



Análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación de un biodigestor en la finca porcícola de la vereda mancilla en Facatativá, para la generación de biogás y el aprovechamiento de las heces de los cerdos, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y las emisiones de carbono

Julio Cesar Gómez Gómez
Jose Luis Lizarazo Espinoza

José Eduardo Suárez

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano
Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2026

ÍNDICE

RESUMEN DEL PROYECTO	3
1. TITULO DE LA PROPUESTA:	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	5
3. OBJETIVO GENERAL:	7
5. MARCO TEÓRICO.....	10
6. METODOLOGÍA.....	16
7. RESULTADOS	23
8. DISCUSIÓN	33
9. CONCLUSIONES	34
10. RECOMENDACIONES	34

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Estimación global de emisiones por especie; fuente: (Poza, 2021)	5
Ilustración 2: Etapas de digestión anaeróbica con producción de biogás y biofertilizante; fuente: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/147285/mod_resource/content/1/Apunte%20sobre%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%20y%20biog%C3%A1s%20_Edici%C3%B3n%20	13
Ilustración 3: Biodigestor tipo chino; fuente: FAO Manual Biogás (2011)	14
Ilustración 4: Biodigestor tipo indio; fuente: FAO Manual Biogás (2011).....	14
Ilustración 5: Biodigestor tipo batch; fuente: FAO Manual Biogás (2011)	15
Ilustración 6: Proceso actual de generación y manejo de residuos porcinos (AS-IS). Elaboración propia (2026)	23
Ilustración 7: Área destinada para la construcción del nuevo corral porcino en la finca objeto de estudio; Elaboración propia (2026).....	24
Ilustración 8: Corral de los cerdos en la finca objeto de estudio. Elaboración propia (2026)	24
Ilustración 9: Corral de alojamiento de los cerdos en la finca objeto de estudio. Elaboración propia (2026)	24
Ilustración 10: Especificaciones Biodigestor. Fuente propuesta comercial Renovenergy (2026).....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estimación de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol. Elaboración propia basada en datos base de IPCC 2006	6
Tabla 2: Huella de carbono e intensidad de emisiones GEI en la producción mundial de carne. Fuente (Garcia, 2022)	8
Tabla 3: Proporción de huella de carbono en la producción de las carnes. Fuente elaboración propia (2026).....	9
Tabla 4: Producción y variación anual de carne de cerdo en Colombia 2019-2025 (Ton/mes). Fuente Pork Colombia (2026).....	10
Tabla 5: características generales del Biogás; fuente FAO; Manual de Biogas; https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf	12
Tabla 6: Variables de investigación. Elaboración propia (2026)	18
Tabla 7: Criterios de evaluación. Elaboración propia (2026).....	19
Tabla 8: Tabla metodológica. Elaboración propia (2026)	20
Tabla 9: Tabla de generación de estiércol. Elaboración propia (2026)	25
Tabla 10: Costos anuales por fertilizantes. Elaboración propia (2026).....	25
Tabla 11: Estimación de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol. Elaboración propia basada en datos base de IPCC 2006	26
Tabla 12: Características de la finca en la actualidad. Elaboración propia (2026)	26
Tabla 13: Dimensionamiento del Biodigestor propuesto. Elaboración propia (2026)	27
Tabla 14: Estimación del potencial de producción de biogás de la finca. Elaboración propia (2026).....	29
Tabla 15: Beneficios esperados con la propuesta del Biodigestor en la finca. Elaboración propia (2026)	30
Tabla 16: Costos operativos actuales de la finca porcícola. Fuente: Información proporcionada por el propietario de la finca (2026)	31
Tabla 17: Inversión requerida. Fuente propuesta comercial Renovenergy (2026).....	31
Tabla 18: Costos estimados de operación y mantenimiento. Elaboración propia (2026). ...	32
Tabla 19: Beneficios económicos esperados. Elaboración propia (2026).....	32
Tabla 20: Comparación escenarios de factibilidad evaluados. Elaboración propia (2026)..	32

RESUMEN DEL PROYECTO

La actividad porcícola genera residuos orgánicos que cuando no son gestionados de la manera correcta pueden ocasionar impactos ambientales relacionados con la emisión de gases efecto invernadero y el desaprovechamiento de recursos con potencial productivo.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de factibilidad para la implementación de un biodigestor en una finca familiar ubicada en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá, la cual genera aproximadamente 3.285 kg de estiércol porcino al año provenientes de una cantidad de nueve cerdos, los cuales actualmente no son aprovechados. La propuesta consiste en aprovechar los residuos mediante un proceso de biodigestión anaerobia, orientado a la generación de biogás y digestato, contribuyendo a la reducción del uso de fertilizantes químicos en la finca y la reducción de las emisiones de carbono.

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, con alcance descriptivo y diseño no experimental, mediante la caracterización del proceso actual, la cuantificación de residuos, el análisis de emisiones de carbono, la evaluación de alternativas tecnológicas y la estimación de costos y beneficios asociados a la implementación del sistema.

Los resultados evidencian una inversión de \$10.042.261 para la implementación del sistema y un potencial de ahorro anual de hasta \$7.200.000 asociado a la sustitución de fertilizantes químicos lo cual permite una recuperación de la inversión en aproximadamente 1.52 años bajo el escenario más favorable, así mismo, se identificaron beneficios ambientales al reducir emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, los resultados corresponden a una estimación teórica dado que el biodigestor no ha sido implementado ni validado experimentalmente

Palabras Claves: Biodigestión Anaerobia, Residuos porcinos, Biogás, Economía circular, Biodigestor

ABSTRACT

Pig farming generates organic waste that, when not properly managed, can cause environmental impacts related to greenhouse gas emissions and the underutilization of resources with productive potential.

The objective of this study is to conduct a feasibility analysis for the implementation of a biodigester on a family-owned farm located in the Mancilla district of the municipality of Facativá. The farm generates approximately 3,285 kg of pig manure per year from a population of nine pigs, which is currently not being fully utilized. The proposed solution consists of processing these residues through an anaerobic digestion system aimed at producing biogas and digestate, thereby contributing to the reduction of chemical fertilizer use on the farm and the mitigation of carbon emissions.

This research was conducted using a mixed-method approach, with a descriptive scope and a non-experimental design. The methodology included the characterization of the current waste management process, waste quantification, carbon emission analysis, evaluation of technological alternatives, and estimation of the costs and benefits associated with the implementation of the system.

The results indicate an estimated investment of COP \$10,042,261 for the implementation of the system and a potential annual saving of up to COP \$7,200,000 associated with the replacement of chemical fertilizers. Under the most favorable scenario, the investment could be recovered in approximately 1.52 years. In addition, potential environmental benefits were identified through the projected reduction of greenhouse gas emissions. However, these results correspond to theoretical estimates, as the biodigester has not yet been implemented or experimentally validated.

Keywords: Anaerobic Digestion, Pig Waste, Biogas, Circular Economy, Biodigester.

1. TITULO DE LA PROPUESTA:

Análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación de un biodigestor en la finca porcícola de la vereda mancilla en Facatativá, para la generación de biogás y el aprovechamiento de las heces de los cerdos, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y las emisiones de carbono.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La finca objeto de estudio, ubicada en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá, desarrolla una actividad de producción porcícola a pequeña escala con una población de 9 cerdos. Como resultado de esta actividad se generan aproximadamente 9 kilos diarios de estiércol porcino el cual puede ser aprovechado como recurso productivo. La gestión inadecuada de las heces ha presentado un problema ambiental por la generación de malos olores, plagas, contaminación del suelo y el agua que perjudica a las personas que habitan la finca. Adicionalmente, para el tratamiento y manutención del suelo, es necesario utilizar cantidades importantes de fertilizantes químicos lo que incrementa los costos de producción y el deterioro del medio ambiente en el tiempo haciéndolo poco sostenible.

(Garcia, 2022) establece que “El sector porcino, junto al ganadero son uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero (GEI), responsables del cambio climático. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la ganadería es responsable del 14,5% de las emisiones globales de GEI. Los principales gases de efecto invernadero emitidos por el sector ganadero y porcino son el metano, el óxido nitroso y el dióxido de carbono”. El óxido nitroso se produce por la descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los excrementos de los animales, adicionalmente, el sector porcino también tiene un impacto negativo en otros aspectos ambientales, como la contaminación del agua, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.

El siguiente gráfico muestra la estimación de emisiones por especie en donde se evidencia que el ganado vacuno es el más contaminante seguido del porcino (Poza, 2021)



Ilustración 1: Estimación global de emisiones por especie; fuente: (Poza, 2021)

Al no realizar un adecuado manejo de los residuos, en las industrias que las generan, se aumentaría la cantidad de residuos orgánicos como el estiércol, al igual que los impactos ambientales negativos, afectando de esta manera al medio ambiente y al ser humano.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006), los sistemas de producción porcina pueden generar emisiones aproximadas de metano (CH_4) de 6 Kilos por animal al año, derivados del manejo y almacenamiento de estiércol. En base a esto se calcula que para la finca objeto de estudio ubicada en la vereda Mancilla con 9 cerdos podría generar aproximadamente 54Kg de CH_4 al año, por otra parte, el metano tiene un potencial de calentamiento global de 27 veces el CO_2 , por lo tanto, para calcularlo tenemos: $\text{CO}_2\text{e} = \text{CH}_4 \times \text{GWP}$, en donde $\text{CH}_4 = 54\text{Kg/año}$ $\text{GWP} = 27$.

$$\text{CO}_2\text{e} = 54 * 27 = 1.458 \text{ Kg } \text{CO}_2 / \text{año}$$

La siguiente tabla muestra la estimación de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol en la finca objeto de estudio.

