3.0 g/L
Potasio	1.0 – 3.0 g/L
Sólidos Totales	1.5 – 12
Sólidos Volátiles	0.5 – 9%
Demanda Química de O₂	10 – 200.0 g/L
Demanda Biológica de O₂	8.0 – 50.0 g/L
pH	6.5
Proteínas	11 g/L
Hemicelulosa	11.8 g/L
Celulosa	7.1 g/L
Lípidos	8.4 g/L
Almidón	0.9 g/L
Lignina	2.5 g/L

1.1.9 Producción biofertilizante

Según Cardozo *et al.* (2021) indican que, se definen como biofertilizantes a aquellos productos que contienen nutrientes junto con microorganismos vivos o latentes, que se agregan al suelo con el objeto de aumentar la disponibilidad y absorción de minerales por parte de las plantas.

A su vez, Segura (2021) menciona que los biofertilizantes son fertilizantes orgánicos que proporcionan a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo, al mismo tiempo mejoran la calidad del suelo y ayudan a conseguir un entorno microbiológico óptimo y natural. Además, el autor señala que, existen varios tipos de biofertilizantes, tales como:

- Extractos vegetales
- Lixiviados de fermentación
- Micorriza
- Trichoderma

De la misma manera, Muñoz (2019) expresa que, esta debe componer estiércol fresco (que no haya recibido luz solar), leche o suero, melaza o jugo de caña, ceniza de leña y agua. La adición de algunos minerales es opcional y se realiza de acuerdo con las necesidades de cada cultivo. En ese caso, puede aplicar los sulfatos o sales mineralizadas o sustituirlos por la ceniza o la harina de rocas molidas. Para cada ingrediente, el ingeniero agrónomo indicó las siguientes cantidades para 180 litros de biofertilizante, que deben ajustarse si no puede hacerlo en grandes cantidades:

- Agua: 180 litros (sin tratar) y 110 litros (no contaminada)
- Leche: 2 litros, o Suero: 4 litros
- Melaza: 2 litros, o jugo de caña: 4 litros
- Estiércol: 50 kilos
- Ceniza de leña: 3 a 5 kilos

1.1.10 Biol

El autor Carrera (2020) señala que, el Biol es un abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre nosotros, e ausencia de oxígeno. Es una especie de vida (bio),

muy fértil (fertilizante), rentables ecológica y económicamente. Contiene nutrientes que son asimilados fácilmente, por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes. La técnica empleada para obtener biol es a través de biodigestores”.

Varios estudios indican que el biol es un componente esencial de la agricultura sostenible y de la economía circular, ya que facilita la reutilización de desechos agrícolas y ganaderos, disminuyendo la contaminación ambiental relacionada con su manejo incorrecto. Asimismo, su elaboración apoya el uso eficiente de los residuos orgánicos, convirtiéndolos en insumos valiosos para la agricultura (Linares, 2026).

1.1.10.1 Proceso de elaboración

La elaboración del biol inicia con la recolección y preparación de materias primas orgánicas, tales como estiércol de bovinos, porcinos, aves o residuos vegetales. Estos materiales se mezclan con agua en proporciones adecuadas y se introducen en un biodigestor herméticamente cerrado. Posteriormente, se desarrolla un proceso de fermentación anaerobia donde actúan bacterias capaces de degradar la materia orgánica compleja (Linares, 2026).

Durante la fermentación se producen diferentes transformaciones bioquímicas. Los compuestos orgánicos complejos son convertidos progresivamente en sustancias más simples y disponibles para las plantas. El tiempo de fermentación puede variar entre 30 y 90 días dependiendo de factores como temperatura, pH, composición del sustrato y actividad microbiana (Bravo, 2019).

Una vez finalizado el proceso, se obtiene un efluente líquido denominado biol, que puede aplicarse directamente al suelo o mediante pulverización foliar, generalmente después de una dilución apropiada. El producto final contiene nutrientes minerales, materia orgánica soluble y microorganismos que favorecen el crecimiento vegetal y la actividad biológica del suelo (Ramírez, 2023).

1.1.10.2 Composición y propiedades

La composición química del biol depende de las materias primas utilizadas y de las condiciones de fermentación. Sin embargo, suele contener nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y otros oligoelementos esenciales para el desarrollo de las

plantas. También contiene compuestos orgánicos solubles que mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Bravo, 2019).

Un estudio de Ramírez (2023), informaron que el biol presentó valores de pH y conductividad eléctrica adecuados, además de concentraciones importantes de nitrógeno, fósforo y potasio, que son elementos básicos para el crecimiento de los cultivos. También se observó ausencia de coliformes fecales y totales, lo que indica suficiente calidad microbiológica del producto.

Entre sus propiedades más destacables se encuentran la mejora de la actividad microbiana del suelo, el aumento de la disponibilidad de nutrientes y la estimulación de los procesos fisiológicos de las plantas. Además, el contenido de compuestos bioactivos puede promover el desarrollo de las raíces y aumentar la eficiencia de la absorción de agua y nutrientes (Linares, 2026).

1.1.10.3 Beneficios agronómicos

El uso del biol en agricultura ayuda a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Su uso aumenta la actividad de los microorganismos benéficos, promueve la mineralización de nutrientes y ayuda a mantener una estructura más estable del suelo, que son las condiciones básicas para una producción agrícola sostenible (Sharma, 2023).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de biol puede estimular el crecimiento vegetativo, mejorar el desarrollo radicular y aumentar la productividad de diversos cultivos. Estos efectos están relacionados con el aporte de nutrientes disponibles y sustancias promotoras del crecimiento vegetal producidas durante la fermentación anaeróbica (Bravo, 2019).

Además, el biol es una alternativa respetuosa con el medio ambiente a los fertilizantes químicos convencionales. Su uso permite reciclar residuos orgánicos, reducir los costos de producción y reducir el impacto ambiental del uso excesivo de químicos agrícolas. Por ello, actualmente se considera una herramienta importante en los sistemas agrícolas agroecológicos y sostenibles (Sharma, 2023).

1.1.11 Compostaje

El compostaje es un proceso biológico aeróbico en el que los microorganismos descomponen los desechos orgánicos de plantas y animales en condiciones controladas de humedad, temperatura y oxígeno y los convierten en un producto estable llamado compost. Este proceso es una estrategia fundamental para el uso sustentable de los residuos orgánicos, permitiendo el reciclaje de nutrientes y reduciendo la cantidad de residuos depositados en los vertederos (Tigrero, 2026).

Tabla 2. Indicadores de calidad del compost según (Tigrero, 2026)

Indicador	Rango recomendado	Interpretación
pH	6.6 - 8	Favorece la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana.
Conductividad electrónica (dS/m)	< 4.0	Valores altos pueden generar problemas de salinidad.
Materia orgánica (%)	> 20	Indica buena estabilidad y aporte de carbono al suelo.
Nitrógeno total (%)	1.0 – 3.0	Refleja el potencial fertilizante del compost.
Fósforo (%)	0.3 – 1.5	Nutriente esencial para el desarrollo radicular.
Potasio (%)	0.5 – 2.0	Favorece la regulación hídrica y calidad de los cultivos.
Relación C:N	10:1 – 20: 1	Indica grado de madurez y estabilidad del compost
Temperatura	Similar a la ambiental	Evidencia finalización del proceso de compostaje
Olor	Tierra húmeda	Ausencia de procesos anaeróbicos.
Color	Marrón oscuro o negro	Característica típica del compost estabilizado.

Desde una perspectiva agroecológica, el compostaje es una herramienta clave para mejorar la fertilidad del suelo y promover sistemas de producción más sostenibles. Durante la conversión de la materia orgánica, los microorganismos convierten compuestos complejos en sustancias más simples y estables, creando un material rico en humus y nutrientes que puede incorporarse al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Huzir, 2026).

Actualmente, el compostaje se considera una tecnología importante en la economía circular, ya que permite la regeneración de residuos agrícolas, ganaderos, domésticos e industriales. Además de producir fertilizante orgánico de alta calidad, ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la eliminación inadecuada de residuos orgánicos y contribuye a la conservación de los recursos naturales (Tigrero, 2026).

1.1.11.1 Proceso de compostaje

El proceso de compostaje comienza con la recolección y mezcla de materiales orgánicos ricos en carbono, como hojas secas, paja y restos de plantas, con materiales ricos en nitrógeno, como estiércol y residuos de plantas frescas. Una vez que se forma una pila o una pila de abono, los microorganismos comienzan a descomponer la materia orgánica utilizando el oxígeno disponible y liberan calor como resultado de la actividad metabólica (Bernal, 2026).

La primera fase, llamada etapa mesófila, está dominada por microorganismos que trabajan a temperaturas moderadas y descomponen compuestos fácilmente degradables como azúcares y proteínas. Luego la temperatura aumenta hasta llegar a la fase termófila, donde se pueden registrar temperaturas superiores a 50 °C. Esta fase es importante porque promueve la rápida descomposición de la materia orgánica y ayuda a eliminar patógenos y semillas de malezas (Bernal, 2026).

Finalmente, el material entra en la fase de enfriamiento y maduración. En estas etapas disminuye la actividad microbiana intensiva, se estabiliza la materia orgánica y se forman compuestos de humus. El resultado es un abono maduro que puede incorporarse al suelo sin afectar negativamente a los cultivos ni al medio ambiente (Waqas, 2023).

1.1.11.2 Factores que influyen en el compostaje

La temperatura es uno de los factores más importantes en el compostaje, ya que regula la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica. La temperatura adecuada promueve la rápida descomposición de los desechos y la eliminación de organismos patógenos. Si la temperatura es demasiado baja o demasiado alta durante mucho tiempo, la eficiencia del proceso puede verse afectada (Huzir, 2026).

La humedad también es fundamental porque los microorganismos necesitan agua para realizar sus actividades metabólicas. Un contenido de humedad insuficiente limita el

crecimiento microbiano, mientras que el exceso de agua reduce la disponibilidad de oxígeno y puede crear condiciones anaeróbicas que producen malos olores y reducen la calidad del compost (Rosales, 2021).

Otros factores importantes son la aireación, la relación carbono/nitrógeno (C/N), el pH y el tamaño de las partículas residuales. Una aireación adecuada mantiene condiciones aeróbicas favorables para los microorganismos; A su vez, una proporción equilibrada entre carbono y nitrógeno optimiza la velocidad de descomposición. Además, el pH y el tamaño de las partículas afectan directamente la actividad biológica y la estabilidad final del compost (Awasthi, 2017).

1.1.11.3 Características del compost maduro

El compost maduro se caracteriza por una apariencia uniforme, un color marrón oscuro o negro y una textura suelta y granulada similar a la del suelo fértil. En esta etapa, los residuos originales ya no son fácilmente identificables, ya que durante el proceso de compostaje se alcanza un alto grado de descomposición (Huzir, 2026).

Otra característica importante es el agradable olor a suelo húmedo, resultado de la estabilización de la materia orgánica y la ausencia de procesos anaeróbicos. Además, la temperatura del compost maduro tiende a acercarse a la temperatura ambiente, lo que indica que la intensa actividad microbiana ha disminuido y el material se ha estabilizado (Waqas, 2023).

Desde el punto de vista agronómico, el compost maduro tiene una alta estabilidad biológica, suficiente concentración de materia orgánica y nutrientes y bajos niveles de sustancias fitotóxicas. Estas propiedades permiten un uso seguro en cultivos agrícolas, ayudando a mejorar la estructura del suelo, la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la actividad de microorganismos beneficiosos (Awasthi, 2017).

1.1.12 Vermicompostaje

En los últimos años, el vermicompostaje ha cobrado gran importancia en los sistemas de agricultura sostenible y economía circular, ya que es capaz de procesar residuos agrícolas, ganaderos, agroindustriales y domésticos. Además de reducir la contaminación ambiental, permite la producción de fertilizantes orgánicos de alta calidad que contribuyen al rendimiento de los cultivos y a la salud del suelo (Ratnasari, 2023).

El vermicompostaje es un proceso biotecnológico para descomponer y estabilizar residuos orgánicos, junto con lombrices y microorganismos. Durante este proceso, las lombrices consumen materia orgánica en descomposición y la convierten en un producto llamado vermicompost o humus de lombriz, que se caracteriza por una alta estabilidad biológica y riqueza en nutrientes disponibles para las plantas. Esta tecnología es considerada una de las alternativas más sostenibles para el manejo de residuos orgánicos y la producción de fertilizantes naturales (Ratnasari, 2023).

A diferencia del compostaje tradicional, el vermicompostaje se realiza a temperaturas moderadas y depende principalmente de la actividad alimentaria de las lombrices. Al pasar los desechos a través del sistema digestivo de estos organismos, la materia orgánica se descompone, se enriquece con microorganismos beneficiosos y se convierte en compuestos más estables y fácilmente asimilables por las plantas. El resultado es un producto con excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas para la mejora de terrenos agrícolas (Sivashankar, 2023).

1.1.12.1 Proceso de vermicompostaje

El proceso de vermicompostaje comienza con la selección y acondicionamiento de los residuos orgánicos para que sirvan de alimento a las lombrices. Entre los materiales más utilizados se encuentran el estiércol preestabilizado, los residuos de cultivos, los residuos de frutas y verduras, las hojas secas y otros desechos biodegradables. Habitualmente, estos materiales se someten a un precompostaje inicial para reducir las altas temperaturas y evitar condiciones nocivas para las lombrices (Katiyar, 2023).

Luego, los desechos acondicionados se colocan en lechos, bandejas o digestores que contienen las lombrices. Consumen constantemente materiales orgánicos y los convierten en excrementos conocidos como vermicast o humus de lombriz. Al mismo tiempo, los microorganismos del sustrato continúan descomponiendo compuestos orgánicos complejos, lo que contribuye a la estabilización del material y al enriquecimiento microbiano del producto final (Sivashankar, 2023).

Durante el proceso, es necesario mantener condiciones adecuadas de humedad, aireación, temperatura y pH para garantizar el bienestar de las lombrices y la eficiencia de la transformación biológica. Dependiendo del tipo de residuo y del sistema utilizado, el

vermicompostaje se puede realizar de dos a cuatro meses, obteniendo así un producto homogéneo, oscuro, sin olores desagradables y de alto valor agrotécnico (Katiyar, 2023).

1.1.12.2 Lombrices utilizadas

La utilizada en el sistema de vermicompostaje fue *Eisenia fetida*, comúnmente conocida como lombriz roja de California. Esta especie pertenece a un grupo de gusanos epígeos que viven de forma natural en capas superficiales ricas en materia orgánica. Su amplio uso está relacionado con su alta capacidad reproductiva, rápido crecimiento, resistencia a diversas condiciones ambientales y alta eficiencia en la transformación de residuos orgánicos (Enebe, 2023).