Tabla 1: Estimación de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol. Elaboración propia basada en datos base de IPCC 2006

Concepto	Fórmula	Parámetro por animal	Cálculo para 9 cerdos	
Número de animales (N)		1 cerdo	9 cerdos	
Factor de emisión de metano (FE)		6 kg CH_4 /cerdo-año	6 kg CH_4 /cerdo-año	6 kg CH_4
Emisión anual de metano (CH_4)	$\text{CH}_4 = \text{N} \times \text{FE}$	1×6	9×6	54 kg CH_4 /año
Potencial de calentamiento global del metano (GWP)		27 kg CO_2e /kg CH_4	27 kg CO_2e /kg CH_4	27
Emisión anual de CO_2 equivalente	$\text{CO}_2\text{e} = \text{CH}_4 \times \text{GWP}$	6×27	54×27	1.458 kg CO_2e /año
Conversión a toneladas	$\text{Ton } \text{CO}_2\text{e} = \text{kg } \text{CO}_2\text{e} \div 1000$	$162 \div 1000$	$1458 \div 1000$	1,46 ton CO_2e /año
Emisión mensual estimada	$\text{CO}_2\text{e mensual} = \text{CO}_2\text{e anual} \div 12$	$162 \div 12$	$1458 \div 12$	121,5 kg CO_2e /mes
Emisión diaria estimada	$\text{CO}_2\text{e diaria} = \text{CO}_2\text{e anual} \div 365$	$162 \div 365$	$1458 \div 365$	4,0 kg CO_2e /día

En una investigación realizada en cinco fincas porcinas de Dinamarca, se evidencio que aquellas que incluían procesos de biodigestión presentaron emisiones de metano 55% inferiores, respecto a aquellas que realizaban el proceso tradicional sin tratamiento. (Vechi, Jensen y Scheutz (2022)

Costos en fertilizantes

Referente a los costos en fertilizantes Urea, necesarios para la manutención de las praderas, huertas y jardines de la finca, se han venido incrementando año a año alcanzando valores de hasta \$600.000 mensualmente. De acuerdo con un estudio realizado por (Buligon, 2023), se evidenció que el digestato proveniente del tratamiento con el biodigestor puede llegar a sustituir entre el 50% y el 100% del fertilizante químico sin afectar el rendimiento de los cultivos.

Frente a esta problemática, surge la propuesta del diseño de un sistema de biodigestor el cual es una alternativa de generación de biogás, a partir de los desechos de animal que puede ser implementado para la producción de Bio fertilizantes, después de pasar por un proceso de fermentación anaerobia que ocurre durante el proceso. (Bavera, 2008)

Alcance

En una finca ubicada en la vereda Mancilla en Facatativá, se encuentra un emprendimiento familiar porcícola compuesto por 9 cabezas de cerdos, los cuales generan diariamente 9 kilos de estiércol, los cuales son recogidos 2 veces al día en los procesos de limpieza, estos residuos no cuentan con un sistema de aprovechamiento estructurado lo cual representa una oportunidad de mejora en términos económicos y ambientales. Las principales causas de esta problemática son: falta de un sistema de tratamiento para la porcínaza, dependencia del uso de fertilizantes químicos para el mantenimiento del suelo y ausencia de procesos de economía circular en la finca.

Solución propuesta

Como alternativa para solucionar esta problemática, se propone realizar un análisis de factibilidad para la implementación de un biodigestor, el cual permite convertir la materia orgánica en biogás y digestato. Esta solución está compuesta por una cámara donde se deposita la materia orgánica para su descomposición, otra en donde se almacena el biogás y las tuberías que transportan en biogás hasta el lugar donde se utilizará (Reguera, 2024)

La implementación del biodigestor no hace parte de la investigación, por tanto, los beneficios identificados corresponden a estimaciones obtenidas a partir del análisis desarrollado y deberán validarse mediante una fase piloto.

Pregunta: ¿Cómo diseñar un sistema de biodigestión que mejore el aprovechamiento de los residuos porcinos en una finca de la vereda mancilla en Facatativá, con el propósito de reducir la dependencia en fertilizantes químicos y las emisiones de carbono?

OBJETIVOS

3. OBJETIVO GENERAL:

Realizar el análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación de un biodigestor en la finca porcícola de la vereda mancilla en Facatativá, para la generación de biogás y el aprovechamiento de las heces de los cerdos, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y las emisiones de carbono.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el proceso actual de generación y manejo de residuos en la finca, cuantificando la producción de estiércol y los costos asociados al uso de los fertilizantes químicos.
- Analizar las condiciones técnicas y económicas necesarias para la implementación de un sistema de biodigestión, teniendo en cuenta los volúmenes, la producción estimada de gas y la generación de digestato.
- Estimar el impacto del sistema de biodigestión propuesto, en cuanto a la reducción de costos de fertilizantes y aprovechamiento del biogás en la finca.

4. JUSTIFICACIÓN:

La actividad porcícola ha presentado un crecimiento sostenido en el mundo durante los últimos años, generando beneficios económicos para el sector agropecuario; sin embargo, este crecimiento también ha incrementado la generación de residuos orgánicos y los impactos ambientales asociados a su manejo inadecuado (Fajardo, 2024).

Estudios han demostrado que la producción porcina genera una cantidad importante de residuos con alta carga orgánica y elevado potencial contaminante, debido a los gases efecto invernadero que producen. La siguiente tabla muestra la huella de carbono e intensidad de emisiones de gas efecto invernadero en la producción mundial de carne.

Tabla 2: Huella de carbono e intensidad de emisiones GEI en la producción mundial de carne. Fuente (Garcia, 2022)

		ASIA ORIENTAL YSUDESTE ASIÁTICO	AMÉRICA LATINA YEL CARIBE	EUROPA OCCI- DENTAL	AMÉRICA DEL NORTE	ASIA MERI- DIONAL	ORIENTE PRÓXIMO YAFRICA DEL NORTE	ÁFRICA SUBSA- HARIANA	EUROPA ORIEN- TAL	FEDERACIÓN RUSA	OCEA- NÍA	TOTAL
BOVINO	PROD	1,252.08	3,289.67	1,171.45	2,052.74	686.93	474.52	456.74	262.97	250.82	384.30	10,282
	HdC	415,566	1,358,520	149,918	303,170	363,451	131,640	187,503	27,401	24,344	75,597	3,037,110
	IE	331.9	413.0	128.0	147.7	529.1	277.4	410.5	104.2	97.1	196.7	2,636
OVINO	PROD	125.88	93.79	180.98	9.80	105.66	193.20	123.95	17.26	23.15	200.05	1,074
	HdC	26,944	20,618	19,741	2,129	31,997	59,294	25,679	1,231	3,858	24,092	215,583
	IE	214.2	219.8	109.1	217.2	302.8	306.9	207.2	71.3	166.7	120.4	1,936
CAPRINO	PROD	277.08	32.73	17.79	6.05	190.17	79.49	126.65	3.88	3.58	6.38	744
	HdC	44,872	5,653	1,302	721	44,009	15,922	36,143	375	185	835	150,017
	IE	161.6	172.7	73.2	119.1	231.4	200.3	285.4	96.8	51.7	130.8	1,523
BÚFALOS	PROD	113.85	20.26	3.74	1.24	420.93	37.93		0.56	0.10		599
	HdC	63,163	4,735	296	74	159,347	14,103		103	24		241,845
	IE	554.8	233.7	79.1	59.6	378.6	371.8		183.9	246.0		2,108

PORCINO	PROD	7,291.00	1,392.82	2,962.17	1,742.06	123.20	42.25	229.93	709.83	310.07	80.73	14,884
	HdC	457,882	76,014	147,979	63,662	9,352	2,906	12,432	31,377	11,190	6,561	819,355
	IE	62.8	54.6	50.0	36.5	75.9	68.8	54.1	44.2	36.1	81.3	564
AVES	PROD	3,712.34	3,759.01	943.30	2,621.74	1,302.83	914.36	281.83	358.07	326.31	117.43	14,337
	HdC	189,987	120,185	29,259	55,784	48,878	32,765	10,926	7,376	7,057	4,136	506,353
	IE	51.2	32.0	31.0	21.3	37.5	35.8	38.8	20.6	21.6	35.2	325

Acotaciones: PROD=Producción (Miles de toneladas) /HdC=Huella de Carbono por emisión total de Gases de Efecto Invernadero (Miles de toneladas de CO2-eq) /IE=Intensidad de la emisión (kg CO2-eq por kg de proteína-1)

Fuente: Elaboración propia con base en el procesamiento de datos tomados de GLEAM (2020).

En la siguiente tabla se evidencia que la proporción de huella de carbono en la producción de carne de cerdo en el mundo deja el 14.5% y en America Latina el 4.8%.

Tabla 3: Proporción de huella de carbono en la producción de las carnes. Fuente elaboración propia (2026)

	Aves	Bovino	Búfalos	Caprino	Ovino	Porcino	Total general	%
África Subsahariana	16.763	410.540	1.839	36.143	77.213	31.377	573.875	5,5%
América del Norte	57.584	303.170	746	721	2.189	63.662	428.072	14,9%
América Latina y el Caribe	120.185	1.358.520	4.735	5.563	20.618	76.014	1.585.635	4,8%
Asia Meridional	48.879	363.451	159.347	44.009	39.594	9.352	664.632	1,4%
Asia Oriental y Sudeste Asiático	189.987	415.566	63.163	44.872	26.941	457.882	1.198.411	38,2%
Europa Occidental	29.259	149.918	946	1.302	19.071	147.979	348.475	42,5%
Federación Rusa	9.706	104.942	246	375	16.667	11.190	143.126	7,8%
Oceanía	9.416	347.753	2	185	38.240	8.631	404.227	2,1%
Oriente Próximo y África del Norte	32.576	114.607	13.160	15.922	25.679	12.432	214.376	5,8%
Total	514.351	3.778.417	241.845	150.017	265.252	819.355	5.769.237	14,2%
Total general	1.028.706	7.346.884	486.029	299.109	531.464	1.637.874	11.330.066	14,5%

Según La Corporación Autónoma Regional CAR, se han reportado varias afectaciones ambientales en donde han estado involucradas las actividades porcícolas en el departamento. En enero de 2026, una inspección realizada al municipio de Pacho identificó el vertimiento de aproximadamente 25.000 litros de porcina, generando afectación al medio ambiente en el departamento. (CAR, 2026)

Este proyecto es de gran importancia, no solo para que la finca del sector se vea beneficiada, sino para que sea referente de las familias de fincas cercanas para que logren tener beneficios del biogás, logrando obtener reducción en la contaminación, gracias al estiércol generado diariamente por sus cerdos el cual constituye un residuo con gran potencial de aprovechamiento, logrando mantener fincas sostenibles con producción amigable con el medio ambiente. Esta iniciativa, también busca generar un cambio en la visión de los campesinos del sector en cuanto al manejo de la producción porcícola en las fincas de la vereda mancilla que también manejan su producción de manera tradicional, para que sus actividades productivas se realicen de manera sostenible y que sus fincas también puedan incorporar la materia orgánica generada en forma de combustible.

5. MARCO TEÓRICO

El siguiente marco teórico, presenta los conceptos, teorías y antecedentes que soportan el desarrollo del proyecto que consiste en el diseño de un sistema de biodigestión para el aprovechamiento de residuos porcinos orientado a la reducción de costos y de emisiones de carbono. En base a lo anterior, se desarrolla el marco conceptual y estado del arte, los cuales se enfocan en fundamentos de ingeniería industrial.

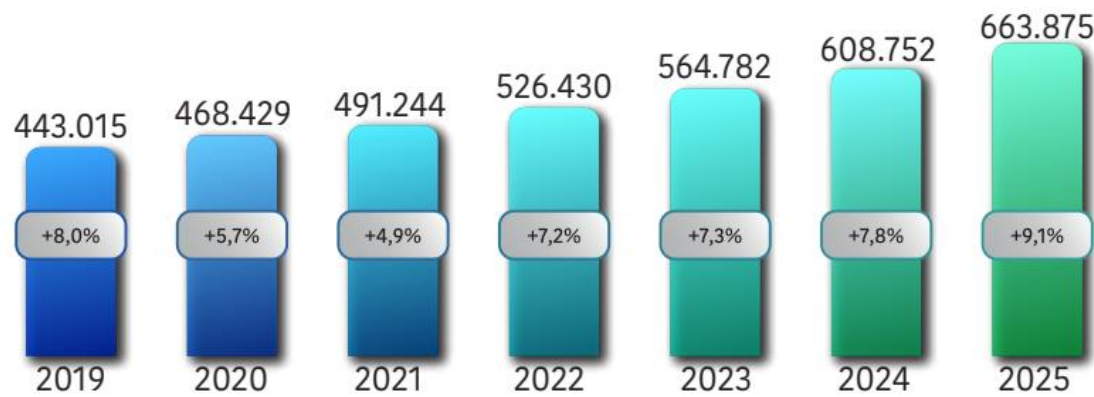
5.1 Marco conceptual

5.1.1 Producción porcícola

La producción porcícola se encarga de la cría, alimentación y comercialización de cerdos para el consumo de su carne, se caracteriza por nutrir los animales y manejar controles de seguridad con el propósito de obtener productos magros; las fases de la producción corresponden a la cría, alimentación, reproducción, levante y comercialización (Carrero, 2005). Por otra parte, según (Mongue, 2005) los sistemas de producción porcina consideran una serie de requerimientos tales como: procesos organizados, controlados, seguros que garanticen productividad, competitividad con el propósito de ser sostenibles en el tiempo.

Por otra parte, la producción de cerdo en Colombia es una de las actividades económicas de mayor crecimiento dentro del sector del agro, debido a su eficiencia productiva, capacidad de transformación alimentaria y aporte económico a diferentes zonas rurales del país. En los últimos años la producción se incrementó en 165.737 toneladas a una tasa promedio de 6.8% mayor a la tasa del sector agropecuario y a la del PIB, logrando salir a flote luego de importantes desafíos tales como el Covid-19, bloqueos de la producción por paros nacionales e incluso por incremento en los costos por el efecto de la guerra entre Rusia y Ucrania (PorkColombia, 2026).

Tabla 4: Producción y variación anual de carne de cerdo en Colombia 2019-2025 (Ton/mes). Fuente Pork Colombia (2026)



5.1.2 Generación de residuos porcinos e impacto ambiental

El impacto que generan los residuos causados por la porcicultura se evidencian desde diferentes frentes, uno de ellos es la contaminación del agua de acuerdo con María Camila Cote, en su investigación acerca de porcicultura sostenible (Cote, 2025), la gestión inadecuada de los residuos orgánicos, contamina las fuentes hídricas, adicionalmente, el nitrógeno y el fósforo, que se encuentran presentes en el estiércol provocan la eutrofización de los cuerpos de agua, generando la proliferación de algas y la disminución del oxígeno afectando la vida acuática; la afectación en el suelo se da principalmente por el uso de los fertilizantes que dañan su productividad y fertilidad a lo largo del tiempo; En cuanto a la contaminación del aire, se encuentra la emisión de gases como el amoníaco (NH_3) y el sulfuro de hidrogeno (H_2S) que afectan la salud de las personas aledañas a los sectores contaminados. Según la (FAO, 2024) “Las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de los sistemas agroalimentarios aumentaron un 10 % entre 2000 y 2022. Las emisiones en las explotaciones agrícolas aumentaron un 15 % en el mismo período, y la ganadería contribuyó con aproximadamente el 54 % de dichas emisiones”.

5.1.3 Biodigestión anaerobia y Biogás

En países desarrollados, la difusión de biodigestores se encuentra vigente desde la década de los 70, en la actualidad, existen cerca de 27 millones de plantas de biogás en países como India y China, las cuales suelen utilizarse en parcelas de pequeño tamaño en zonas rurales (Templeton, 2011), los cuales son utilizados para la transformación de estiércol animal, sin embargo en otros países esta expansión tecnológica no ha sido tan fuerte por lo que aún se tiene la oportunidad que en America latina se logren economías más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

Con el propósito de tener mayor claridad del concepto de biodigestión anaerobia, se hace necesario explicar el concepto de Bioreactor. (Valdez, 2015) hace referencia a “un contenedor físico donde se promueve una variedad de reacciones biológicas. Se tiene materia orgánica como alimento, agua necesaria para disolverla, y junto a un inóculo bacteriano, pueden empezar a generar reacciones biológicas para conseguir un fin en particular, ya sea la producción de cierto tipo de molécula, o tan solo la degradación de la misma materia orgánica.” Por otra parte, la digestión anaerobia es un proceso mediante el cual microorganismos degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y digestato como productos muy importantes en el medio agrícola. (Acosta, 2005)

Los autores coinciden en que la digestión anaeróbica ayuda al aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la generación de biogás y enfatizan en el proceso que hace posible la transformación de la materia orgánica destacando los beneficios ambientales y energéticos, lo que se fundamenta en una estrategia de economía aplicable a sistemas productivos porcinos.

El digestato, cuenta con un gran potencial para ser usado como fertilizante, ya que cuenta con los nutrientes que se ingresan al momento de ingresar los excrementos como material de entrada los cuales permanecen allí, para luego ser usados en los cultivos, la

cantidad de nutrientes varía de acuerdo con el material ingresado en la entrada del proceso, sin embargo, su potencial es altamente benéfico en los suelos. (Vega, 2020)

De acuerdo con La FAO, el Biogás es una mezcla conformada por metano y dióxido de carbono, con algunas impurezas, su composición detallada se muestra a continuación:

Tabla 5: características generales del Biogás; fuente FAO; Manual de Biogas; <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

A continuación, se presentan las etapas de digestión anaeróbica con producción de biogás y biofertilizante, en donde se puede observar de manera más clara el proceso.