Otra utilizada es la *Eisenia andrei* es una de las especies de lombrices empleada en el vermicompostaje por su alta eficiencia en la transformación de residuos orgánicos en un abono estable y de excelente calidad. Esta especie presenta un rápido crecimiento, elevada tasa de reproducción y una gran capacidad para degradar materiales orgánicos como estiércoles, residuos agrícolas y desechos vegetales. Además, favorece la mineralización de nutrientes, incrementa la actividad microbiológica y mejora las propiedades físicas y químicas del vermicompost, obteniéndose un biofertilizante con mayor disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, adecuado para su aplicación en diferentes sistemas agrícolas (Ramos, 2022).

Diversos estudios han demostrado que *Eisenia fetida* es una de las especies más eficientes en el aprovechamiento de residuos agrícolas y ganaderos, por lo que se ha convertido en la lombriz de referencia para programas de lombricompostaje a nivel doméstico, agrícola e industrial. Su adaptabilidad a diferentes tipos de sustratos y su capacidad para producir grandes cantidades de humus lo convierten en una herramienta clave para la gestión sostenible de los residuos orgánicos (Enebe, 2023).

1.1.12.3 Características del vermicompost

La lombricomposta se caracteriza por ser un fertilizante orgánico altamente estabilizado, de textura fina, porosa y homogénea, resultado de la transformación de la materia orgánica bajo la influencia de lombrices y microorganismos afines. Tiene un color oscuro, generalmente de color marrón a negro, y un olor similar al de la tierra húmeda, lo

que indica un nivel adecuado de madurez. Además, tiene una estructura porosa que favorece la aireación del suelo y mejora la retención de agua, lo que favorece un óptimo desarrollo radicular y crecimiento de las plantas (Rehman, 2023).

Desde el punto de vista químico, el lombricompost contiene cantidades importantes de macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de calcio, magnesio y diversos micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. También se distingue por el alto contenido en sustancias húmicas, especialmente ácidos húmicos y fúlvicos, que mejoran la disponibilidad de nutrientes y aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Estas propiedades promueven una liberación gradual de nutrientes, proporcionando una fuente más eficiente y sostenible de fertilización de cultivos (Bhardwaj, 2024).

Otra característica única del vermicompost es su alta actividad biológica. Este material contiene muchos microorganismos beneficiosos diferentes que participan en la mineralización de nutrientes, mejoran la fertilidad del suelo y contribuyen a la supresión de algunos patógenos. Además, contiene compuestos bioactivos y fitohormonas naturales como auxinas, giberelinas y citoquininas, que son capaces de estimular el crecimiento de las raíces, aumentar la absorción de nutrientes y fortalecer la resistencia de las plantas a condiciones de estrés biótico y abiótico. Por estos motivos, el lombricompost es considerado uno de los biofertilizantes más completos para la agricultura sostenible (Mihalache, 2024).

1.1.13 Microorganismos eficientes (EM)

Los microorganismos efectivos (ME) son consorcios de microorganismos benéficos que actúan sinérgicamente para mejorar los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica, reciclaje de nutrientes y restauración de la actividad microbiana en diversos ecosistemas. Esta tecnología fue desarrollada por el profesor Teruo Higa y se basa en la combinación de diferentes grupos de microbios que son capaces de coexistir y mejorar mutuamente sus funciones metabólicas. EM se utiliza ampliamente en agricultura, cría de animales, tratamiento de residuos orgánicos y recuperación ambiental (Fuentes, 2023).

La acción conjunta de estos microorganismos promueve procesos de fermentación beneficiosos en lugar de procesos de putrefacción, que reducen la formación de malos olores y promueven una conversión eficiente de la materia orgánica. Gracias a estas propiedades,

EM se ha convertido en una importante herramienta para la agricultura sostenible y la gestión ecológica de residuos (Silva, 2022).

Varios estudios recientes han demostrado que el uso de EM ayuda a mejorar la fertilidad del suelo, aumenta la disponibilidad de nutrientes y fortalece las comunidades microbianas beneficiosas. También contribuye a la reducción de microorganismos patógenos y mejora la calidad del biofertilizante a partir de residuos orgánicos (Silva, 2022).

1.1.13.1 Principales grupos microbianos

Los EM se componen principalmente de bacterias del ácido láctico (*Lactobacillus spp.*), levaduras (*Saccharomyces spp.*), bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas spp.*), actinomicetos y hongos fermentadores. Cada grupo realiza funciones específicas que contribuyen a la estabilidad y eficiencia del consorcio microbiano (Fuentes, 2023).

Las bacterias del ácido láctico producen ácidos orgánicos que inhiben el desarrollo de microorganismos que causan enfermedades y promueven la fermentación de los desechos orgánicos. La levadura produce vitaminas, enzimas y sustancias bioactivas que estimulan el crecimiento de otros microorganismos beneficiosos. Las bacterias fotosintéticas, por otro lado, utilizan la energía solar y diversos compuestos orgánicos para sintetizar sustancias útiles para las plantas y otros microorganismos del sistema (Camacho, 2023).

Los actinomicetos y los hongos fermentadores participan activamente en la descomposición de compuestos complejos como la celulosa, la lignina y otros materiales difíciles de degradar. Gracias a esta diversidad funcional, EM es capaz de acelerar los procesos de conversión de residuos orgánicos y mejorar la calidad de los productos obtenidos durante la fermentación y el compostaje (Camacho, 2023).

1.1.13.2 Mecanismos de acción

De acuerdo a lo reportado por la Unidad de Tecnología y Eficiencia Agropecuaria (UTEA, 2025), los microorganismos eficaces actúan a través de diversos mecanismos biológicos que promueven la transformación y estabilización de la materia orgánica. Uno de los principales mecanismos es la fermentación beneficiosa, un proceso en el que los microorganismos producen enzimas, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos que aceleran

la descomposición de los desechos orgánicos y reducen la propagación de microorganismos putrefactos.

Otro mecanismo importante es la competencia biológica. Los microorganismos beneficiosos presentes en los EM ocupan nichos ecológicos y consumen recursos que podrían ser utilizados por microorganismos patógenos, limitando su crecimiento y reduciendo la propagación de enfermedades. Además, muchos de estos microorganismos producen sustancias antimicrobianas naturales que contribuyen al control biológico (Díaz, 2023).

Además, la EM promueve el reciclaje de nutrientes mediante la mineralización de la materia orgánica y la liberación gradual de compuestos esenciales en las plantas. También producen metabolitos como vitaminas, aminoácidos, enzimas y antioxidantes que mejoran la actividad biológica del suelo y aumentan la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Díaz, 2023).

1.1.13.3 Aplicación en residuos orgánicos

El uso de microorganismos eficientes (EM) en residuos orgánicos tiene como objetivo acelerar los procesos de descomposición y mejorar la calidad de los productos finales obtenidos. Estos microorganismos se utilizan a menudo en plantas de compostaje, vermicompostaje, biodegradación y sistemas de tratamiento de desechos ganaderos, donde promueven una rápida descomposición de la materia orgánica y la reducción de olores desagradables (Silva, 2022).

Para los desechos del ganado, como los excrementos de cerdo, la EM promueve la fermentación controlada de la materia orgánica, reduce la carga microbiana no deseada y promueve la producción de biofertilizantes con mayor contenido de nutrientes disponibles. Además, ayudan a reducir las pérdidas de nitrógeno en el proceso de transformación, aumentando la eficiencia en el aprovechamiento de los residuos (Díaz, 2023).

Diversos estudios han informado que la inclusión de EM en los procesos de compostaje y biofertilización mejora la calidad microbiológica y agronómica de los productos obtenidos, promueve la producción agrícola sostenible y reduce la carga ambiental

asociada a la acumulación de residuos orgánicos. Por lo tanto, la EM se considera una tecnología prometedora para la gestión integral de residuos en los sistemas agrícolas modernos (UTEA, 2025).

1.1.14 Estiércol enriquecido con suelo y microorganismos eficientes

1.1.14.1 Fundamento biológico

La base biológica de los fertilizantes enriquecidos con suelo y microorganismos eficaces se basa en la interacción entre sustancias orgánicas, microorganismos beneficiosos y minerales del suelo. El estiércol proporciona una rica fuente de carbono, nitrógeno y otros nutrientes necesarios para el crecimiento microbiano, mientras que el suelo proporciona microorganismos y minerales nativos que facilitan los procesos de transformación biológica. La inclusión de microorganismos eficaces aumenta la diversidad y actividad de los microbios, acelera la descomposición de la materia orgánica y promueve la formación de compuestos de humus estables (Santos, 2021).

Los microorganismos eficaces participan activamente en los procesos de fermentación y mineralización y producen enzimas capaces de descomponer proteínas, carbohidratos, grasas y compuestos de fibra en el estiércol. Durante este proceso se forman metabolitos beneficiosos como aminoácidos, vitaminas y ácidos orgánicos, que contribuyen a la mejora de la calidad biológica del material transformado. Asimismo, la actividad de los microbios contribuye a la inmovilización temporal de nutrientes y su posterior liberación paulatina al suelo (Raza, 2024).

Además, la presencia de microorganismos benéficos permite establecer mecanismos de competencia ecológica contra microorganismos patógenos. Esta acción ayuda a reducir la carga microbiológica no deseada en los desechos ganaderos y contribuye a un producto más seguro para uso agrícola. Como resultado, se promueve un sistema de procesamiento biológico eficaz, que mejora la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola (Pathma, 2022).

1.1.14.2 Proceso de transformación

La transformación del estiércol enriquecido con tierra y microorganismos eficaces comienza con una mezcla homogénea de sustancias orgánicas y minerales. Una vez preparada la mezcla, se incorporan microorganismos eficaces bajo condiciones adecuadas

de humedad y aireación para estimular su crecimiento. En los primeros días se desarrollan intensos procesos microbiológicos que favorecen la descomposición de compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (Raza, 2024).

A medida que avanza el proceso, las poblaciones microbianas aumentan significativamente y producen enzimas extracelulares que facilitan la descomposición de sustancias más complejas como la celulosa y otros compuestos estructurales. Al mismo tiempo se generan transformaciones bioquímicas, que permiten estabilizar sustancias orgánicas y reducir la presencia de sustancias potencialmente tóxicas. La actividad metabólica de los microorganismos también contribuye a la reducción de olores desagradables y a la mejora de las condiciones sanitarias del material (Singh, 2023).

En la última fase tiene lugar la maduración del producto, caracterizada por una disminución gradual de la intensa actividad microbiana y la formación de sustancias húmicas estables. El material tiene una textura uniforme, color oscuro y olor similar al de la tierra fértil. Estas características indican que la materia orgánica ha alcanzado un grado suficiente de estabilización y puede ser utilizada como aditivo orgánico o biofertilizante en diversos cultivos agrícolas (Ameen, 2021).

1.1.14.3 Propiedades agronómicas del Biofertilizante

Los biofertilizantes presentan propiedades agronómicas que favorecen la nutrición vegetal y mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Estos productos contienen nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y micronutrientes, además de microorganismos benéficos capaces de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo y estimular la mineralización de la materia orgánica. Como resultado, incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, favorecen el desarrollo radicular y mejoran la eficiencia en la absorción de agua y minerales, contribuyendo a una producción agrícola más sostenible (Ibarra, 2025).

Otra característica importante es la capacidad de aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, promover la formación de agregados estables y mejorar propiedades físicas como estructura, porosidad, infiltración y retención de agua. Estas mejoras crean condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces y el desarrollo de los cultivos, especialmente en suelos degradados o de baja fertilidad (Ameen, 2021).

Otra propiedad agronómica importante es la capacidad de los biofertilizantes para mejorar la fertilidad y la calidad del suelo a mediano y largo plazo. La incorporación de materia orgánica estabilizada incrementa la actividad microbiológica, mejora la estructura del suelo, favorece la formación de agregados y aumenta la capacidad de retención de humedad. Estas condiciones permiten reducir la degradación del suelo y disminuir la dependencia de fertilizantes químicos, promoviendo sistemas agrícolas más resilientes y con menor impacto ambiental. Asimismo, un biofertilizante maduro suele presentar un pH cercano a la neutralidad y una baja fitotoxicidad, características que favorecen su aplicación en diferentes cultivos sin afectar el crecimiento de las plantas (Cabrera, 2023)

1.1.15 Calidad de los biofertilizantes orgánicos

1.1.15.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) es uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad de los biofertilizantes orgánicos, ya que afecta directamente la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiológica. El pH determina la solubilidad de muchos elementos esenciales para las plantas y afecta los procesos bioquímicos que ocurren durante la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Los valores extremadamente ácidos o básicos pueden limitar el desarrollo de microorganismos beneficiosos y reducir la eficiencia agronómica del biofertilizante (Sánchez-Monedero, 2021).



Figura 2. Medidor de pH

En los biofertilizantes orgánicos maduros, el pH suele estar en un rango, normalmente de 6.5 a 7.5. Este intervalo favorece la disponibilidad de los nutrientes más

importantes y asegura el adecuado desarrollo de las comunidades microbianas responsables de los procesos de mineralización. Durante la conversión de residuos orgánicos, el pH puede cambiar debido a la formación de ácidos orgánicos y compuestos de amoníaco producidos por la actividad microbiana (Bernal, 2022).

La medición del pH es un indicador básico para determinar el grado de estabilidad y preparación del biofertilizante. Un valor de pH estable refleja que los procesos biológicos han alcanzado un equilibrio adecuado y que el producto puede ser aplicado al suelo sin causar efectos negativos a las plantas o microorganismos presentes en el ecosistema agrícola (Sánchez, 2021).

1.1.15.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es un parámetro utilizado para estimar la concentración total de sales solubles presentes en el biofertilizante orgánico. Este indicador es importante porque niveles demasiado altos de sales pueden afectar negativamente a la germinación, el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana del suelo. La CE generalmente se expresa en decímetros por metro (dS m^{-1}) o milímetros por centímetro (mS cm^{-1}) (Khalil, 2022).

Los procesos de compostaje, vermicompostaje o fermentación suelen aumentar la conductividad eléctrica porque la descomposición de la materia orgánica libera nutrientes minerales. Entre los principales iones responsables de este aumento se encuentran los nitratos, fosfatos, potasio, calcio y magnesio. Por esta razón, la CE es un indicador indirecto de la disponibilidad de nutrientes en el producto final (Waqas, 2023).

Sin embargo, valores demasiado altos pueden provocar problemas de salinidad si se añade biofertilizante de forma continua o en grandes dosis. Por lo tanto, la evaluación de la conductividad eléctrica permite determinar la idoneidad agronómica del biofertilizante y crear recomendaciones apropiadas para su uso en diferentes cultivos y condiciones de suelo (Khalil, 2022).

1.1.15.3 Materia orgánica

La materia orgánica es el componente principal de los biofertilizantes orgánicos y es una fuente esencial de carbono y energía para los microorganismos del suelo. Su presencia contribuye a la formación de agregados estables, mejora la estructura del suelo y contribuye

al aumento de la capacidad de retención de agua y nutrientes. Además, juega un papel importante en los procesos de fertilidad y productividad agrícola (Awasthi, 2023).