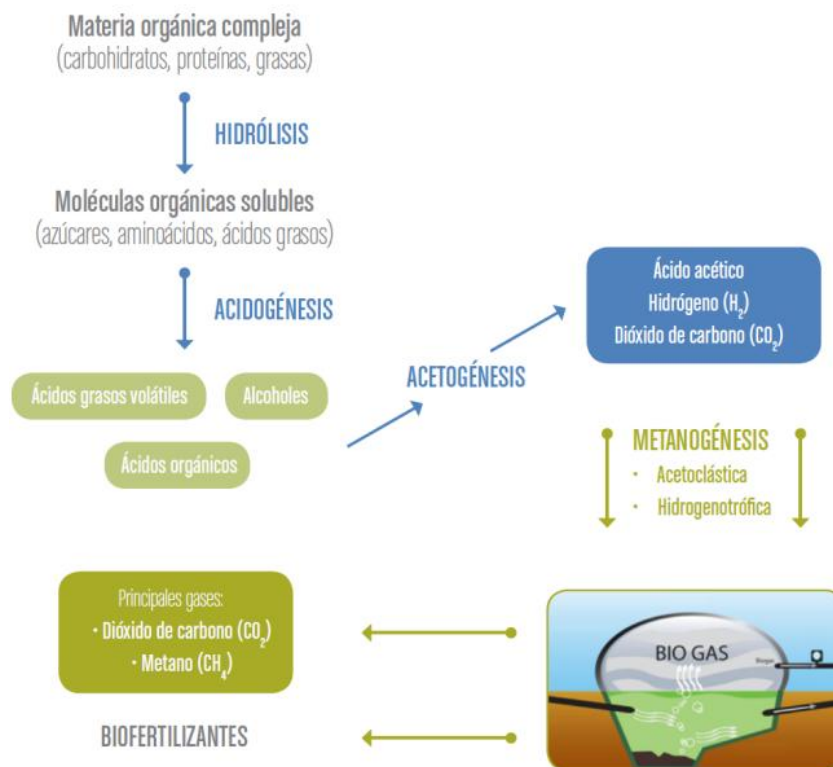


Ilustración 2: Etapas de digestión anaeróbica con producción de biogás y biofertilizante; fuente: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/147285/mod_resource/content/1/Apunte%20sobre%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%20y%20biog%C3%A1s%20Edici%C3%B3n%20

La difusión generalizada de biodigestores en países en desarrollo se remonta a la década de 1970, y actualmente existen alrededor de cuatro y 27 millones de plantas de biogás en India y China, respectivamente. Estas suelen ser sistemas pequeños en zonas rurales alimentados con estiércol animal. Sin embargo, en muchos otros países la expansión de la tecnología se ha estancado y/o hasta el 50% de las plantas no están operativas. Esto está relacionado con un énfasis insuficiente en el mantenimiento y la reparación de las instalaciones existentes. Por lo tanto, para que la tecnología de recuperación de biogás prospere en el futuro, es necesario establecer redes de apoyo operativo.

5.1.4 Tipos de digestores anaerobios

A continuación, se presentan los tipos de digestores anaerobios que mejor se adecuan a la industria porcícola en pequeñas y medianas fincas:

5.1.4.1 Tipo Chino o de cúpula fija

Este tipo de biodigestor cuenta con un tanque en donde se acumula el biogás para luego salir por un tubo que se encuentra en la parte superior del biodigestor, adicionalmente cuenta con dos cámaras, una de ellas donde se ingresa la porcínaza y la otra en donde sale el biofertilizante. (FAO, Manual de biogás, 2011)

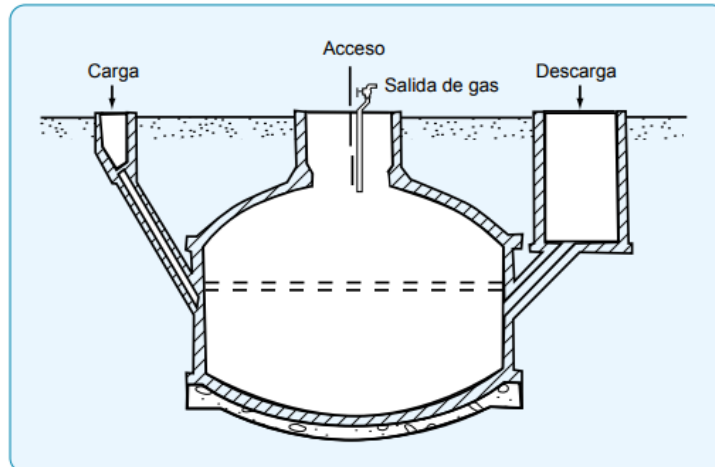


Ilustración 3: Biodigestor tipo chino; fuente: FAO Manual Biogás (2011)

5.1.4.2 Tipo Indio o de campana flotante

Este tipo de digestores son enterrados y verticales, el gasómetro está integrado en el sistema, en la parte superior, del pozo flota una campana donde se almacena el gas generando una presión constante lo que ayuda a generar una operación eficiente de los equipos. (FAO, Manual de biogás, 2011)

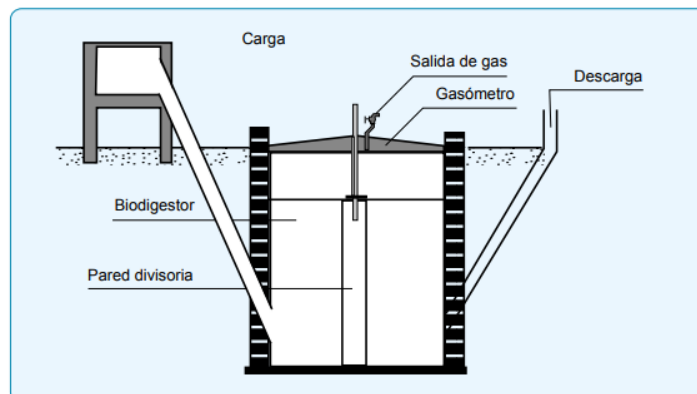


Ilustración 4: Biodigestor tipo indio; fuente: FAO Manual Biogás (2011)

5.1.4.3 Tipo Batch (discontinúo o régimen estacionario)

De acuerdo con la FAO, este tipo de digestores cuenta con una batería de tanques herméticos con una salida de gas que va conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás, el objetivo es tener varios digestores, con el propósito de no parar la producción de biogás en el momento de carga y descarga (FAO, Manual de biogás, 2011)

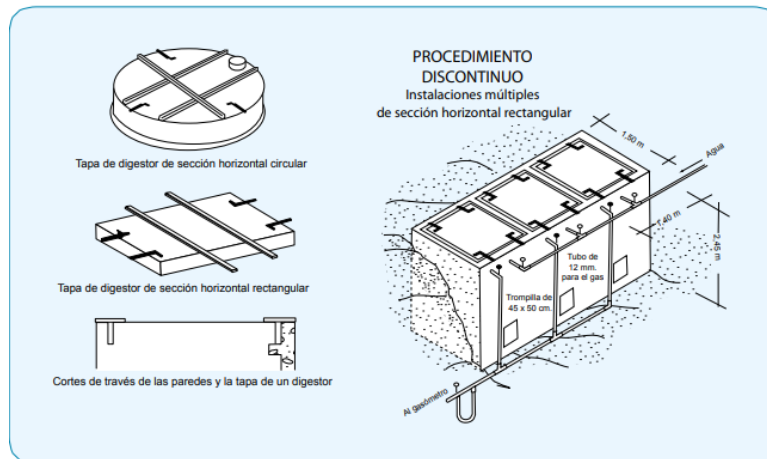


Ilustración 5: Biodigestor tipo batch; fuente: FAO Manual Biogás (2011)

Los conceptos abordados en el marco teórico muestran la relación que existe entre la producción porcícola, la generación de residuos orgánicos y las alternativas de aprovechamiento a través de la biodigestión. A partir de estos fundamentos, se realizan investigaciones previas que hayan evaluado la aplicación de sistemas similares que demuestren beneficios ambientales y económicos, así como los resultados obtenidos en los diferentes contextos productivos. En base a esto, en el siguiente apartado se presenta el estado del arte relacionado con la temática objeto de estudio.

5.2 Estado del arte

A partir de la investigación realizada, se evidencia que existe una importante cantidad de investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de los residuos pecuarios a partir de la digestión anaerobia, a continuación, se presentan algunos de estos acotándolos a proyectos de pequeña escala, adaptando a las condiciones operativas y económicas de un emprendimiento familiar.

5.2.1 Desempeño ambiental del sistema de tratamiento de residuos orgánicos porcinos; Universidad Autónoma del estado de México (2022), Sonia López Fernández

El objetivo de este proyecto, se enfocó en la evaluación del desempeño ambiental de residuos orgánicos en una granja porcina ubicada en Telpintla Municipio de Temascaltepec en el estado de México, a partir del tratamiento de los residuos orgánicos, la granja produce 35.485.86 m³ de biogás y 7.72 m³ de viles, productos que son usados en la granja sustituyendo el gas LP para cocinar los alimentos, se logró sustituir los fertilizantes químicos en los cultivos generando ahorros económicos y lograron garantizar la seguridad ambiental, logrando salud en sus cultivos y salvaguardando la salud humana (Fernandez, 2022)

Los procesos que fueron considerados en este proyecto se desarrollan en 4 subsistemas así: separación de purines, digestión anaerobia, compostaje de FSP y compostaje de restos de animales muertos, la digestión anaerobia se realiza con una bomba para lodos IPASA® modelo CS230F 1HP los purines son transferidos hasta un separador de sólidos tipo

cascada (IPASA® modelo SS250) a 3 m de altura, funcionando mediante energía eléctrica seis días a la semana por 5 horas. (Fernandez, 2022)

5.2.2 Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos; Revista de investigación en ciencias agronómicas y veterinarias (2024), Edwin Orlando Pino

Este artículo expone como el biodigestor anaeróbico es una solución efectiva en el manejo de recursos orgánicos en el agro, especialmente en las fincas porcícolas, esta investigación se realizó en la Provincia de Santa Elena Ecuador, a partir de un estudio cuantitativo con diseño experimental en una granja de mediano tamaño compuesta por 65 cerdos. Se implementó un biodigestor para gestionar los residuos orgánicos con un volumen total de 39m³, se realizó un procesamiento diario del biodigestor de 219 kilos de estiércol y 655 litros de agua residual, obteniendo buenos resultados luego de 33 días en donde se produjo 9.57 m³ de biogás y 24.9 m³ de biofertilizante para mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos; adicionalmente, se redujo la contaminación del suelo, del agua y los malos olores mitigando los impactos ambientales en la región. (Pino, 2024)

5.2.3 Rendimiento de un Biodigestor en la Gestión Ambiental en su Relación con los Residuos Sólidos de Granjas Porcinas en la Finca Sol y Paz; Revista latina julio – agosto 2024; Volumen 8 No 4

El objetivo del presente artículo es determinar el rendimiento de los biodigestores en la gestión ambiental, frente a la relación de los residuos sólidos de las granjas porcícolas, muestra a su vez diferentes opciones de biodigestores tanto industriales como domésticos, su implementación y características para analizarlas de acuerdo con la necesidad; este proyecto logra demostrar la eficiencia del Biodigestor en la finca Sol y Paz, gracias a la eficiencia de la degradación de los residuos identificando variaciones en el rendimiento de acuerdo con factores estacionales y condiciones ambientales tales como la temperatura, la acidez y la carga orgánica. (Galarza, 2024)

Los antecedentes descritos anteriormente evidencian que la biodigestión aplicada a residuos porcinos genera beneficios importantes en el ámbito ambiental, mediante la reducción de emisiones de gases efecto invernadero y económica, a través de la reducción del uso de fertilizantes químicos mejorando el manejo de residuos dentro de la operación. Sin embargo, se identifican pocos estudios desarrollados en pequeñas fincas productivas colombianas, lo que justifica la realización del presente proyecto de investigación en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá.

6. METODOLOGÍA

Este proyecto maneja una naturaleza de enfoque mixto, en base a la contribución de autores como (Hermández, Fernandez, & Baptista, 2014) quienes manejan técnicas de

recolección de información cuantitativa y cualitativa permitiendo contar con un entendimiento más amplio y completo en la investigación. Respecto al entorno cualitativo, se analizaron las condiciones actuales del manejo de los residuos porcinos, las características, operativas de la finca y la viabilidad técnica para la implementación de un biodigestor. El componente cuantitativo considera componentes que incluyen la cantidad de generación de residuos porcinos, costos de los fertilizantes, capacidad de generación del biogás y el dimensionamiento del biodigestor, así como la evaluación de la factibilidad económica mediante el análisis de costos, beneficios y recuperación estimada de la inversión.

El diseño de investigación es no experimental, ya que las variables serán observadas en su contexto natural con el propósito de comprenderlos y analizarlos (Hermández, Fernandez, & Baptista, 2014).

- **Delimitación del estudio**

La investigación se delimita al análisis de factibilidad para la implementación de un Biodigestor en una finca porcícola ubicada en la vereda Mancilla, en el municipio de Facatativá, conformada por 9 cerdos. El estudio se enfocó en el proceso de generación y manejo de estiércol porcino, evaluando variables técnicas, económicas y ambientales relacionadas con la producción de residuos, el dimensionamiento del biodigestor, la estimación de la reducción de gases efecto invernadero, la estimación de generación de biogás y digestato y la sustitución de fertilizantes químicos. El periodo de análisis corresponde a la información recopilada durante el desarrollo de la presente investigación en el año 2026.

- **Técnicas e instrumentos de recolección de información:**

La recolección de información se realizó mediante observación directa, la cual permite analizar el comportamiento de las actividades productivas. De acuerdo con (Hermández, Fernandez, & Baptista, 2014), “la recolección de datos ocurre en los ambientes naturales y cotidianos de los participantes”

Como fuente primaria se realizó una visita técnica a la finca objeto de estudio, en la cual se realizó la observación directa del proceso de manejo del estiércol, el registro fotográfico de las instalaciones y la recopilación de información suministrada por el propietario sobre número de cerdos, producción de residuos, consumo de fertilizantes y costos de operación. Por otra parte, se consultó literatura científica, artículos de investigación, documentos técnicos de la FAO y demás referencias bibliográficas relacionadas con la temática del proyecto.

La información recopilada fue organizada mediante tablas de caracterización, matrices de costos y cuadros comparativos, los cuales permitieron realizar el análisis técnico, económico y ambiental de la propuesta.

- **Variables de la investigación:**

La siguiente tabla muestra la definición de variables que intervienen en la investigación las cuales permiten caracterizar las condiciones actuales con que cuenta la finca porcícola, así como estimar el potencial de aprovechamiento de los residuos que se generan y evaluar los beneficios ambientales y económicos asociados a la propuesta de biodigestión.

Tabla 6: Variables de investigación. Elaboración propia (2026)

Tipo de variable	Variable	Descripción	Unidad de medida
Dependiente	Producción de estiércol	Cantidad de residuos generados por los 9 cerdos	Kg / año
Dependiente	Emisión de gases efecto invernadero	Cantidad de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol	Kg CO ₂ / año
Dependiente	Producción de digestato	Cantidad estimada de fertilizante orgánico generado	Kg / año
Dependiente	Consumo de fertilizantes	Cantidad de fertilizantes usados sin la solución	Kg / año
Dependiente	Ahorro económico potencial	Reducción de costos por sustitución de fertilizantes químicos	\$ / año
Independiente	Propuesta de biodigestión	Sistema propuesto para el aprovechamiento de residuos porcinos mediante digestión anaerobia	No aplica

- **Criterios de evaluación:**

Con el propósito de determinar los beneficios del proyecto de investigación se establecieron criterios de evaluación asociados a los objetivos del proyecto, los cuales permiten cuantificar el impacto esperado en términos de aprovechamiento de residuos, reducción de costos y disminución de emisiones contaminantes. Los indicadores definidos permitirán comparar la situación actual del emprendimiento con el escenario proyectado.

Tabla 7: Criterios de evaluación. Elaboración propia (2026)

Criterio	Indicador	Fórmula
Aprovechamiento de residuos	% de estiércol aprovechado	$(\text{Estiércol utilizado} / \text{estiércol generado}) \times 100$
Reducción de fertilizantes químicos	% sustitución estimada	$(\text{Fertilizante sustituido} / \text{Fertilizante utilizado}) \times 100$
Reducción de emisiones	Kg CO ₂ estimadas	$\text{Emisiones actuales estimadas} - \text{emisiones futuras estimadas}$
Beneficio económico	Ahorro anual estimado	$\text{Costos actuales} - \text{costos proyectados}$

- **Diseño metodológico:**

A continuación, se muestran las fases metodológicas para tener en cuenta para cada uno de los objetivos propuestos en el proyecto.

Tabla 8: Tabla metodológica. Elaboración propia (2026)

Objetivos específicos	Actividades	Metodología	Entregable
Diagnosticar el proceso actual de generación manejo de residuos en la finca, cuantificando detalladamente la producción de estiércol y los costos asociados al uso de los fertilizantes químicos.	- Realizar visitas de campo - Levantar información productiva en la finca - Cuantificar la generación de estiércol por día - Documentar la frecuencia de limpieza y disposición de los residuos - Determinar los costos actuales de los fertilizantes químicos utilizados en la finca	- Observación directa - Registro fotográfico - Ficha técnica de la recolección de estiércol - Revisión de registros operativos y financieros	- Caracterización del proceso actual - Registro fotográfico - Describir el proceso actual de los residuos - Tabla de generación diaria de los residuos - Matriz de costos de los fertilizantes químicos - Análisis de la información recolectada

Analizar las condiciones técnicas y económicas necesarias para la implementación de un sistema de biodigestión, teniendo en cuenta los volúmenes, la producción estimada de gas y la generación de digestato	• Determinar la cantidad biomasa generada en la finca a partir de la cantidad de estiércol producido por los 9 cerdos. • Escoger el biodigestor óptimo para el proceso • Realizar el cálculo potencial de Biogás de acuerdo con la porcinaza generada • Estimar la cantidad potencial de digestato dentro del sistema productivo • Identificar los requerimientos técnicos de operación, materiales e infraestructura • Estimar los costos de inversión y los ahorros en por la eliminación de fertilizantes químicos	• Observación directa • Mapeo de procesos • Consulta de parámetros técnicos digestión anaerobia • Análisis de implementación y operación	• Cálculo de la estimación de Biomasa a partir de la cantidad de estiércol al año. • Cálculo potencial de Biogás • Matriz de costos de inversión y operación.
Evaluar el impacto del sistema de biodigestión propuesto, en cuanto a la reducción de costos de fertilizantes y aprovechamiento del Biogás en la finca	• Comparar escenario actual vs el escenario propuesto • Análisis de reducción de costos	• Realizar un análisis detallado apoyado en bibliografía para determinar los ahorros en fertilizantes y reducción de gases efecto invernadero	• Cálculo del potencial ahorro en costos por efecto de reducción de fertilizantes químicos • Estimación de reducción de gases

	• Evaluar beneficios ambientales y operativos	• Elaborar una matriz de costos para determinar la inversión, y ahorros por el aprovechamiento de digestato y disminución en la compra de fertilizantes.	efecto invernadero con la implementación de la propuesta • Matriz de costos
--	---	--	--

- **Análisis de resultados esperados:**

Los resultados obtenidos serán analizados mediante análisis comparativo, en principio se realizará la caracterización de la generación de estiércol y del consumo de fertilizantes químicos en la finca de la vereda Mancilla, luego se estimará el potencial de producción de biogás y digestato utilizando como base la literatura investigada. Finalmente, se comparará el escenario actual de manejo de residuos con el escenario propuesto de aprovechamiento de residuos con el biodigestor evaluando indicadores ambientales y económicos relacionados con la investigación.