Durante los procesos de conversión biológica, parte de la materia orgánica es descompuesta por microorganismos, mientras que otra fracción se estabiliza en forma de sustancias húmicas. Estas sustancias tienen una alta capacidad para retener nutrientes y mejorar las propiedades químicas del suelo, lo que contribuye al aporte paulatino de elementos esenciales a las plantas (Bernal, 2022).

Un contenido suficiente de materia orgánica se considera un indicador de la calidad del biofertilizante, ya que refleja la capacidad del producto para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Por ello, su cuantificación es una práctica habitual en la caracterización de compost, vermicompost, biol y otros fertilizantes orgánicos (Awasthi, 2023).

1.1.15.4 Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes de los fertilizantes biológicos orgánicos, ya que participa en la síntesis de proteínas, enzimas, clorofila y otros compuestos esenciales para el crecimiento de las plantas. La disponibilidad de nitrógeno determina en gran medida el desarrollo vegetativo de los cultivos y su capacidad de producción (Agegnehu, 2022).

En los biofertilizantes orgánicos, el nitrógeno se encuentra tanto en forma orgánica como inorgánica. Durante la mineralización de la materia orgánica, los microorganismos convierten gradualmente el nitrógeno orgánico en formas asimiladas por las plantas, principalmente amonio y nitratos. Este proceso asegura una liberación lenta y sostenida de nutrientes, reduciendo las pérdidas por lixiviación (Lopez, 2023).

La concentración de nitrógeno se suele utilizar como criterio de calidad porque está estrechamente relacionada con el valor fertilizante del producto. Los biofertilizantes con suficiente contenido de nitrógeno pueden contribuir en gran medida a la nutrición de los cultivos y reducir la dependencia de los fertilizantes sintéticos (Agegnehu, 2022).

1.1.15.5 Fósforo

El fósforo es un macronutriente importante involucrado en los procesos energéticos de las plantas, la división celular y el desarrollo de las raíces. En los biofertilizantes orgánicos, gran parte del fósforo está unido a compuestos orgánicos y minerales, que se convierten gradualmente mediante la acción microbiana (Lopez, 2023).

La disponibilidad de fósforo depende en gran medida del grado de madurez del biofertilizante y de las condiciones químicas del medio. En los procesos de compostaje y vermicompostaje, diversos microorganismos contribuyen a la disolución de los compuestos fosfatados, aumentando la fracción disponible para las plantas (Awasthi, 2023).

El contenido de fósforo es un indicador de calidad importante porque afecta la formación de cultivos, el crecimiento de las raíces y la producción agrícola. Una concentración suficiente de este nutriente aumenta el valor agronómico del biofertilizante y mejora la eficiencia del reciclaje de nutrientes en los sistemas de producción (Bernal, 2022).

1.1.15.6 Potasio

El potasio participa en muchos procesos fisiológicos relacionados con la regulación hídrica, la síntesis de proteínas y la activación enzimática de las plantas. Por ello, se considera uno de los macronutrientes más esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Khalil, 2022).

Durante la descomposición de la materia orgánica, el potasio se libera principalmente en forma soluble, que las plantas pueden absorber fácilmente. A diferencia del nitrógeno y el fósforo, este nutriente no forma parte de estructuras orgánicas complejas, por lo que suele estar disponible en las etapas iniciales de los procesos de transformación biológica (Lopez, 2023).

La concentración de potasio en el biofertilizante es un indicador importante de su calidad agronómica, especialmente para cultivos con altos requerimientos nutricionales. Su presencia promueve la resistencia al estrés hídrico, mejora la calidad de la fruta y contribuye al aumento de los rendimientos agrícolas (Khalil, 2022).

1.1.15.7 Relación carbono:nitrógeno (C:N)

La relación carbono: nitrógeno (C:N) es uno de los indicadores más utilizados para evaluar la madurez y estabilidad de los biofertilizantes orgánicos. Este parámetro expresa la relación entre el carbono disponible como fuente de energía y el nitrógeno necesario para el crecimiento microbiano (Waqas, 2023).

En los procesos de compostaje y vermicompostaje, los microorganismos consumen carbono y liberan parte de este elemento en forma de dióxido de carbono. Como resultado, la relación C:N disminuye gradualmente hasta alcanzar valores característicos de materiales estabilizados. Una disminución de esta relación indica que la materia orgánica se ha convertido suficientemente y que el producto tiene un menor riesgo de inmovilización de nitrógeno en el suelo (Sánchez, 2021).

Generalmente, una relación C:N inferior a 20:1 se considera un biofertilizante maduro apto para uso agrícola. Por ello, este parámetro es ampliamente utilizado para determinar la calidad, estabilidad y eficiencia agronómica del compost, lombricompost y otros fertilizantes orgánicos derivados de residuos agrícolas (Bernal, 2022).

1.1.16 Uso de biofertilizantes en la agricultura sostenible

Los biofertilizantes son una herramienta esencial en la agricultura sostenible porque son capaces de mejorar la fertilidad del suelo a través de procesos biológicos naturales. Estos productos contienen microorganismos beneficiosos, sustancias orgánicas estabilizadas o compuestos obtenidos como resultado de la transformación biológica de residuos orgánicos, que contribuyen a la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Su uso permite reducir la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos, lo que reduce el impacto ambiental asociado a la contaminación del suelo y cuerpos de agua. Además, apoyan la conservación de la biodiversidad microbiana y contribuyen a sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles (Rehman, 2023).

Uno de los beneficios más importantes de los biofertilizantes es su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La incorporación de biofertilizante aumenta el contenido de materia orgánica, mejora la estructura del suelo, favorece la retención de humedad y estimula la actividad de microorganismos

benéficos. Asimismo, algunos biofertilizantes contienen microorganismos capaces de fijar nitrógeno atmosférico, disolver fósforo o producir sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas, que favorecen el sano desarrollo de los cultivos y aumentan la productividad agrícola (Bhardwaj, 2024).

El uso de biofertilizantes también es importante en la economía circular y la gestión sostenible de residuos agrícolas. Materiales como el estiércol, los residuos vegetales y los subproductos agroindustriales pueden transformarse mediante compostaje, vermicompostaje, biodigestión o fermentación microbiana para producir recursos agrícolas de alto valor. Esta aplicación reduce la acumulación de residuos, reduce las emisiones contaminantes y permite el reciclaje de nutrientes en los sistemas de producción, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental y económica de la agricultura (Awasthi, 2023).

1.1.17 Economía circular

La economía circular ofrece una solución sostenible a la intensificación de los sistemas de producción porcina, al posibilitar la transición desde el modelo lineal de "tomar-hacer-usar-desechar" hacia un enfoque circular de "tomar-hacer-usar-reciclar", donde los efluentes se transforman en enmiendas orgánicas reutilizables dentro del propio sistema productivo (Hollas *et al.* 2023).

En el contexto agroindustrial, la integración de estrategias de valorización de residuos y biotecnologías avanzadas —como la producción de compost y biofertilizantes— optimiza la gestión de biomasa y promueve sistemas agroindustriales más sostenibles y resilientes, con beneficios ambientales, económicos y sociales para el sector (Araújo *et al.* 2026).

1.1.18 Valorización de residuos pecuarios

La recuperación de purines porcinos para la generación de energía, el reaprovechamiento de nutrientes y el control de olores constituye una de las prácticas de valorización más extendidas en Latinoamérica, impulsada por la disponibilidad de nuevas tecnologías y por las normativas ambientales que incentivan la producción limpia en el sector agropecuario (Vera, 2022).

La interacción entre biosistemas pecuario-agrícolas —como granjas porcinas y cultivos asociados— representa un área de oportunidad para el manejo y la valorización de

residuos, permitiendo la generación de energía, la recuperación de nutrientes y la obtención de productos de alto valor a partir de efluentes que de otro modo contaminarían el suelo, el agua y el aire (Vaishnav *et al.* 2023).

El reciclaje y tratamiento de los nutrientes contenidos en el estiércol porcino, bovino y avícola se ha convertido en una estrategia clave para el manejo eficiente de residuos pecuarios en modelos de producción intensiva, permitiendo además generar valor económico para las unidades productivas (Rout *et al.* 2023).

1.1.19 Indicadores internacionales de calidad de biofertilizantes

El Reglamento (UE) 2019/1009 establece normas armonizadas de seguridad, calidad y etiquetado para productos fertilizantes en el mercado europeo, definiendo por primera vez límites máximos para contaminantes y metales pesados (cadmio, plomo, mercurio) y para patógenos que puedan afectar la salud humana o ambiental. Este marco normativo define 15 Categorías de Componentes Materiales (CMC), cada una con criterios propios de calidad y pureza, lo que permite integrar formalmente los residuos agrícolas valorizados —como los subproductos porcinos— dentro de la cadena de producción de fertilizantes certificados.

En el caso específico del compost, este se encuentra clasificado dentro de la Categoría de Materiales Componentes 3 (CMC3), la cual establece los materiales de partida permitidos, las condiciones del proceso de tratamiento y los niveles máximos de impurezas y contaminantes que debe cumplir el producto final para su comercialización dentro de la Unión Europea. Por su parte, el digestato proveniente de procesos de biodigestión material afín al biol evaluado en la presente investigación se regula bajo la Categoría de Materiales Componentes 5 (CMC5), que define requisitos particulares relacionados con el proceso de digestión anaeróbica y el postratamiento del material antes de su uso como fertilizante (Agrocampo, 2025).

En cuanto al **vermicompost**, a diferencia del compost y el digestato, no cuenta con una categoría específica dentro del Reglamento (UE) 2019/1009; sin embargo, en España la Norma Tecnológica de Jardinería y Paisajismo (NTJ 17V) establece los requerimientos mínimos del proceso de vermicompostaje y los parámetros físicos, químicos y biológicos que garantizan la calidad del producto final, constituyendo una referencia técnica relevante a nivel internacional para este tipo de biofertilizante (Villegas *et al.* 2017)

A diferencia de la Unión Europea, en países como México no existe aún una norma técnica unificada que establezca los requisitos y pruebas rutinarias obligatorias para los biofertilizantes en general; sin embargo, para el caso puntual del vermicompost, la referencia más cercana es la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, que clasifica la calidad de la lombricomposta según su contenido de materia orgánica, presencia de semillas viables y grado de madurez, sin considerar límites de metales pesados. En el caso del biol, no se identifica aún una norma técnica internacional específica que regule sus parámetros de calidad, por lo que su evaluación suele sustentarse en rangos de referencia propuestos por organismos como la FAO, particularmente en cuanto a pH y contenido de macronutrientes (SADER, 2020).

1.1.20 Investigaciones comparativas

Samaniego *et al.* (2025) realizaron en Ecuador un estudio comparativo de diferentes tratamientos biológicos para el aprovechamiento de residuos orgánicos, entre ellos el compostaje y vermicompostaje. Los resultados mostraron que el vermicompost presentó mejores características nutricionales, alcanzando contenidos de 2.34 % de nitrógeno, 2.00 % de fósforo y 3.76 % de potasio, además de un índice de germinación del 100 %. Estos resultados evidencian que el vermicompostaje constituye una alternativa eficiente para transformar residuos orgánicos en un producto con potencial de uso agrícola.

Zhou *et al.* (2022) compararon el compostaje y vermicompostaje de estiércol porcino para evaluar sus características como productos fertilizantes. Los autores determinaron que el vermicompostaje permitió incrementar el nitrógeno disponible en 32.40 %, el fósforo disponible en 21.70 % y el potasio disponible en 12.70 % en comparación con el compostaje. Estos resultados demuestran que el proceso de vermicompostaje puede mejorar la disponibilidad de nutrientes del estiércol porcino y favorecer su valorización como enmienda orgánica para la agricultura.

Allouzi *et al.* (2022) realizaron una revisión sobre el uso de biofertilizantes líquidos elaborados a partir de residuos y subproductos orgánicos, destacando su potencial como alternativa sostenible para el aprovechamiento de nutrientes. Los autores señalan que estos productos pueden facilitar la incorporación de nutrientes al suelo y contribuir al manejo sostenible de los residuos; sin embargo, también resaltan la necesidad de realizar mayores

estudios de campo para establecer su efectividad y viabilidad bajo diferentes condiciones agrícolas.

Según el autor Orrala (2021) con su investigación titulada Manejo de excretas de origen porcino en la comuna San Pedro parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena, que tuvo como objetivo principal fue identificar el manejo de excretas porcinas en la comuna San Pedro, parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena. A través de visitas y entrevistas, se constató que los habitantes reportaban malos olores provenientes de galpones de cerdos. En Ecuador existen alrededor de 1800 granjas porcinas, con 150 consideradas tecnificadas. En este estudio se evaluaron 194 cerdos, generando diariamente 765.500 kg/m³ de excretas y produciendo 107.17 m³ de biogás. Esta producción permitió beneficiar a 45 familias con gas natural para la cocción de alimentos, promoviendo así una alternativa sustentable y mejorando la calidad de vida local.

Además, Bara y Rosales (2021) con su informe Excretas Porcinas para la Producción de Biofertilizante Mediante Digestión Anaeróbica, en la Localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica 2021, la cual tuvo como objetivo evaluar la efectividad del uso de excretas porcinas para la producción de biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en Saracoto Alto. Se utilizó una mezcla de excretas con bacterias ácido-lácticas (GarLac) y melaza como carbohidrato, con el fin de reducir la presencia de microorganismos patógenos. El estudio fue de tipo explicativo, con un diseño experimental, empleando una muestra de 13 kg de excretas y una dosis de 4 litros de GarLac durante 60 días. Los resultados mostraron que el proceso permitió obtener un biofertilizante con importantes niveles de macro y micronutrientes, además de una significativa reducción de coliformes fecales y *Escherichia coli*. Se concluyó que este método es efectivo, rentable y viable para implementarse en zonas rurales como alternativa sostenible para el manejo de residuos porcinos, al mismo tiempo que se genera un producto útil para la agricultura.