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización del proceso actual

La finca objeto de estudio se encuentra ubicada en la vereda Mancilla en Facatativá, Cundinamarca. La actividad principal es la producción porcícola, contando actualmente con una población de 9 cerdos destinados a actividades de levante y engorde. Las actividades que se realizan a diario consisten en la limpieza de los corrales (2 veces al día), con el fin de garantizar buenas condiciones y bienestar en los animales. Durante este proceso se recolecta el estiércol generado por los animales el cual corresponde al principal residuo orgánico producido en la finca.

Actualmente los residuos generados son utilizados parcialmente en praderas, huertas y jardines sin contar con un proceso estandarizado que permita cuantificar su potencial de aprovechamiento, de igual forma, el mantenimiento de la finca continúa con el uso de fertilizantes químicos para complementar la nutrición en los cultivos generando costos recurrentes dentro de la operación. La siguiente ilustración muestra la caracterización del proceso actual de generación y manejo de residuos porcinos con el fin de identificar oportunidades de mejora relacionadas con el aprovechamiento de los residuos.

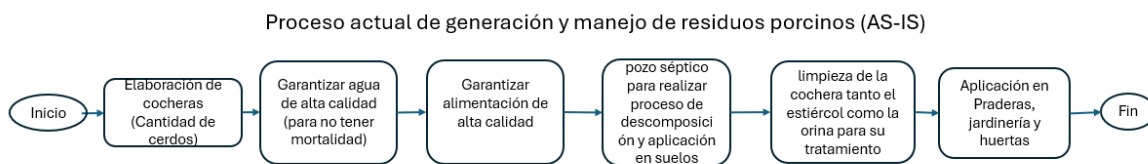


Ilustración 6: Proceso actual de generación y manejo de residuos porcinos (AS-IS). Elaboración propia (2026)

7.2 Registro fotográfico Finca – Vereda Mancilla

En el registro fotográfico se observa el área destinada por el propietario para la construcción del corral para alojamiento de los cerdos, lo cual facilitar la recolección del estiércol para su aprovechamiento potencial mediante un biodigestor.



Ilustración 7: Área destinada para la construcción del nuevo corral porcino en la finca objeto de estudio; Elaboración propia (2026)



Ilustración 8: Corral de los cerdos en la finca objeto de estudio. Elaboración propia (2026)

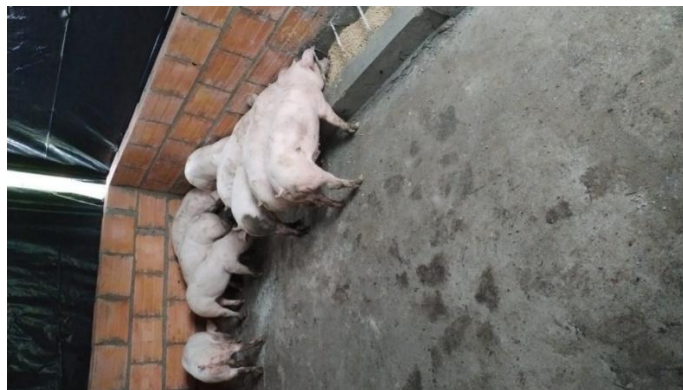


Ilustración 9: Corral de alojamiento de los cerdos en la finca objeto de estudio. Elaboración propia (2026)

La ilustración 9 presenta las condiciones físicas en las que se encuentran los cerdos, se evidenció que el sistema cuenta con piso en concreto, condición que facilita las labores de limpieza y recolección de estiércol, aspecto fundamental para el aprovechamiento de los residuos.

A partir de la observación directa efectuada en la finca, se identificó que la generación de residuos es uno de los principales productos de la actividad productiva, el estiércol es recolectado durante las jornadas de limpieza dos veces al día. Por otra parte, se pudo determinar que la finca continúa dependiendo de la adquisición de fertilizantes químicos para el mantenimiento de los prados, generando costos asociados a la operación. Finalmente, se evidencia que la ausencia de un sistema tecnificado para el manejo de los residuos limita la posibilidad de aprovechar el potencial energético y agrícola asociado al estiércol.

7.3 Tabla de generación de residuos

La siguiente tabla muestra la producción de estiércol en la finca de la vereda Mancilla.

Tabla 9: Tabla de generación de estiércol. Elaboración propia (2026)

Concepto	Valor	Unidad de medida
Número de cerdos	9	
Producción de estiércol por cerdo	1	Kg/día
Producción total diaria	9	Kg/día
Producción semanal	63	Kg/semana
Producción mensual (30 días)	270	Kg/mes
Producción anual (365 días)	3.285	Kg/año

7.4 Matriz de costos de fertilizantes químicos

La siguiente tabla muestra los costos de los fertilizantes necesarios para la manutención de las praderas, huertas y jardines de la finca vereda Mancilla.

Tabla 10: Costos anuales por fertilizantes. Elaboración propia (2026)

Insumo	Precio	Frecuencia de compra	Costo anual estimado
Fertilizante (Urea)	\$600.000	mensual	\$7.200.000

7.5 Estimación del impacto en la generación

Con el propósito de evaluar el impacto ambiental de la propuesta, se realizó una estimación teórica de las emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol en la finca.

En la tabla 11 se evidencia la estimación de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol en la finca objeto de estudio.

Tabla 11: Estimación de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de estiércol. Elaboración propia basada en datos base de IPCC 2006

Concepto	Fórmula	Parámetro por animal	Cálculo para 9 cerdos	
Número de animales (N)		1 cerdo	9 cerdos	
Factor de emisión de metano (FE)		6 kg CH ₄ /cerdo-año	6 kg CH ₄ /cerdo-año	6 kg CH ₄
Emisión anual de metano (CH ₄)	CH ₄ = N × FE	1 × 6	9 × 6	54 kg CH ₄ /año
Potencial de calentamiento global del metano (GWP)		27 kg CO ₂ e/kg CH ₄	27 kg CO ₂ e/kg CH ₄	27
Emisión anual de CO ₂ equivalente	CO ₂ e = CH ₄ × GWP	6 × 27	54 × 27	1.458 kg CO ₂ e/año
Conversión a toneladas	Ton CO ₂ e = kg CO ₂ e ÷ 1000	162 ÷ 1000	1458 ÷ 1000	1,46 ton CO ₂ e/año
Emisión mensual estimada	CO ₂ e mensual = CO ₂ e anual ÷ 12	162 ÷ 12	1458 ÷ 12	121,5 kg CO ₂ e/mes
Emisión diaria estimada	CO ₂ e diaria = CO ₂ e anual ÷ 365	162 ÷ 365	1458 ÷ 365	4,0 kg CO ₂ e/día

En una investigación realizada en cinco fincas porcinas de Dinamarca, se evidencio que aquellas que incluían procesos de biodigestión presentaron emisiones de metano 55% inferiores, respecto a aquellas que realizaban el proceso tradicional sin tratamiento. (Vechi, Jensen y Scheutz (2022)

7.6 Análisis de factibili

dad del Biodigestor

Con base en el diagnóstico realizado sobre la generación de residuos en la finca se propone la implementación de un Biodigestor tubular de polietileno, debido a que sus características técnicas responden a las necesidades actuales del emprendimiento familiar y ofrecen capacidad suficiente para atender a un crecimiento futuro de la producción.

La selección del Biodigestor se fundamentó en el análisis de la cantidad de biomasa generada diariamente, el tiempo de retención hidráulica recomendado para el proceso de biodigestión anaerobia y la capacidad de tratamiento requerida.

Tabla 12: Características de la finca en la actualidad. Elaboración propia (2026)

Concepto	Valor	Unidad de medida
Número de cerdos	9	
Producción de estiércol por cerdo	1	Kg/día
Producción total diaria	9	Kg/día
Producción anual	3.285	Kg/año
Emisión anual de CO ₂ equivalente	1.458	kg CO ₂ /año
Costo de fertilizante anual	\$7.200.000	Pesos/año

En base a estas características, se propone un Biodigestor de polietileno de 8m³, teniendo en cuenta que no se maneja al 100% de su capacidad y proyectando el crecimiento de cabezas de cerdos que pueda tener la finca en el tiempo.

Tabla 13: Dimensionamiento del Biodigestor propuesto. Elaboración propia (2026)

Parámetro	Valor	Observación
Número de cerdos	9	Inventario actual de la finca
Producción de estiércol por cerdo	1	Información suministrada por el propietario
Producción total de estiércol	9 kilos	9 cerdos × 1 kg/día
Relación Estiércol/Agua	1/1 litros	Parámetro técnico de biodigestión anaerobia
Mezcla alimentada en la finca	18 L/día	Operación actual - 9 K estiércol + 9 L agua
Capacidad máxima de alimentación	35 kg de estiércol/día + 140 L de agua	Según ficha técnica HomeBiogas Farmers
Volumen mínimo requerido	0,54 m ³	Según el cálculo realizado
Capacidad del biodigestor seleccionado	8,0 m ³	Equipo comercial HomeBiogas Farmers
Utilización de la capacidad de alimentación	26%	La finca alimenta 9 kg/día de un máximo de 35 kg/día margen cercano al 74 % para atender incrementos futuros en la producción de estiércol sin afectar la estabilidad del proceso.

De acuerdo con la tabla No 13, se identificó que la finca genera aproximadamente 9 Kg de estiércol producto de las 9 cabezas de cerdos, considerando una relación de dilución 1:1 entre estiércol y agua, se obtiene un ingreso de mezcla de 18 litros para el biodigestor, con un tiempo de retención hidráulica de 30 días, el volumen mínimo requerido para el tratamiento de los residuos corresponde a 0,54 m³. No obstante, se seleccionó un Biodigestor con capacidad de 8 m³, el cual puede procesar hasta 35kg diarios de estiércol de acuerdo con las especificaciones del fabricante. En las condiciones actuales de la finca, el sistema operaría aproximadamente al 26% de su capacidad máxima de alimentación, lo que proporciona un amplio margen operativo para incrementos futuros en la producción sin requerir una nueva inversión en infraestructura y manteniendo la estabilidad del proceso de biodigestión.

Características Biodigestor

El Biodigestor óptimo para la finca, es el HomeBiogas Farmers, comercializado en Colombia por Renovenergy. Este sistema fue escogido por que puede transformar diariamente hasta 50 litros de estiércol animal (homebiogas, 2026), capacidad superior a 18 litros diarios requeridos por la finca, garantizando una operación dentro de parámetros seguros y eficientes.

Las especificaciones técnicas del Biodigestor se muestran a continuación:

CARACTERÍSTICAS	SISTEMA HBG 8.0
DISEÑO	
APLICACIÓN	Agricultores que tienen ganado o porcícolas.
DIMENSIONES EQUIPO	680 cm (L) * 200 cm (W) * 150 cm (H).
VOLUMEN	8 m ³
ENTRADA	Desechos máx. diarios de estiércol bovino: 50 kgs mezclados den 100 lts de agua Desechos máx. diarios de estiércol porcino: 35 kgs mezclados den 140 lts de agua
SALIDA	Biogás: hasta de 5 a 8 horas de gas de cocina diario. Biofertilizante líquido puro: Hasta 150 litros diarios con estiércol bovino Hasta 175 litros diarios con estiércol porcino

Ilustración 10: Especificaciones Biodigestor. Fuente propuesta comercial Renoverenergy (2026)

Los principales componentes del sistema para cada uno de los equipos contienen:

- Reactor anaeróbico fabricado en polietileno linear de baja densidad (LLDPE) de 1.5 mm de espesor con filtros U.V certificado.
- Accesorios y conexiones para instalación.
- Accesorios para su manejo adecuado Válvulas de drenaje para alivio de condensación de agua.
- Tubería de biogás de hasta 20 m Filtro de carbón de biogás

El costo del biodigestor junto con su instalación y puesta en funcionamiento tiene un costo de \$10.042.261.

7.7 Estimación de producción de Biogás

Aunque el presente trabajo corresponde a un análisis de factibilidad y no contempla la implementación ni la medición experimental del sistema, es posible realizar una estimación teórica de la producción de biogás en base a la cantidad de estiércol generado en la finca.

De acuerdo con información recopilada el estiércol de cerdo presenta un rendimiento promedio de 0.03 a 0.06 m³ de biogás por kilogramo de estiércol, dependiendo de factores como la alimentación de los animales, el contenido de sólidos y las condiciones del Biodigestor (FAO, 2024). En la tabla 14 se evidencia la estimación teórica realizada a partir de los datos de caracterización de la fina y la información presentada por la FAO.

Tabla 14: Estimación del potencial de producción de biogás de la finca. Elaboración propia (2026)

Concepto	Valor	Descripción
Número de cerdos	9	
Producción diaria de estiércol	9 kg/día	Calculada considerando una producción promedio de 1 kg de estiércol por cerdo al día.
Rendimiento de biogás	0,05 m ³ /kg	Valor promedio reportado en la literatura para estiércol porcino en condiciones anaerobias.
Producción estimada de biogás	0,45 m ³ /día	Resultado de multiplicar la producción diaria de estiércol por el rendimiento promedio de biogás.
Producción anual estimada	164,25 m ³ /año	Proyección anual basada en la producción diaria estimada.
Equivalencia energética	2,7 kWh/día	Energía potencial estimada a partir del volumen diario de biogás producido.
Uso potencial	Cocción parcial de alimentos y calentamiento de agua	Estimación teórica basada en el poder calorífico del biogás; requiere validación mediante la operación real del sistema.

La producción estimada permitiría cubrir parcialmente las necesidades energéticas de cocción de alimentos dentro de la finca permitiendo reducir el consumo de gas. Sin embargo, debido a que el proyecto no contempla la implementación del Biodigestor, no es posible cuantificar con precisión el ahorro económico derivado del uso del biogás.

7.8 Beneficios esperados con la propuesta del Biodigestor en la finca

Los resultados que se plantean en la propuesta permiten identificar los beneficios del proyecto desde el punto de vista ambiental y económico, el primero de ellos muestra que la implementación del Biodigestor puede reducir aproximadamente el 55% de las emisiones de gases efecto invernadero asociadas al manejo de estiércol porcino reduciendo alrededor de 0.80 toneladas de CO₂ al año.

Respecto al punto de vista económico, el aprovechamiento del digestato como fertilizante orgánico permite reducir entre el 50% y el 100% el uso de fertilizantes químicos como la Urea generando ahorros anuales entre \$3.600.000 y \$7.200.000 como se evidencia en la tabla No 14.

Tabla 15: Beneficios esperados con la propuesta del Biodigestor en la finca. Elaboración propia (2026)

Variable evaluada	Situación actual	Situación propuesta	Beneficio esperado
Aprovechamiento de residuos	Disposición y aprovechamiento parcial del estiércol	Aprovechamiento mediante biodigestión	Valorización de aproximadamente 3.285 kg/año de residuos orgánicos, que fortalecen la economía circular en la finca.
Producción de fertilizante orgánico	Uso limitado de porquinaza	Generación continua de digestato	Sustitución parcial o total de fertilizantes químicos
Uso de fertilizantes químicos	\$7.200.000 al año	Reducción entre 50% y 100% (Buligon, 2023)	Ahorro entre \$3.600.000 y \$7.200.000 al año
Emisiones de gases de efecto invernadero	1,46 ton CO ₂ e/año	Reducción estimada del 55% (Vechi, Jensen y Scheutz (2022)	Disminución de 0,80 ton CO ₂ e/año
Generación de biogás	No existe actualmente	Producción de biogás para uso doméstico	Disminución del consumo de combustibles convencionales

7.9 Matriz de costos operativos actuales de la finca

La tabla No 15 presenta los principales costos operativos asociados al funcionamiento de la finca, se identificó que los mayores gastos anuales se presentan en el mantenimiento de corrales y bebederos por valor de \$14.400.000 y en segundo lugar la compra de fertilizantes químicos (Urea) con un costo anual aproximado de \$7.200.000; adicionalmente la finca incurre en gastos asociados a servicios públicos como agua y gas necesario para actividades domésticas, medicamentos entre otros.

Estos resultados muestran oportunidades de mejora principalmente en los costos asociados al uso de fertilizantes químicos y al consumo de gas los cuales pueden verse reducidos de manera significativa mediante la implementación de un Biodigestor, ya que al aprovechar la porcinaza se genera digestato como biofertilizante y biogás como fuente de energía renovable contribuyendo a la reducción de costos y fortaleciendo la sostenibilidad ambiental.

Tabla 16: Costos operativos actuales de la finca porcícola. Fuente: Información proporcionada por el propietario de la finca (2026)

Concepto	Costo mensual estimado (COP)	Costo anual estimado (COP)
Agua para limpieza y consumo	\$ 30.000	\$ 360.000
Gas para el consumo pipeta de 40 libras	\$ 160.000	\$ 1.920.000
Medicamentos y desparasitantes	\$ 30.000	\$ 360.000
Mantenimiento de corrales y bebederos	\$ 1.200.000	\$ 14.400.000
Fertilizante Urea	\$ 600.000	\$ 7.200.000
Total estimado		\$ 24.240.000

Los resultados evidencian que el costo anual de operación de la finca es de \$24.240.000. dentro de estos costos, la compra de fertilizante representa cerca del 27,7% del total constituyéndose en el principal rubro susceptible de reducción mediante el aprovechamiento de los residuos.

7.10 Estudio de factibilidad económica

La implementación del sistema de biodigestión requiere inversión inicial que incluye el biodigestor, transporte, instalación, puesta en marcha, pruebas operativas, capacitación al usuario y seguimiento postventa, conforme a la propuesta comercial suministrada por Renovenergy. Adicionalmente, el proveedor entrega manual de operación, manual de mantenimiento y asistencia técnica remota, aspectos que favorecen la correcta operación del sistema y reducen los riesgos asociados a su implementación.

Tabla 17: Inversión requerida. Fuente propuesta comercial Renovenergy (2026)

Concepto	Precio unitario	IVA	Valor
Suministro Biodigestor Referencia HomeBiogas 8 CBM , incluye montaje e instalación de los equipos en las zonas seleccionadas, puesta en marcha, pruebas operativas, Capacitación y seguimiento postventa.	\$8.438.875	19%	\$10.042.261

Aunque los biodigestores tubulares presentan bajos requerimientos de mantenimiento, se estimaron costos asociados a las actividades preventivas necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento durante su vida útil.

Tabla 18: Costos estimados de operación y mantenimiento. Elaboración propia (2026).

Concepto	Frecuencia	Costo anual
Inspección general del sistema	Semestral	\$ 100.000
Limpieza de accesorios y tuberías	Semestral	\$ 150.000
Mantenimiento preventivo	Anual	\$ 200.000
Reparaciones menores	Eventual	\$ 150.000
Total anual estimado		\$ 600.000

Los costos de operación y mantenimiento mencionados en la tabla 18, corresponden a una estimación realizada para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema durante su vida útil. Estas actividades incluyen inspecciones preventivas, limpieza de accesorios y reposición de elementos menores, las cuales complementan el acompañamiento técnico y la capacitación suministrados por el proveedor.