Asimismo, Ayala (2018) con su trabajo de titulación Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala, este tuvo como objetivo evaluar las bondades del estiércol porcino sólido como abono orgánico, medido a través del rendimiento forrajero, valor nutricional de la planta, propiedades fisicoquímicas del suelo post cosecha, costo de producción y beneficio neto del maíz chala. Para lo cual se planteó tres tratamientos: fertilizante químico (Control, T1), estiércol sólido (T2) y fertilizante químico + estiércol

sólido (T3). El análisis de varianza para el rendimiento forrajero se realizó a través de un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) y la prueba de Duncan ($p0.05$), entre los tres tratamientos; sin embargo, se tuvo mayores valores con el tratamiento T2, 1.08 kg de peso fresco por planta y 73.8 t/a, 5 t más que el tratamiento T1. El mayor valor nutricional de la planta se obtuvo con el tratamiento T3, 10.5 % proteína cruda, 1.6 % grasa, 25.4 % fibra cruda y 54.8 % fibra detergente neutra. Mejores propiedades fisicoquímicas del suelo post cosecha se obtuvo con el tratamiento T2, 2.56 % materia orgánica, 59.4 ppm fósforo y 230 ppm potasio.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en la parroquia Colonche, que forma parte del cantón Santa Elena, ubicado en la provincia de Santa Elena, en la región litoral del Ecuador. Colonche limita al norte con la parroquia Manglaralto y el cantón Paján de la provincia de Manabí; al sur, con las parroquias Simón Bolívar y Santa Elena; al este, con el cantón Pedro Carbo de la provincia del Guayas; y al oeste, con el océano Pacífico. La localización geográfica aproximada de este territorio es de 1°50'00" S de latitud y 80°30'00" O de longitud.

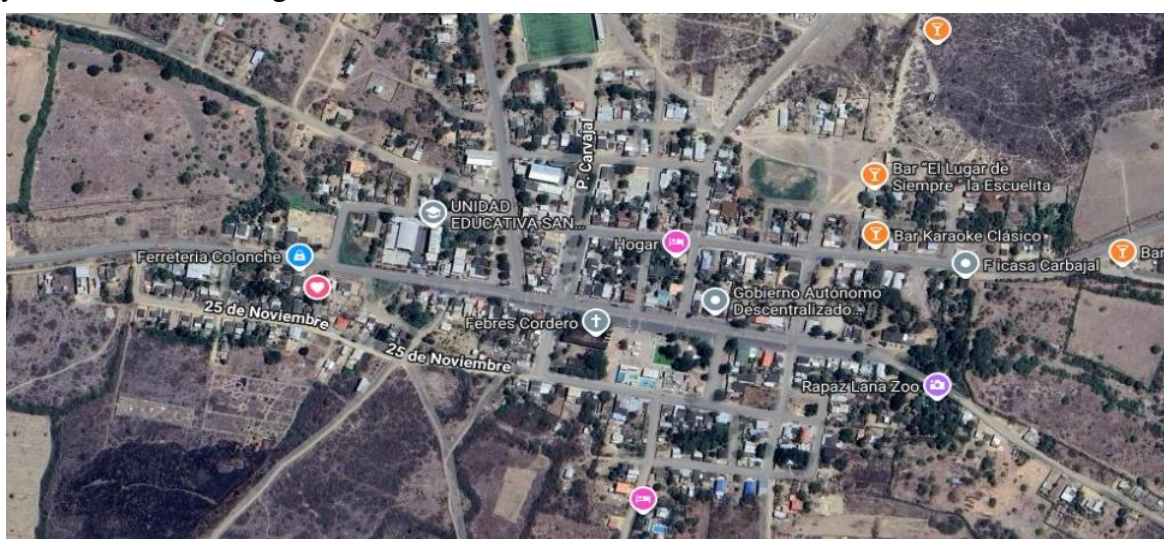


Figura 3. Parroquia Colonche, lugar en donde se realizó la investigación, vía satelital.

Se distingue por su clima seco tropical, con temperaturas promedio entre 24°C y 30 °C y una marcada estación seca. Tiene un paisaje montañoso, dotado de vegetación xerofítica. Posee una rica tradición cultural montuvia y es reconocida por su historia ancestral relacionada con la comunidad indígena de los Chongón-Colonche. Su economía se fundamenta en la agricultura, la ganadería y diversas actividades artesanales.

2.2 Material biológico y condiciones experimentales

Durante el experimento se utilizaron la cantidad de 12 cerdos como fuente principal del estiércol para los diferentes tratamientos, también se utilizó lombrices de la especie *Eisenia fétida* para el tratamiento de vermicompostaje y material biológico como *Bacillus subtilis* para el tratamiento de compostaje.

2.3 Materiales, equipos y reactivos

2.3.1 *Materiales*

- Balanza
- Métodos de análisis químico
- Peachímetro
- Termómetro
- Conductímetro
- Compartimientos para compostaje, fermentación y vermicompost
- Tambores (tanques) de 50 L
- Baldes
- Palas plásticas
- Equipo de bioseguridad personal.

2.3.2 *Equipos*

Para la elaboración de este trabajo se utilizaron los siguientes equipos:

- Laptop
- Esfero
- Libreta de campo
- Cuaderno

2.4 Tipo de investigación

Esta investigación fue de tipo descriptiva. Cabe destacar que se realizó una observación directa del manejo de las excretas porcinas, con el objetivo de analizar su proceso de tratamiento y su contribución a la producción de abono orgánico o biofertilizantes.

2.5 Diseño de investigación

2.5.1 *Diseño experimental*

En la investigación se aplicó un diseño a nivel descriptivo-comparativo, con el objetivo de evaluar la degradación del estiércol sobre la producción de abonos orgánicos y biofertilizantes. No se aplicó un diseño experimental; sin embargo, se mantuvo condiciones controladas para asegurar la homogeneidad en el manejo de los tratamientos, para cual se

realizaron pruebas a nivel descriptivo (medidas de tendencia central) y no paramétricas, además se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

2.6 Detalle de tratamientos

La presente tabla muestra los tratamientos evaluados en la investigación, los cuales fueron formulados a partir de diferentes fuentes de materia orgánica y métodos de transformación biológica. Cada tratamiento fue diseñado con el propósito de comparar sus efectos sobre las variables de estudio, considerando el uso de biol, compostaje, vermicompost y una mezcla de estiércol con suelo y microorganismos eficientes como alternativas de manejo orgánico y aprovechamiento de residuos porcinos. Cabe señalar que, al tratarse de una investigación de tipo descriptivo, no se aplicó un diseño experimental que implicara la aleatorización o el control estadístico de variables; sin embargo, los tratamientos fueron detallados y organizados como unidades de observación, lo que permitió describir y comparar sus características y resultados de manera sistemática.

Tabla 3. Tratamientos

Tratamientos	Formulación
T1	Biol
T2	Compostaje
T3	Vermicompost
T4	Estiércol más suelo y microorganismos eficientes

2.7 Manejo del experimento

El manejo del experimento comprendió todas las actividades desde la recolección de las excretas hasta la obtención final de los biofertilizantes y compostaje. Este proceso permitió evaluar el rendimiento, el tiempo de degradación y la calidad del producto final.

Se calculó la cantidad total de excretas generadas en cerdos alimentados con residuos agrícolas. Para ello, se recolectó las heces tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes), en horario de 08h00 o 09h00 de la mañana, durante todo el periodo experimental. Las muestras se pesaron con balanza digital y se registraron por animal, tratamiento y fecha. Este registro permitió establecer una estimación semanal y total por tratamiento, aportando datos clave sobre la productividad de residuos por cerdo y tratamiento.

Posteriormente, se aplicaron los tratamientos correspondientes según las siguientes metodologías.

Elaboración de biol: Para la elaboración del biofertilizante se mezclaron cada muestra de excretas frescas con agua en proporción 1:1 (V/V). Al Biol se incorporó melaza al 5% (V/V). Se añadió 1 L de inoculante microbiano comercial por cada 100L de mezcla. Toda preparación fue realizada en un área limpia y desinfectada ya que ese medio favoreció la proliferación de microorganismos beneficiosos para la fermentación que se llevó a cabo en tambores sellados de 50 L los cuales se ubicaron bajo sombra para evitar sobrecalentamiento, se agitaran manualmente durante 2 minutos, esto se realizó al menos 2 veces por semana, la fermentación se mantuvo durante 21 días para lograr una degradación Optima, al finalizar se evaluó lo que es el pH y la concentración de nutrientes para verificar la calidad del biol.

Compostaje: Se construyó una pila de 1 metro cuadrado y un 1 de altura, se utilizó excretas frescas combinadas con paja o aserrín en proporción 1:2, manteniendo la humedad entre 50%-60% y realizando volteos manuales dos veces por semana. El monitoreo semanal incluyó temperatura, pH y olor. Se consideró que el compost ha alcanzado su madurez cuando estas variables se mantengan estables y el material presente una textura homogénea y olor terroso, lo cual toma una duración de 90 a 120 días.

Lombricultura (vermicompostaje): Se utilizó excretas previamente compostadas durante 15 días para reducir toxicidad, inoculadas con *Eisenia fetida* a razón de 1 kg por metro cuadrado. Las condiciones se mantuvieron entre 70%-80% de humedad, temperatura no mayor a 29°C y sombra constante. La degradación fue evaluada al cabo de 40 a 60 días mediante separación de lombrices, tamizado y análisis material.

Degradación con microorganismos: Se aplicó una mezcla de 60% excretas, 30% suelo y 10 de microorganismos sobre las camas de 30 cm de alto, volteadas una vez por semana, este proceso debe realizarse por 90-120 días. Se evaluó la estabilización mediante textura, olor y pH.

2.8 Variable a evaluar

2.8.1 Cantidad de excretas recolectadas

Las heces fueron recolectadas individualmente tres veces por semana y pesadas en fresco con una balanza digital. El peso registrado fue acumulado semanalmente para cada unidad experimental. Esta información será clave para estimar el potencial de aprovechamiento de residuos en la producción de cada tratamiento, y servirá de base para calcular sus rendimientos por kilogramo de excreta tratadas (Enríquez, 2024).

Con una población de 12 cerdos de entre 3 y 4 meses de edad, se pudo estimar una producción cercana a los 84 kg de excretas por jornada de recolección, considerando una frecuencia de tres veces por semana. Esta estimación se obtuvo a partir del promedio diario de producción por animal, que varía según el peso, la alimentación y las condiciones de manejo. La cantidad recolectada resulta relevante para su posterior tratamiento o aprovechamiento agrícola como biofertilizante o compost (Aquino, 2021).

Fórmula 1:

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad total de excretas (Kg)} \\ &= \Sigma \text{Excretas recolectadas (Kg) por unidad experimental} \times \# \text{ de semanas} \end{aligned}$$

2.8.2 Producción de biofertilizantes

Se midió el volumen total de biofertilizante obtenido al finalizar el proceso de elaboración en cada tratamiento (biol, compost, vermicompost y testigo). La recolección se hizo con instrumentos de medición volumétrica (bidones o baldes con marcas). Esta medición permitió comparar cual tratamiento genere mayor cantidad de producto utilizable (Ramírez, 2023).

Formula 2:

$$\text{Producción (L o Kg)} = V_{\text{final recolectado}} \times \text{Tratamiento}$$

2.8.3 Tiempo de degradación

Se evaluó el número de días requeridos para completar el proceso de fermentación. Este parámetro se determinó mediante observación visual y sensorial, considerando factores

como olor, textura, color, temperatura estable y ausencia de residuos no degradados (Ramos, 2021).

El tiempo de degradación es un indicador fundamental para evaluar la eficiencia del proceso de producción de biofertilizantes, ya que representa el período transcurrido desde el inicio de la transformación de los residuos orgánicos hasta la obtención de un producto estable y apto para su aplicación agrícola. Este parámetro está estrechamente relacionado con la actividad de los microorganismos, los cuales degradan la materia orgánica y favorecen la estabilización de los nutrientes. La duración del proceso depende de factores como la composición del sustrato, la relación carbonoógeno (C), la humedad, la temperatura, la aireación y el manejo del sistema de compostaje o fermentación. En condiciones adecuadas, los procesos de compostaje suelen alcanzar su madurez entre los 90 y 120 días, aunque este período puede variar según el tipo de residuo y las condiciones de operación (Nemet, 2021).

2.8.4 Calidad física del biofertilizante

Al final de cada proceso, se analizaron variables como pH, temperatura y conductividad eléctrica de cada tratamiento, utilizando equipos portátiles de medición o análisis de laboratorio. Estas variables reflejan la estabilidad del producto y su potencial del fertilizante (Ramírez, 2023).

pH.- El potencial de hidrógeno (pH) es una medida que expresa la acidez o alcalinidad de una solución y constituye uno de los principales indicadores de la calidad de un biofertilizante. Durante el proceso de fermentación, el pH refleja la actividad metabólica de los microorganismos y el grado de estabilización del material orgánico. En biofertilizantes maduros, un pH cercano a la neutralidad favorece la disponibilidad de nutrientes, la supervivencia de microorganismos benéficos y reduce el riesgo de fitotoxicidad al momento de su aplicación en los cultivos, este parámetro se midió usando un peachímetro el cual dio un valor mucho más acertado que un medidor convencional. (Bernal, 2009).

Temperatura. - La temperatura constituye un parámetro fundamental para evaluar el desarrollo de la fermentación y el estado de madurez del biofertilizante, por lo que su monitoreo se realizó de manera constante durante todo el proceso. Los residuos fueron dispuestos en camas sin cobertura plástica, bajo un techado construido específicamente para mantener sombra constante y evitar la exposición directa al sol. La temperatura de cada tratamiento se midió mediante un termómetro digital, registrando los valores una vez por

semana al momento de la recolección, lo que permitió obtener datos exactos y comparables a lo largo del tiempo. Durante las primeras etapas del proceso se registró un incremento de la temperatura, atribuido a la intensa actividad microbiana encargada de degradar la materia orgánica. Conforme avanzó la estabilización del material, la temperatura disminuyó progresivamente hasta aproximarse a la temperatura ambiente, lo que indicó la finalización del proceso biológico y una mayor estabilidad y seguridad del biofertilizante para su uso agrícola (FAO., 2015).

Conductividad eléctrica. - La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración de sales solubles presentes en un biofertilizante, y su registro se realizó de manera semanal en cada uno de los tratamientos mediante un conductímetro, con el fin de obtener valores exactos y comparables a lo largo del proceso. Este parámetro permite estimar la disponibilidad de nutrientes minerales como nitratos, fosfatos, potasio, calcio y magnesio, así como evaluar el riesgo de salinidad. Valores excesivamente elevados pueden provocar estrés osmótico y afectar la germinación o el crecimiento de las plantas, mientras que valores moderados indican un producto con adecuada disponibilidad de nutrientes y apto para su aplicación agrícola (Bernal, 2009).

En el presente estudio, los parámetros químicos evaluados se limitaron al pH y la conductividad eléctrica (CE), debido a que estos indicadores pueden determinarse de forma directa mediante equipos portátiles (peachímetro y conductímetro), lo que permitió su monitoreo constante y en campo a lo largo de todo el proceso de fermentación. La determinación de otros elementos de interés agronómico, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), carbono orgánico y materia orgánica, requiere de análisis especializados de laboratorio, los cuales estaban contemplados inicialmente dentro del alcance de la investigación; sin embargo, por limitaciones de tiempo y de recursos económicos no fue posible gestionar y ejecutar dichos análisis dentro del periodo establecido para el desarrollo del presente trabajo. Por tal motivo, no se cuenta con resultados correspondientes a estos elementos, quedando su determinación como una recomendación para futuras investigaciones que permitan complementar la caracterización nutricional completa del biofertilizante.

Biol: Durante el proceso, los recipientes permanecieron bajo sombra y protegidos de la lluvia, con temperaturas entre 20 y 35 °C. Se realizó una conexión de manguera y una botella para facilitar la salida del gas, evitando que ingrese el oxígeno.

Compostaje: La humedad se mantuvo entre 50 y 60 % para favorecer la actividad de los microorganismos descomponedores. La pila de compost fue oxigenada mediante volteos periódicos, evitando compactación y exceso de humedad. Durante el proceso es normal que la temperatura aumente por la actividad microbiana, contribuyendo a la eliminación de patógenos y semillas de malezas.

Vermicompostaje: Las camas de vermicompost se mantuvieron bajo sombra, con humedad entre 70 y 80 %, buena aireación y temperaturas de hasta 29 °C. Estas condiciones garantizaron la supervivencia y actividad biológica de las lombrices durante la transformación del material orgánico.

Estiércol enriquecido con suelo y microorganismos eficientes: Las camas permaneció protegidas de la lluvia y recibió volteos periódicos para favorecer la aireación y la transformación de la materia orgánica. Los microorganismos eficientes aceleran la degradación y reducen la generación de olores desagradables.

2.8.5 *Parámetros físicos a medir*

2.8.5.1 *Descriptores sensoriales*

La Tabla 4 presenta los descriptores sensoriales considerados para la evaluación de la calidad de los biofertilizantes obtenidos en los diferentes tratamientos. Las variables olor, textura y color permiten identificar el grado de descomposición y madurez del material orgánico, ya que reflejan los cambios físicos y biológicos ocurridos durante el proceso de degradación. Estos descriptores constituyen indicadores cualitativos ampliamente utilizados para complementar la evaluación fisicoquímica de los biofertilizantes y determinar sus características finales antes de su aplicación agrícola

Tabla 4. Descriptores sensoriales

Variable	Descriptores
Olor	Amoniacal penetrante
	Olor poco penetrante

Textura	Olor sulfuroso
	Textura suelta
	Granular y húmeda
	Líquida
Color	Marrón oscuro
	Marrón claro
	Negro Oscuro

2.9 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A nivel descriptivo se empleó la observación directa, la cual permitió registrar de manera sistemática los cambios físicos de las excretas porcinas antes y después de cada tratamiento. Se utilizó como instrumento una ficha de observación diseñada para anotar variables como color, olor, textura, pH, temperatura y tiempo de degradación, indicadores clave para la elaboración del biofertilizante. Los datos recolectados se sistematizaron en matrices de Excel y fueron analizados mediante estadística descriptiva, para determinar medidas de tendencia central y variabilidad de cada tratamiento. Adicionalmente, se aplicó estadística inferencial, mediante pruebas de normalidad para verificar la distribución de los datos, y análisis de correlación (coeficiente de determinación R^2) con el fin de establecer el grado de asociación entre las variables evaluadas. (Lozano, 2023).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Excretas generadas en cerdos alimentados con residuos agrícolas.*

Durante las semanas 2 a 7, el peso de las excretas se mantuvo entre 32.1 y 34.2 kg, lo que evidencia una producción relativamente constante de materia orgánica. En la semana 8 se registró una disminución hasta 30.4 kg, seguida de un incremento gradual en las semanas posteriores hasta alcanzar el valor máximo en la semana 12. Estas fluctuaciones según la FAO (2001), son habituales en sistemas de producción porcina y pueden estar relacionadas con cambios en la dieta, el crecimiento de los animales o variaciones en el manejo del sistema. Además, el monitoreo continuo del peso de las excretas permitió planificar de forma más eficiente el proceso de compostaje y estimar la cantidad de material disponible para la producción de biofertilizantes.

Estos resultados son similares a los reportados por Baras y Rosales (2021), quienes emplearon aproximadamente 13 kg de excretas porcinas para la producción de biofertilizante mediante digestión anaerobia y señalaron que mantener una cantidad constante de materia prima durante el proceso permitió obtener un biofertilizante estable, con adecuada concentración de nutrientes y reducción de microorganismos patógenos. Los autores concluyeron que la uniformidad en la cantidad de excretas favorece el control del proceso biológico y mejora la calidad del producto final.

Este comportamiento también es consistente con lo que De Vrieze (2019), ha afirmado, que la producción continua de estiércol en los sistemas porcinos se traduce en una fuente incesante de nutrientes y materia orgánica, lo cual ayuda a optimizar su uso a través de procesos de valorización como la elaboración de biofertilizantes y otras tácticas para recuperar recursos. La estabilidad que se ha visto a lo largo del período experimental, en este sentido, constituye una ventaja para asegurar un suministro constante de excrementos y mejorar los procesos de transformación biológica.

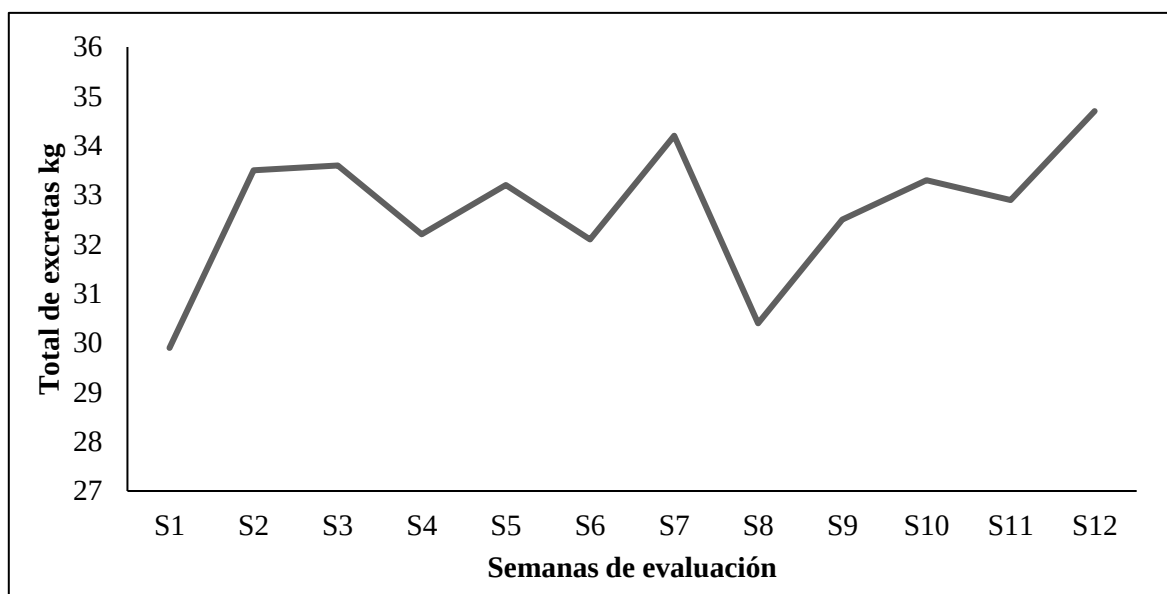


Gráfico 4. Resultados semanales de las excretas generadas en cerdos alimentados con residuos agrícolas.

3.2 Evaluación de los tiempos de degradación del estiércol porcino para la elaboración de biofertilizantes.

La **Tabla 5** presenta el tiempo de degradación, el porcentaje de degradación, el peso inicial y el volumen final obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados para la elaboración de biofertilizantes a partir de estiércol porcino. Estos indicadores permiten comparar la eficiencia de cada tratamiento durante el proceso de descomposición, considerando que el tiempo de permanencia del material influye directamente en la estabilidad, maduración y calidad del producto final. El seguimiento de estas variables constituye una herramienta fundamental para determinar el tratamiento con mayor rendimiento en la producción de biofertilizantes (Bernal, 2017).

Además, a comparación de ambas variables permite identificar el comportamiento del proceso de descomposición de la materia orgánica y establecer la eficiencia de cada tratamiento en función del tiempo requerido para alcanzar mayores niveles de degradación. Los resultados evidencian que el porcentaje de degradación varió entre los diferentes tratamientos y tiempos de evaluación. El tratamiento T1 (Biol) alcanzó un 75 % de degradación a los 21 días y un 90 % a los 30 días, mientras que el tratamiento T2 (Compostaje) registró un incremento desde el 25 % a los 30 días hasta el 55 % a los 60 días. Por su parte, el tratamiento T3 (Vermicompost) presentó los menores porcentajes de degradación, alcanzando únicamente el 32 % a los 30 días y el 51 % a los 60 días.

Finalmente, el tratamiento T4 (Estiércol más suelo y microorganismos eficientes) obtuvo un 25 % de degradación a los 30 días y un 58 % a los 60 días, mostrando un comportamiento similar al compost tradicional, aunque con una mayor eficiencia durante la primera etapa del proceso.

El seguimiento del proceso de compostaje se realizó durante 120 días, de acuerdo con el cronograma establecido para la fase experimental. Durante este periodo en el primer mes de haber iniciado la investigación se presentaron precipitaciones altas en la zona de estudio, ocasionando que el área donde se encontraban los tratamientos se inundara por una ocasión ya que no se encontraban en una zona alta si no al nivel del suelo, lo que incrementó temporalmente la humedad y pudo reducir la aireación de la masa de compostaje, afectando la actividad microbiana y, consecuentemente, la velocidad de degradación. Esta condición ambiental pudo limitar el avance hacia la maduración completa durante el periodo evaluado el cual solo pudieron ser 60 días. No obstante, al día 60, T2 (Compostaje) alcanzó un 55 % de degradación y T4 (Estiércol más suelo y microorganismos eficientes) un 58 %, evidenciando una tendencia hacia una estabilización más o menos precisa. Por ello, se recomienda ampliar el periodo de evaluación desde 120 días en futuras investigaciones para determinar con mayor precisión la maduración final de los tratamientos.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Bernal (2017), quien indica que la velocidad de degradación de los residuos orgánicos depende de factores como la disponibilidad de microorganismos, la relación carbono-nitrógeno, la humedad, la aireación y la temperatura, condiciones que favorecen la actividad microbiana y aceleran la estabilización de la materia orgánica. De igual manera, la incorporación de microorganismos eficientes puede incrementar la intensidad de los procesos biológicos durante las primeras fases de la descomposición, favoreciendo una mayor mineralización del material orgánico.

Asimismo, Haug (2018) menciona que un mayor tiempo de compostaje generalmente permite alcanzar mayores porcentajes de degradación y una mejor estabilización del material siempre que las condiciones ambientales sean adecuadas. Este comportamiento se observa en los tratamientos evaluados, donde los porcentajes de degradación aumentaron considerablemente entre los 30 y 60 días, especialmente en los tratamientos de compostaje y Estiércol más suelo y microorganismos eficientes, los cuales alcanzaron el mayor porcentaje de degradación respectivamente al finalizar el periodo de evaluación.

Tabla 5. *Tiempo y porcentaje de degradación*

Tratamientos	Tiempo de degradación (días)	Degradación %	Peso inicial (kg)	Volumen final	Promedio
T1 (Biol)	26	82.5	15	12.5	12.37 L
T2 (Compostaje)	60	67.5	44	29.5	29.70 Kg
T3 (Vermicompost)	45	31.5	44	18	18.26 Kg
T4 (Estiércol más suelo y microorganismos eficientes)	60	71.5	44	31.5	31.46 Kg

3.3 *Temperatura y tiempo de degradación*

La correlación entre la temperatura y el tiempo de degradación documentado durante la producción de biofertilizantes a partir de estiércol porcino se muestra en el gráfico 5. El tiempo de degradación posibilita el análisis del progreso en la estabilización de la materia orgánica, mientras que la temperatura es uno de los indicadores más relevantes en cuanto a actividad microbiológica.

El gráfico 5 muestra que entre los distintos periodos de degradación analizados (21, 30 y 60 días), la temperatura varió entre 25 y 34 °C. El tratamiento T4 (Estiércol más suelo y microorganismos eficaces) fue el que presentó los valores más elevados de temperatura. El tratamiento T3 (Vermicompost), por su parte, tuvo la temperatura más baja. Estas variaciones evidencian la actividad biológica específica de cada tratamiento, dado que la degradación de materia orgánica produce calor como consecuencia del metabolismo de los microorganismos a cargo del proceso de compostaje.

La temperatura que se registró durante la degradación osciló entre 25 y 34 °C, con pequeñas diferencias entre los tratamientos analizados. La actividad metabólica de los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica se ve reflejada en estas diferencias, puesto que la generación de calor está condicionada a la intensidad del proceso biológico. El estudio actual no llegó a temperaturas propias de la etapa termófila, lo que indica que el proceso fue mayormente una fase de degradación mesófila.

El hecho de que la temperatura y la degradación tengan una correlación baja ($R^2 = 0,0636$) sugiere que los cambios térmicos no son el único factor que explica el proceso de descomposición. Esto evidencia que la eficacia del compostaje se basa en la acción conjunta de varios elementos químicos, físicos y microbiológicos.

Ante estos resultados, Cai *et al.* (2021) reportaron hallazgos parecidos, indicando que la temperatura es uno de los parámetros más importantes para medir la actividad de los microorganismos en el compostaje del estiércol porcino y que su comportamiento se ve afectado por la composición del material, la humedad, la disponibilidad de oxígeno y el tiempo de compostaje. También Li (2021) señala que, en esta línea, la adición de inoculantes microbianos propicia un aumento más ágil de la temperatura y extiende el periodo con mayor actividad biológica, lo cual acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica. No obstante, subrayan que la evolución térmica depende de las propiedades iniciales del sustrato y de cómo se maneja el proceso, lo que significa que no siempre hay un vínculo lineal entre la degradación y la temperatura.

Las tasas de degradación obtenidas mostraron variaciones entre los tratamientos, siendo más elevadas en aquellos con condiciones más favorables para la actividad microbiológica. Este comportamiento confirma que la degradación de la materia orgánica es el resultado de una acción conjunta entre hongos y bacterias, los cuales convierten poco a poco los compuestos orgánicos en materiales más estables. Según Wang y Liang (2021) al añadir microorganismos en el proceso de compostar estiércol porcino, se acelera la maduración del compost, se eleva la actividad de las enzimas y se favorece una degradación más amplia de los desechos orgánicos. Como resultado, se logra un biofertilizante de mayor calidad en menos tiempo.

El aumento del porcentaje de degradación estuvo vinculado con el progreso del proceso de compostaje, según lo evidenciado en la gráfica, aunque existieron variaciones entre los tratamientos debido a las circunstancias particulares de cada uno. La materia orgánica sufrió una evolución progresiva debido a la sucesión de comunidades microbianas y a las variaciones en las características fisicoquímicas del material. Estos hallazgos son consistentes con lo que Xu *et al.* (2021) informaron, quienes determinaron que la descomposición y humificación de la materia orgánica durante el compostaje de estiércol porcino tiene una estrecha conexión con el comportamiento de las comunidades bacterianas

y fúngicas, las cuales van cambiando a medida que se desarrolla el proceso hasta llegar a un material estable y maduro.

Si bien la literatura reporta que la maduración completa del compost se logra entre los 90 y 120 días, los valores obtenidos hasta el día 60 reflejan una fase avanzada del proceso de estabilización, lo que sugiere que los tratamientos se aproximaban a su punto de madurez bajo las condiciones del estudio. Esto confirma que el tiempo constituye un factor determinante para obtener biofertilizantes de mayor calidad y estabilidad, y respalda la recomendación de extender el periodo de evaluación en futuras investigaciones.

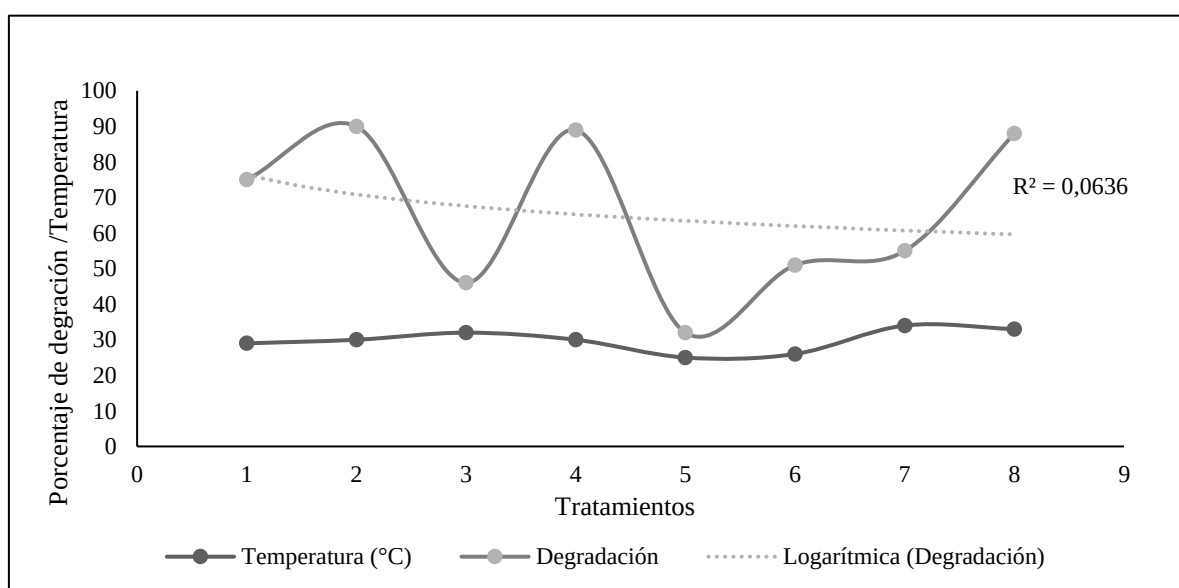


Gráfico 5. Correlación de temperatura/degradación

3.4 Correlación entre pH, Conductividad eléctrica y tiempo de degradación

El siguiente gráfico 6 presenta la relación entre el pH y la conductividad eléctrica (CE) de los biofertilizantes obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados. Estas variables constituyen indicadores fundamentales para determinar la estabilidad y calidad del producto final, ya que el pH influye en la actividad microbológica y la disponibilidad de nutrientes, mientras que la conductividad eléctrica refleja la concentración de sales solubles liberadas durante la degradación de la materia orgánica. El análisis conjunto de estos parámetros permite evaluar el comportamiento de cada tratamiento y su efecto sobre las características fisicoquímicas del biofertilizante.

En el gráfico se observa que el pH registro valores comprendidos entre 5.0 y 7.5, manteniéndose en un rango ligeramente ácido a neutro. El tratamiento T1 (Biol) registró los

valores más bajos (5.0–5.5), mientras que los tratamientos T2 (Compostaje), T3 (Vermicompost) y T4 (Estiércol más suelo y microorganismos eficientes) mostraron valores cercanos a la neutralidad (7.0–7.5), condición considerada favorable para el desarrollo de la actividad microbiana y la estabilidad del biofertilizante. Por otra parte, la conductividad eléctrica presentó una mayor variación, con valores entre 3.2 y 24.12 dS/m, evidenciando diferencias en la concentración de sales minerales disponibles entre los tratamientos.

La línea de tendencia del gráfico muestra un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,2179$) para la conductividad eléctrica, lo que indica una relación débil entre la tendencia lineal y los datos observados. Esto sugiere que la variación de la conductividad eléctrica no depende únicamente del comportamiento del pH, sino también de otros factores como la composición inicial del estiércol, la mineralización de la materia orgánica, la actividad microbiana y el tiempo de degradación. En consecuencia, la CE presenta fluctuaciones propias del proceso biológico y no sigue un patrón lineal claramente definido.

Los valores de pH obtenidos en los tratamientos variaron entre 5.0 y 7.5. Se notó que a medida que pasaba el tiempo de degradación, los materiales se estabilizaban cerca de la neutralidad. Esta conducta señala que la modificación de la materia orgánica propició condiciones químicas apropiadas para la actividad microbiana y para el proceso de maduración del biofertilizante. De acuerdo con Ji (2023) el pH es un indicador relevante de madurez en los procesos de compostaje de estiércol animal, y se aconseja que los valores estén próximos a la neutralidad para conseguir productos estables y utilizables en agricultura.

La estabilidad del pH entre los tratamientos indica que el proceso de degradación se llevó a cabo correctamente, sin fluctuaciones excesivas que pudieran perjudicar la actividad de los microorganismos. En esta línea, Matiz (2023) indica que es esencial controlar las variables fisicoquímicas, incluido el pH, para asegurar la calidad y estabilidad del compost que se obtiene a partir de residuos porcinos. Esto se debe a que esta variable muestra el equilibrio biológico logrado durante la transformación de la materia orgánica.

Los tratamientos mostraron diferencias significativas en cuanto a la conductividad eléctrica, con los valores más elevados en el Biol y los más reducidos en las prácticas de compost y compost con microorganismos eficientes. Estas fluctuaciones demuestran que existen diferencias en la concentración de sales solubles liberadas a lo largo del proceso de mineralización de la materia orgánica. Según Ji (2023) la conductividad eléctrica es un

parámetro que sirve para comprobar cuántos nutrientes hay disponibles durante el proceso de compostaje, debido a que aumenta a medida que se van liberando compuestos minerales derivados de la descomposición de residuos orgánicos.

La relación entre la CE y el tiempo de degradación reveló que esta variable no solo está determinada por el tiempo que ha pasado, sino también por la composición original del material, la humedad y el grado de actividad microbiana. Matiz (2023) señala que, en línea con estos resultados, la conductividad eléctrica puede fluctuar notablemente entre los tratamientos de compostaje de desechos porcinos, a causa de las variaciones en los sustratos empleados y en las circunstancias de manejo implementadas a lo largo del proceso.

Se pudo comprobar que, conforme el proceso avanzaba, las propiedades fisicoquímicas del material se estabilizaban más, al analizar los periodos de degradación (21, 30 y 60 días). Los tratamientos de mayor duración obtuvieron porcentajes más altos de degradación, lo que evidencia que el tiempo es un elemento crucial para la transformación de la materia orgánica. De acuerdo con Ji (2023) la duración del proceso de compostaje tiene un impacto directo en el nivel de madurez del mismo, lo cual propicia la disminución de compuestos inestables y la generación de un producto más seguro para ser utilizado en agricultura.

A pesar de que el aumento del tiempo ayudó a la degradación, los hallazgos también indican que la eficacia del proceso depende tanto de las condiciones de manejo como del tratamiento aplicado. La estabilización del estiércol porcino puede ser acelerada mediante el manejo de elementos como la aireación, la humedad o el pH, así como a través de la inclusión de microorganismos efectivos. En esta línea, Matiz (2023) determina que, para establecer la calidad final del compostaje y su capacidad de ser un biofertilizante, el tiempo de degradación debe examinarse junto con otros indicadores microbiológicos y fisicoquímicos.

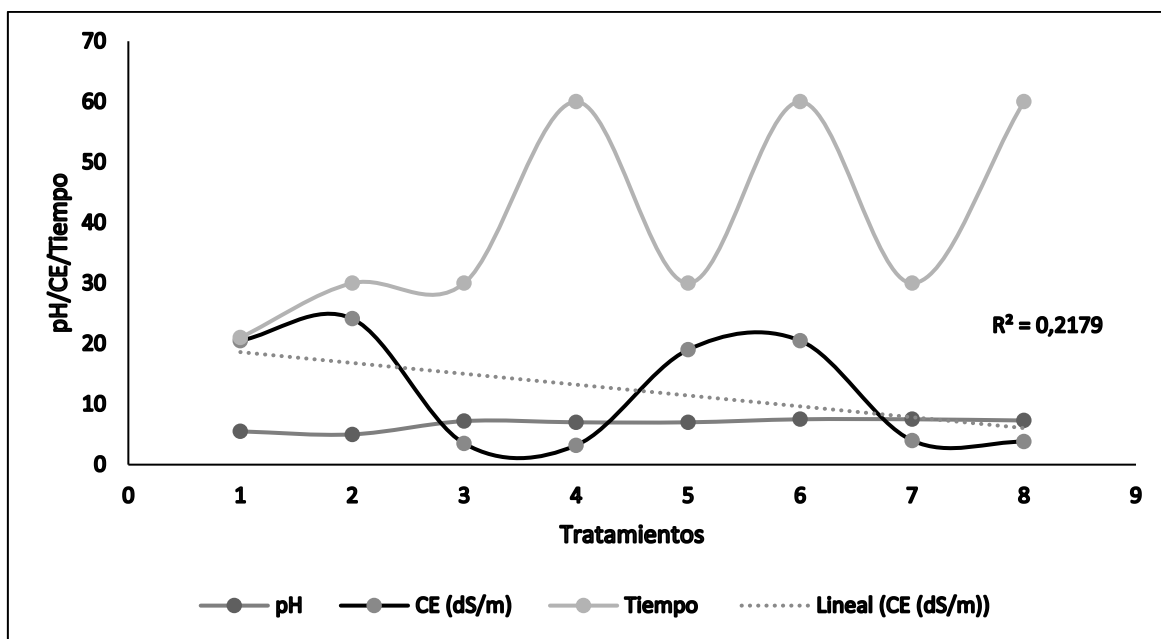


Gráfico 6. Correlación entre pH, CE y tiempo de degradación.

3.5 Comparación de las características químicas de los diferentes tratamientos

La siguiente tabla 6, presenta la comparación de las principales características químicas determinadas en los diferentes tratamientos evaluados durante la elaboración de los mismos. Los parámetros analizados fueron el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica (CE), los cuales permiten conocer el estado del proceso de degradación y las condiciones del material obtenido. La evaluación conjunta de estas variables facilita la identificación de diferencias entre tratamientos y proporciona información útil para valorar su calidad y estabilidad.

Los resultados muestran diferencias importantes entre los tratamientos en cuanto al pH, la temperatura y la conductividad eléctrica. El pH osciló entre 5.0 y 7.5, evidenciando que los tratamientos T2, T3 y T4 presentaron valores cercanos a la neutralidad, condición favorable para la actividad de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. En contraste, el tratamiento T1 registró valores más ácidos (5.0–5.5), lo que podría indicar una mayor presencia de ácidos orgánicos producto de una degradación aún no completamente estabilizada.

Los tratamientos analizados mostraron valores de pH promedios que oscilaron entre 5.25 y 7.40. Se notó que el T1 (Biol) tuvo un pH un poco ácido, pero los T2, T3 y T4 llegaron a niveles próximos a la neutralidad. Estas circunstancias señalan que el proceso de degradación ayudó a estabilizar el material orgánico, pues un pH neutro favorece la función

de los microorganismos encargados de la mineralización. Según Matiz-Villamil (2023) la estabilidad del pH es uno de los principales indicadores de calidad del compost y, durante el proceso de compostaje de residuos porcinos, tiende a estabilizarse a medida que la maduración avanza.

Sánchez (2019) también afirma que con valores de pH de entre 6.5 y 8.0, se mejora la disponibilidad de nutrientes y se disminuye la cantidad de compuestos fitotóxicos, lo cual posibilita la obtención de biofertilizantes con propiedades agronómicas superiores. En este estudio, se observó que los tratamientos de compost y compost con microorganismos eficientes tenían valores que estaban cerca del intervalo mencionado, lo que demuestra una estabilidad química apropiada del producto final.

El tratamiento T4, que consiste en estiércol con microorganismos eficientes, fue el que tuvo la temperatura promedio más alta, con un valor entre 25.5 y 33.5 °C. Este comportamiento indica que los microorganismos tienen una actividad metabólica más intensa durante el proceso de degradación, lo que propicia la conversión de materia orgánica. Li (2021) afirma que la temperatura es uno de los indicadores más importantes de la actividad microbiológica durante el proceso del compostaje, porque muestra qué tan intensos son los procesos de descomposición que llevan a cabo hongos y bacterias.

Por otro lado, Awasthi *et al.* (2020) afirman que la temperatura evoluciona conforme a factores como el aireado, la humedad, la relación entre nitrógeno y carbono y la composición del sustrato; por lo tanto, se anticipan variaciones entre los tratamientos en procesos de compostaje. Dado que cada tratamiento exhibió un comportamiento térmico distinto por sus rasgos específicos, los resultados obtenidos respaldan esta afirmación.

Se registró en los tratamientos de compost y compost con microorganismos eficientes la menor conductividad eléctrica, mientras que en el tratamiento con Biol se observó la mayor. Los valores promedio fluctuaron entre 3.40 y 22.31 dS/m. Estas divergencias representan la variada concentración de sales minerales que se liberan cuando la materia orgánica se descompone. Según Zhang (2022) la conductividad eléctrica incrementa a medida que los residuos orgánicos se mineralizan, porque se liberan nutrientes como magnesio, potasio, nitrógeno y calcio.

Sin embargo, Awasthi *et al.* (2021) señalan que no necesariamente una conductividad eléctrica alta significa un compost de mejor calidad, pues esto depende del tipo de desecho usado y del nivel de estabilización obtenido. En esta investigación, los tratamientos con CE más bajos podrían ser ventajosos en términos de su uso agrícola, ya que disminuyen el peligro de que las sales se acumulen en la tierra y apoyan el crecimiento de los cultivos.

El T1 (Biol) tuvo el porcentaje promedio de degradación más alto, con un 82.5 %; después estuvo el T4 (71.5 %), luego el T2 (67. %) y por último el T3 (44.5 %). Estos hallazgos muestran que la rapidez de la transformación de la materia orgánica está considerablemente influenciada por el empleo de diversos métodos de tratamiento. De acuerdo con Ji (2023) la actividad de los microorganismos, el tiempo que permanece el material y las condiciones fisicoquímicas del proceso están fuertemente vinculadas a la eficiencia del compostaje.

Asimismo, Cai *et al.* (2021) sostienen que la inclusión de microorganismos y una correcta gestión de las condiciones ambientales propician la degradación del estiércol porcino y posibilitan la obtención de biofertilizantes más estables en un periodo de tiempo reducido. Los resultados obtenidos evidencian que el tratamiento con Biol logró la máxima tasa de degradación, lo cual indica una eficacia superior al convertir la materia orgánica en comparación con los otros tratamientos.

Tabla 6. Características químicas de los tratamientos

Tratamiento	pH	Temperatura (°C)	CE (dS/m)	Degradación
T1 (Biol)	5.25	29.5	22.31	82.5
T2 (Compostaje)	7.1	31	3.4	67.5
T3 (Vermicompost)	7.25	25.5	19.75	44.5
T4 (Estiércol más suelo y microorganismos eficientes)	7.4	33.5	3.9	71.5

3.6 Comparación de las características físicas de los diferentes tratamientos

La siguiente tabla 7 presenta la comparación de las características físicas observadas en los diferentes tratamientos durante la evaluación de los biofertilizantes. Los parámetros

considerados fueron el color, el olor y la textura, los cuales constituyen indicadores prácticos del estado de descomposición y del grado de madurez del material orgánico. La observación de estas propiedades permite identificar diferencias entre los tratamientos y complementar la evaluación de su calidad, ya que reflejan los cambios ocurridos durante el proceso de degradación.

Las características físicas observadas evidencian diferencias entre los tratamientos, lo que refleja distintos grados de transformación de la materia orgánica. El tratamiento T2 presentó un color marrón oscuro, olor amoniacal penetrante y textura suelta, características que generalmente se asocian con un material estabilizado y de buena calidad. Según Bernal (2021) un compost maduro suele presentar tonalidades oscuras, olor agradable a tierra y una textura homogénea, debido a la formación de sustancias húmicas y a la disminución de compuestos orgánicos fácilmente degradables. Estas características indican una adecuada evolución del proceso de compostaje. En contraste, el tratamiento T4 mostró un color marrón claro, un leve olor poco penetrante y una textura ligeramente grumosa.

Los tratamientos analizados mostraron variaciones en el color del biofertilizante, con matices de marrón oscuro, negro oscuro y marrón claro. El tratamiento T3 (Vermicompost) adquirió un color negro oscuro, lo que señala una mayor humificación y estabilización de la materia orgánica. En cambio, los tratamientos T1 y T4 mantuvieron colores marrones claro, vinculados a una menor transformación del material. Onwosi (2019) afirma que el cambio gradual hacia tonos oscuros en el compostaje se produce por la creación de sustancias húmicas, las que representan una señal visual del nivel de madurez y estabilidad del compost.

Asimismo, Pergola *et al.* (2020) indican que el color es un atributo organoléptico que se usa frecuentemente para analizar la calidad del compost, ya que los materiales totalmente estabilizados tienen colores oscuros como negro o marrón debido a la descomposición de la lignina y otros compuestos orgánicos complejos. El tratamiento del vermicompost, en la investigación actual, exhibió las propiedades visuales más parecidas a un biofertilizante plenamente maduro.

En cuanto al olor, los tratamientos mostraron variaciones en función del nivel de descomposición del material. Mientras que los tratamientos de compost y lombrices emitieron un olor amoniacal penetrante, el Biol (T1) mantuvo un olor sulfuroso; sin embargo, el tratamiento T4 (Estiércol con microorganismos eficientes) mostró un olor

menos penetrante, lo que señala una estabilización más alta del proceso biológico. Siles y Castellano (2020) afirman que la disminución de olores intensos durante el compostaje se debe a una disminución en los compuestos volátiles, como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno, lo cual es un indicativo de que el compost está bien madurado.

Kumar (2021) también señala que los biofertilizantes estabilizados tienen olores tenues o difíciles de percibir, ya que la actividad de los microorganismos disminuye notablemente la generación de gases que causan mal olor. Este comportamiento concuerda con los resultados del tratamiento T4, que mostró propiedades organolépticas superiores en cuanto al aroma.

Respecto a la textura, el tratamiento T1 (Biol) mostró una consistencia líquida; los tratamientos T2 (Compostaje), en cambio, tuvieron una textura suelta; el T3 (Vermicompost) tuvo una textura húmeda y granular; y, por último, el T4 reveló una textura un poco grumosa. Estos contrastes se deben a la naturaleza del tratamiento que se aplicó y al nivel de degradación que llegó a tener la materia orgánica. Según Ayilara (2020) la textura es un indicador físico esencial de la madurez del compost, porque los materiales estabilizados tienen estructuras granulares o friables que hacen más fácil su manipulación y uso en la agricultura.

Por otro lado, Liu *et al.* (2021), indican que el compostaje transforma la materia orgánica y va alterando poco a poco la estructura física del material, lo cual promueve que se generen agregados estables y una textura uniforme. La textura granular que se observó en el tratamiento con lombrices y la textura un poco grumosa del estiércol más suelo y microorganismos eficientes demuestran, en esta investigación, un proceso de estabilización apropiado y una calidad física óptima del biofertilizante producido.

Tabla 7. Características físicas de los tratamientos

Tratamientos	Color	Olor	Textura
T1 (Biol)	Marrón claro	Olor sulfuroso	Líquida
	Marrón oscuro	Olor sulfuroso	Líquida
T2 (Compostaje)	Marrón oscuro	Olor amoniacal penetrante	Textura suelta

	Marrón oscuro	Olor amoniacal penetrante	Textura suelta
T3 (Vermicompost)	Negro oscuro	Olor amoniacal penetrante	Granular y húmeda
	Negro oscuro	Olor amoniacal penetrante	Granular y húmeda
T4 (Estiércol más suelo y Microorganismos eficientes)	Marrón claro	Olor poco penetrante	Ligeramente grumosa
	Marrón claro	Olor poco penetrante	Ligeramente grumosa

4 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La caracterización de las excretas porcinas confirmó su viabilidad como materia prima para la producción de biofertilizantes, con una generación semanal relativamente estable de entre 30,4 y 34,2 kg durante el periodo de estudio. Esta constancia en el suministro de materia orgánica permitió planificar de forma eficiente los cuatro tratamientos evaluados y evidenció que el adecuado tratamiento de estos residuos —frente a su disposición sin control— reduce el impacto ambiental asociado y favorece el reciclaje de nutrientes dentro del sistema productivo porcino.

Se observó que cada uno de los métodos de tratamiento analizados mostró un comportamiento específico a lo largo del proceso de degradación de la materia orgánica. Las características fisicoquímicas y organolépticas muestran variaciones que evidencian el impacto del método de tratamiento en la calidad del biofertilizante producido. Esto posibilita la identificación de alternativas que cuenten con condiciones más favorables para estabilizar el material y preservar sus propiedades agronómicas. Estos hallazgos demuestran que elegir el método de tratamiento es un componente esencial para perfeccionar la producción de biofertilizantes orgánicos.

Al comparar los cuatro tratamientos de forma integral, el biol (T1) se posiciona como la alternativa más eficiente en términos de velocidad de degradación, mientras que el compost con microorganismos eficientes (T4) ofrece el mejor equilibrio entre estabilidad química (pH neutro, baja CE) y grado de degradación alcanzado. Estos resultados demuestran que la valorización de las excretas porcinas mediante biodigestión y compostaje —con o sin inoculación de microorganismos eficientes— constituye una estrategia técnica y ambientalmente viable para obtener biofertilizantes de calidad diferenciada, aplicables como enmiendas orgánicas según las necesidades específicas de cada sistema productivo agropecuario.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar prácticas adecuadas para el manejo y aprovechamiento de las excretas porcinas, considerando las condiciones de cada unidad pecuaria y los resultados obtenidos en este estudio. Asimismo, se sugiere evaluar previamente la viabilidad de su utilización como insumo orgánico, mediante procesos que permitan garantizar su adecuado tratamiento y calidad, con el propósito de reducir posibles impactos ambientales y favorecer un manejo sostenible de los residuos generados en la producción porcina. Para asegurar que haya materia prima de calidad para producir biofertilizantes y mejorar su uso en los sistemas productivos, se aconseja llevar un registro constante de la producción y el tratamiento de las excretas porcinas.

Se aconseja seguir evaluando diversas técnicas para el tratamiento de excretas porcinas y adoptar nuevas tecnologías o microorganismos que hagan posible optimizar la efectividad del proceso de degradación y producir biofertilizantes con propiedades físicas, químicas y biológicas superiores.

Para establecer su impacto en el crecimiento de las plantas, la fertilidad del suelo y la producción agrícola, se aconseja extender los estudios sobre la calidad de los biofertilizantes obtenidos. Esto incluye evaluaciones agronómicas en distintas variedades de cultivos y tipos de terreno, produciendo información que apoye su aplicación a una escala más amplia.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agegehu, G. 2022. The Role of Organic Amendments in Improving Soil Fertility and Crop Productivity. *Soil Systems*. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6010014>
- Allouzi, A., Allouzi, S.M., & Keng, Z.X. 2022. Liquid Biofertilizers as a Sustainable Solution for Agriculture. *Heliyon*, 8(12), e12609. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12609>
- Ameen, A. 2021. Organic Amendments and Beneficial Microorganisms Improve Soil Fertility and Crop Productivity: A Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 3210–3228. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00595-4>
- Andes, T. 2025. Microorganismos eficaces (EM): definición, composición funcional y mecanismos de acción. Repositorio Institucional UTEA. <https://repositorio.utea.edu.pe/>
- Andraskar, Y. 2021. Challenges and Control Strategies of Odor Emission from Composting Operation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(7), 2331–2356. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03490-3>
- Aseporc (Asesorías Porcinas). 2020. Manejo de residuos en granjas porcinas. <https://aseporcasesorias.com/manejo-de-residuos-en-granjas-porcinas/>
- Awasthi, K. 2017. Composting Technology in Waste Stabilization: On the Methods, Challenges and Future Prospects. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>
- Awasthi, K. 2020. Heterogeneity of Biochar Amendment to Improve the Composting Performance: A Review. *Bioresource Technology*, 314, 123777. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123777>
- Awasthi, K. 2021. A Critical Review on the Impacts of Composting on Nutrient Conservation and Compost Quality. *Bioresource Technology*, 332, 125122. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125122>
- Awasthi, M. 2022. Recent Advances in Composting Technologies for Organic Waste Management. *Bioresource Technology*, 344, 126152. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126152>
- Awasthi, M. 2023. Organic Waste Bioconversion Technologies and Nutrient Recovery: Current Status and Future Perspectives. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128362>
- Ayala, L. 2018. Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. *Anales Científicos*, 79(2). <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i2.914>
- Ayilara, S. 2020. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>

- Bara, S., & Rosales, T. 2021. Excretas porcinas para la producción de biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en la localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica – 2021. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71995/Baras_HJZ-Rosales_REM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baras , Z. 2021. Excretas porcinas para la producción de biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en la localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71995>
- Barrena, R., et al. 2022. Home Composting: A Review of Scientific Advances. Engineering Proceedings, 19(1), 35. <https://doi.org/10.3390/ECP2022-12625>
- Barzallo, L.A. 2019. Bio-Digestion and Post-Treatment of Effluents by Bio-Fermentation, an Opportunity for Energy Uses and Generation of Organic Fertilizers from Bovine Manure. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0275-5>
- Bernal, M. 2009. Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment: A Review. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bernal, M. 2021. Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment: A Review. Bioresource Technology. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421007066>
- Bernal, M. 2022. Compost Quality Parameters and Agronomic Value: Recent Advances and Perspectives. Frontiers in Sustainable Food Systems. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.875214>
- Bernal, M. 2026. An Overview of Conventional and Emerging Aspects of Compost: Quality Indicators for Agricultural Uses, Emerging Contaminants and Technological Innovations. Frontiers in Sustainable Food Systems. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2026.1785912>
- Bhardwaj, A. 2024. Vermicompost: A Potential Organic Fertilizer for Sustainable Vegetable Cultivation. Scientia Horticulturae. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113443>
- Blanch, A. 2017. La proteína del pienso no digerida, afecta a la salud de los cerdos. https://www.3tres3.com/latam/articulos/la-proteina-del-pienso-no-digerida-afecta-a-la-salud-de-los-cerdos_12027/
- Cai, L. 2021. Microbial Degradation in the Co-Composting of Pig Manure and Biogas Residue Using a Recyclable Cement-Based Synthetic Amendment. Waste Management, 126, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.036>
- Cardozo, et al. 2021. Manual para la elaboración de biofertilizantes a partir de desechos agropecuarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería de Argentina. https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16680_-_Producto_5.pdf

- Carrera, C. 2020. Manual del biol. [https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOL SA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOL%20SA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf)
- De Vrieze, J. 2019. Resource Recovery from Pig Manure via an Integrated Approach: A Technical and Economic Assessment for Full-Scale Applications. *Bioresource Technology*, 272, 582–593. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.024>
- Díaz, K. 2023. Microorganismos eficientes, mecanismo, formas de acción y aplicaciones en la ganadería. *Revista Veterinaria Argentina*. <https://www.veterinariargentina.com/revista/2023/01/microorganismos-eficientes-mecanismo-formas-de-accion-y-aplicaciones-en-la-ganaderia/>
- Enebe, M. 2023. Vermicomposting Technology: A Perspective on Vermicompost Production Technologies, Limitations and Prospects. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>
- Epstein, E. 2011. *Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities Management*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11279>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2001. Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI) - Opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona centro de México. <https://www.fao.org/4/x6372s/x6372s08.htm>
- Feuchter, F. 2024. Una revisión sobre la producción de gas metano porcino en lagunas anaeróbicas. *Abanico Boletín Técnico*, 3(1). <https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/article/view/159/127>
- Gallo, B. 2018. Dimensionamiento de instalaciones para el tratamiento de purines de una empresa porcina en confinamiento. Universidad Nacional de La Pampa. https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/tratamiento_de_efluentes_UNLPam.pdf
- Gil, L. 2023. Biofertilizante "biol": caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa*, 7(20), 336-345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Glibert, P.M. 2020. From Hogs to HABs: Impacts of Industrial Farming in the US on Nitrogen and Phosphorus and Greenhouse Gas Pollution. *Biogeochemistry*, 150, 139–180. <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00691-6>
- Hargreaves, J. 2008. A Review of the Use of Composted Municipal Solid Waste in Agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(1–3), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004>
- Haug, R. 2001. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. CRC Press. <https://books.google.com/books?id=nsTsCAAQBAJ>
- Huzir, N. 2026. Composting as a Pathway for Organic Waste Valorization: Substrate Performance, Process Strategies, and Quality Benchmarks. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. <https://doi.org/10.1007/s10163-025-02460-9>

- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2021. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf
- Instituto Certified en América Latina. 2024. Nutrición de los cerdos: conozca los principales sistemas de alimentación. <https://certifiedhumanelatino.org/nutricion-de-los-cerdos-conozca-los-principales-sistemas-de-alimentacion/>
- Jara, J., Mejía, E., & Ramos, S. 2025. Estudio comparativo de cuatro tratamientos biológicos para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. *Perfiles*, 1(33). <https://doi.org/10.47187/perf.v1i33.318>
- Ji, Z. 2023. Evaluation of Composting Parameters, Technologies and Maturity Indexes for Aerobic Manure Composting: A Meta-Analysis. *Science of the Total Environment*, 886, 163929. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723025500>
- Katiyar, R. 2023. Vermicompost: An Eco-Friendly and Cost-Effective Alternative for Sustainable Agriculture. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su152014701>
- Khalil, A. 2022. Salinity Indicators and Nutrient Dynamics in Organic Fertilizers. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112738>
- Kumar, A. 2021. Composting: A Sustainable Approach for Managing Organic Waste and Improving Soil Health. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101889. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101889>
- Leiva, F. 2023. Biofertilizante "biol": caracterización física, química y microbiológica. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Li, C. 2021. Different Effects of Thermophilic Microbiological Inoculation with and without Biochar on Physicochemical Characteristics and Bacterial Communities in Pig Manure Composting. *Frontiers in Microbiology*, 12, 746718. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.746718>
- Linares, L. 2026. Agronomic Use of Biol and its Effects on Soil Quality and Plant Growth: A Narrative Synthesis with Bibliometric Analysis. *South Sustainability*. <https://doi.org/10.21142/SS-0701-2026-e138>
- Liu, H. 2021. Changes in Physical Properties and Maturity during Livestock Manure Composting. *Waste Management*, 120, 519–527. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.032>
- Lopes, I. 2023. Nutrient Dynamics and Agronomic Quality of Organic Fertilizers Derived from Agricultural Wastes. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su151813687>
- Mamani, A. 2023. Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: una revisión sistemática. *Revista Acciones Médicas*. <https://doi.org/10.35622/j.ram.2023.04.004>

- Manu, M. 2021. A Review on Nitrogen Dynamics and Mitigation Strategies of Food Waste Digestate Composting. *Bioresource Technology*, 334, 125032. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125032>
- Martín, L. 2021. Contexto general del manejo de excretas porcinas a nivel granja. CONAMER. <https://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/21218/recibido/98223/B000212666>
- Matiz, A. 2023. Trends in the Management of Organic Swine Farm Waste by Composting: A Systematic Review. *Heliyon*, 9(8), e18208.
- Mazinani, Z. 2021. Evaluation of Compost Maturity using Physicochemical Indicators. *Scientific Reports*, 11, 13234. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-92629-0>
- Mihalache, G. 2024. Humic Substances from Waste-Based Fertilizers for Improved Soil Fertility. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112657>
- Molina. 2020. Tratamiento de las excretas de cerdo mediante un reactor anaeróbico SCFBR a nivel de banco. Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz, M. 2020. Sistemas de depuración de aguas. https://webhistorico.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2020/10/Aguas_Residuales.pdf
- Muñoz, W. 2019. Producción de biofertilizante a partir de la descomposición de biomasa a través de biodigestores. Universidad Técnica de Babahoyo. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6162/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-0000027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nemet, F. 2021. Microbiological Activities in the Composting Process – A Review. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 8(2), 41–53. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2021.8.2.41>
- Ojeda, M. 2023. Principios generales para el manejo de residuos orgánicos municipales. Universidad Mayor de San Simón. <https://web.dicyt.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2023/11/Principios-generales-para-el-manejo-de-residuos-organicos-municipales.pdf>
- Onwosi, C. 2019. Composting Technology in Waste Stabilization: On the Methods, Challenges and Future Prospects. *Journal of Environmental Management*, 190, 140–157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>
- Orrala, K. 2021. Manejo de excretas de origen porcino en la comuna San Pedro, parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6325/1/UPSE-TIA-2021-0060.pdf>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 2019. Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 170, 1-114. <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/safe-and-effective-fertilising-products-on-the-eu-market.html>

- Pathma, J. 2022. Microbial Diversity and Functions Associated with Organic Waste Transformation and Biofertilizer Production. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102140. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102140>
- Pena, S. 2023. Economía circular en granjas porcinas: estudio económico de caso en la provincia de Córdoba, Argentina. *Agronomía & Ambiente*. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/242>
- Peñafiel, P. 2021. Caracterización del funcionamiento de un biodigestor tubular alimentado con estiércol porcino en la Amazonía ecuatoriana. *Ingenio Magno*, 12(1), 6–24. <https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2306>
- Pergola, M. 2020. Compost Maturity Evaluation through Physical, Chemical and Biological Indicators. *Agronomy*, 10(11), 1758. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111758>
- Quiñónez, J., Almache, P., Jaramillo, K., & Núñez, L. 2025. Economía circular en la agroindustria: aprovechamiento de residuos agroalimentarios para generar bioproductos. *Remulci*, 3(1), e-1158. <https://doi.org/10.59282/remulci.3.1.1158>
- Ramos, R. 2022. Vermicomposting of Cow Manure: Effect of Time on Earthworm Biomass and Chemical, Physical, and Biological Properties of Vermicompost. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126211>
- Ratnasari, A. 2023. A Review of the Vermicomposting Process of Organic and Inorganic Waste in Soils: Additives Effects, Bioconversion Process, and Recommendations. *Bioresource Technology Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101332>
- Raza, S. 2024. Effective Microorganisms and Organic Waste Management: Mechanisms, Applications and Agronomic Benefits. *Agronomy*, 14(2), 386. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020386>
- Rehman, S. 2023. Vermicompost: Enhancing Plant Growth and Combating Abiotic and Biotic Stress. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>
- Rodríguez, C. 2020. Microorganismos alterantes y patógenos. <https://csaconsultores.com/microorganismos-alterantes-y-patogenos/>
- Rout, R., Pandey, S., Haynes, M., Briggs, C., & Manuel, C. 2023. Sustainable Valorisation of Animal Manures via Thermochemical Conversion Technologies: An Inclusive Review on Recent Trends. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 553–582. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01916-5>
- Sánchez, S. 2026. El compostaje en agroecología: efectos sobre la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y los microorganismos beneficiosos. *Scientia Agropecuaria*. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.015>
- Sánchez, M. 2019. Role of Biochar as an Additive in Organic Waste Composting. *Bioresource Technology*, 247, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193>

- Sánchez, M. 2021. Role of Organic Matter Stabilization Indicators in Assessing Compost Maturity. *Waste Management*, 120, 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.032>
- Santos, V. 2021. Soil Microbial Biomass and Organic Matter Dynamics in Manure-Amended Agricultural Systems. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103938>
- Segura, C. 2021. Biofertilizantes. <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es>
- Sharma, A. 2023. Biofertilizer – A Key Player in Enhancing Soil Fertility and Agricultural Sustainability. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.02.2023.10>
- Siles, A. 2020. Monitoring Composting Process and Compost Quality. *Waste Management*, 102, 806–816. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.045>
- Silva, A. 2022. Applicability of Efficient Microorganisms (EM) in Agriculture: Literature Review. *Research, Society and Development*. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25054>
- Singh, J. 2023. Organic Waste Bioconversion and Nutrient Recycling through Microbial Technologies: Current Advances and Future Perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101410. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101410>
- Sivashankar, R. 2023. Sustainable Organic Waste Management using Vermicomposting: A Critical Review on the Prevailing Research Gaps and Opportunities. *Environmental Science: Processes & Impacts*. <https://doi.org/10.1039/D2EM00324D>
- Suárez, J. 2020. Manejo de excretas porcinas y su aprovechamiento en la producción de biofertilizantes. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Trejo, O. 2025. Biofertilizantes mineralizados en sistemas agroecológicos: interacciones microbianas y desafíos para el escalamiento productivo. *Terra Latinoamericana*, 43. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2222>
- Vaishnav, S., Saini, T., Chauhan, A., Gaur, G.K., Tiwari, R., Dutt, T., & Tarafdar, A. 2023. Livestock and Poultry Farm Wastewater Treatment and its Valorization for Generating Value-Added Products: Recent Updates and Way Forward. *Bioresource Technology*, 382, 129170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129170>
- Vera, I., et al. 2022. Integration of Swine Manure Anaerobic Digestion and Digestate Nutrients Removal/Recovery under a Circular Economy Concept. *Journal of Environmental Management*, 301, 113825. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113825>
- Wang, W. 2021. Enhancing the Compost Maturation of Swine Manure and Rice Straw by Applying Bioaugmentation. *Scientific Reports*, 11, 6103. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85615-6>

- Wang, Y. 2021. Emissions, Measurement, and Control of Odor in Livestock Farms: A Review. *Science of the Total Environment*, 776, 145735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145735>
- Waqas, M. 2023. Composting Processes for Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review. *Processes*, 11(3), 731. <https://doi.org/10.3390/pr11030731>
- Xu, Y. 2021. Compositional and Functional Succession of Bacterial and Fungal Communities is Associated with Changes in Abiotic Properties during Pig Manure Composting. *Waste Management*, 131, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.023>
- Zhang, J. 2022. Changes in Salinity and Nutrient Dynamics during Livestock Manure Composting and their Implications for Agricultural Use. *Journal of Environmental Management*, 318, 115601. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115601>
- Zhou, Y., Li, H., Guo, W., Liu, H., & Cai, M. 2022. The Synergistic Effect between Biofertility Properties and Biological Activities in Vermicomposting: A Comparable Study of Pig Manure. *Journal of Environmental Management*, 324, 116280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116280>
- Zhu, P. 2021. Reducing Odor Emissions from Feces Aerobic Composting: Additives. *RSC Advances*, 11, 15977–15988. <https://doi.org/10.1039/D1RA00355K>

6 ANEXOS



FIGURA A1. Lombrices Eufenia fetida



FIGURA A2. Realizando la toma de peso de excrementos de los cerdos



FIGURA A3. Tratamiento de compostaje



FIGURA A4. Lugar experimental de todos los tratamientos



FIGURA A5. Tratamiento de bioles para la toma de la ce.



FIGURA A6. Toma de la conductividad eléctrica en compostaje



FIGURA A7. Conductividad eléctrica en biol



FIGURA A8. Textura de compostaje



FIGURA A9. Tratamientos de compostaje y compostaje con ME



FIGURA A10. Peso de compostaje con ME



FIGURA A11. Aplicación de ME en el biol.



FIGURA A12. Recipiente donde se realizó el biol.



FIGURA A13. Biol listo para la fermentación



FIGURA A14. Tomando el peso del excremento para el biol.



FIGURA A15. Aplicación de levadura para el biol



FIGURA A16. Textura de compostaje con microorganismos eficientes.

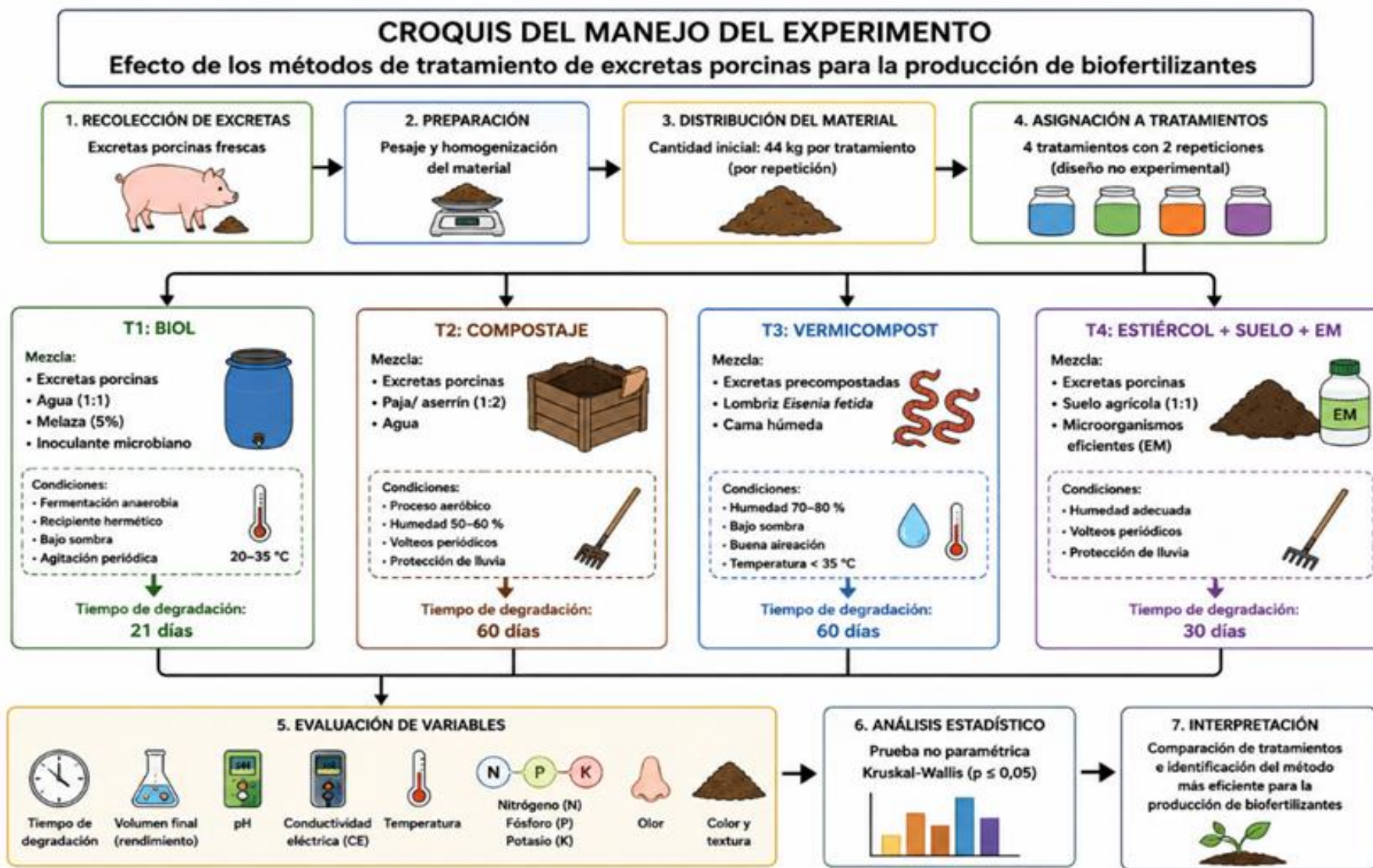


FIGURA A 17. Croquis del manejo experimental de todos los tratamientos realizado por la IA.