De acuerdo con las especificaciones del fabricante y las características del biodigestor, su vida útil estimada esta entre 10 y 15 años, siempre y cuando se realicen las actividades de mantenimiento recomendadas.

7.11 Beneficios Económicos

Los beneficios económicos esperados se encuentran en los gastos asociados a la compra de fertilizantes químicos los cuales disminuirán mediante el aprovechamiento del digestato. En la tabla No 19 se presentan estos gastos.

Tabla 19: Beneficios económicos esperados. Elaboración propia (2026)

Concepto	Costo anual
Fertilizante Urea	\$ 7.200.000

De acuerdo con un estudio realizado por (Buligon, 2023), se evidenció que el digestato proveniente del tratamiento con el biodigestor puede llegar a sustituir entre el 50% y el 100% del fertilizante químico sin afectar el rendimiento de los cultivos, por lo tanto, en la tabla No 17 muestra una tabla comparativa de los dos escenarios, en donde la sustitución del fertilizante químico se realice al 50% y otra al 100%.

Tabla 20: Comparación escenarios de factibilidad evaluados. Elaboración propia (2026)

Concepto	Conservador (50 %)	Esperado (75 %)	Optimista (100 %)
Inversión inicial	\$ 10.042.261	\$ 10.042.261	\$ 10.042.261
Ahorro anual por fertilizantes	\$ 3.600.000	\$ 5.400.000	\$ 7.200.000
Costos de mantenimiento	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000
Beneficio neto anual	\$ 3.000.000	\$ 4.800.000	\$ 6.600.000
Recuperación de la inversión	3,35 años	2,09 años	1,52 años

Estos resultados evidencian que la implementación del biodigestor presenta viabilidad económica para la finca. Aunque la inversión inicial representa aproximadamente el 41.4% de los costos operativos anuales de la explotación, el ahorro

generado por la sustitución progresiva de fertilizantes químicos permite recuperar la inversión en un periodo entre 1,52 años y 3,35 años de acuerdo del nivel de aprovechamiento de los recursos.

Adicionalmente, considerando que el equipo posee una vida útil superior a 10 años y bajos costos de mantenimiento, los beneficios económicos continuarían generándose durante varios años después de recuperada la inversión. Adicionalmente el sistema generaría beneficios ambientales asociados a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero y el aprovechamiento adecuado de los residuos porcinos fortaleciendo la sostenibilidad económica y ambiental de la finca familiar.

8. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron identificar que la finca genera aproximadamente 3.285 kilos de estiércol porcino al año, provenientes del mantenimiento de nueve cerdos, esta cantidad constituye una fuente importante de biomasa que puede ser aprovechada mediante procesos de biodigestión anaerobia. Este hallazgo coincide con estudios académicos realizados a nivel nacional e internacional los cuales demuestran que los residuos porcinos tienen gran potencial para la producción de biofertilizantes y biogás contribuyendo a la economía circular.

El análisis realizado, evidencia que la finca posee una importante dependencia de fertilizantes químicos como la Urea para el mantenimiento de prados y praderas, cuyo costo anual es de 7.200.000 aproximadamente. La investigación bibliográfica mostró que el digestato generado por los biodigestores puede sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos reduciendo costos en la finca. Por lo tanto, la propuesta desarrollada representa una alternativa viable para reducir esta dependencia y fortalecer prácticas agrícolas sostenibles en el tiempo.

Se estima que el impacto ambiental generado por los gases efecto invernadero causados por el manejo inadecuado de los residuos porcinos genera 1.458 kg CO₂e/año en la finca, los cuales pueden ser disminuidos según la investigación realizada en un 55% con sistemas de biodigestión, por lo tanto, la implementación del biodigestor puede generar beneficios ambientales asociados a esta reducción, los cuales deben validarse mediante una fase piloto una vez implementado el biodigestor.

Los resultados de la factibilidad económica mostraron que la inversión inicial requerida para la implementación del biodigestor en la finca tiene un costo de \$10.042.261, a partir de la información recopilada y de los escenarios evaluados, se estima que bajo un escenario conservador de sustitución de fertilizantes del 50% el periodo de recuperación de la inversión es de 3.35 años, ahora bien, en un escenario optimista en donde la sustitución es al 100% la recuperación se obtendrá en 1.52 años, lo que evidencia buenas condiciones para la implementación de la propuesta. No obstante, estos resultados corresponden a una estimación teórica basada en la información recopilada y en los escenarios evaluados, por lo que deben validarse mediante la implementación y operación del biodigestor.

Finalmente, los hallazgos obtenidos muestran que la biodigestión es una estrategia alineada con los principios de economía circular ya que transforma los residuos generados por la actividad porcícola en productos que agregan valor a la gestión agrícola como el digestato y el biogás, lo que permite hacer una gestión más eficiente de los recursos.

9. CONCLUSIONES

La caracterización del proceso AS-IS permitió identificar que la finca genera aproximadamente 3.285 kilos de estiércol al año, evidenciando una cantidad importante de biomasa para evaluar técnicamente la implementación de un sistema de biodigestión.

El análisis efectuado permitió identificar que el aprovechamiento del estiércol a partir de la biodigestión es una alternativa viable para reducir la dependencia de fertilizantes químicos utilizados en la finca contribuyendo a la reducción de costos.

Desde el punto de vista ambiental, se estima que la propuesta puede favorecer en un 55% la emisión de gases efecto invernadero que produce la finca fortaleciendo las prácticas de sostenimiento y cuidado con el medio ambiente.

La evaluación económica e la propuesta evidenció que la implementación del biodigestor presenta factibilidad financiera cuya recuperación de la inversión se puede dar entre los 1.52 y 3.35 años de acuerdo con el nivel de sustitución de fertilizantes químicos.

Finalmente, el estudio permitió establecer que la biodigestión es una alternativa que además de brindar beneficios económicos también tiene beneficios ambientales.

10. RECOMENDACIONES

Realizar la implementación del biodigestor en una fase piloto con el propósito de validar experimentalmente los beneficios económicos y ambientales estimados durante el proyecto.

Efectuar un estudio para cuantificar la producción real de biogás para evaluar la posibilidad de usarlo dentro de la finca y eliminar el costo de las pipetas de gas que se adquieren actualmente.

Se recomienda ampliar la finca con un mayor número de animales, con el fin de aprovechar la capacidad del biodigestor y lograr reducir el periodo de recuperación de la inversión

Finalmente, se recomienda que una vez se realice la implementación se genere información técnica real que pueda servir como referencia para futuros estudios relacionados con biodigestión, aprovechamiento de residuos orgánicos y sostenibilidad en sistemas pecuarios de pequeña escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y. L. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teoricos parte I*. Cuba: ICIDCA.
- Bavera, G. A. (2008). *Producción animal*. Obtenido de <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/08-cerdos.pdf>
- Buligon, E. L. (2023). Fertilizer Performance of a Digestate from Swine Wastewater as Synthetic Nitrogen Substitute in Maize Cultivation: Physiological Growth and Yield Responses. *MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/565>
- CAR. (12 de enero de 2026). *Periodismo público*. Obtenido de <https://periodismopublico.com/dano-ambiental-en-cundinamarca-arrojan-25-mil-litros-de-porquinaza-liquida-a-fuente-hidrica?>
- Carrero, H. (2005). *Manual de Producción Porcícola*. Tulua.
- Cote, M. C. (2025). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/ad368324-8394-49e4-8058-2fd5a55712d2/content>
- Fajardo, J. (2024). Economía porcícola 2024 y perspectivas 2025. *Revista Pork Colombia*, pág. 76. Obtenido de <https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2025/03/ED-280-DIGITAL.pdf>
- FAO. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.
- FAO. (18 de 11 de 2024). Obtenido de <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-statistical-yearbook-2024-reveals-critical-insights-on-the-sustainability-of-agriculture-food-security-and-the-importance-of-agrifood-in-employment/es>
- Fernandez, S. L. (2022). Universidad autónoma del estado de México. *Desempeño ambiental del sistema de tratamiento de residuos orgánicos*. México.
- Galarza, A. J. (18 de junio de 2024). Rendimiento de un Biodigestor en la Gestión Ambiental en su Relación con los Residuos Sólidos de Granjas Porcinas en la Finca Sol y Paz, Cantón Pasaje, en el Periodo 2023 – 2025. *Ciencia Latina Revista científica Multidisciplinar*, pág. 2522. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/issue/view/29>
- Garcia, V. G. (2022). *Potencialidades de la ovinocultura y los hongos comestibles. En la seguridad alimentaria y el desarrollo rural*. Mexico: Rio Subteraneo.
- Hermández, Fernandez, & Baptista. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: Mac Graw Hill. Obtenido de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- homebiogas. (12 de 06 de 2026). *homebiogas*. Obtenido de <https://www.homebiogas.com/>
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf
- Mongue, J. D. (2005). *Producción porcina*. San José: EUNED.
- Pino, E. O. (2024). *Biodigestor anaerobico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos*. Obtenido de

- http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2664-09022025000100177&script=sci_arttext
- PorkColombia. (2026). *Porkcolombia*. (E. 286, Editor) Obtenido de https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2026/03/EDICION__286.pdf
- Poza, N. (2021). *Rediseño de la cadena de suministro cárnica en base a la economía circular*. Zaragoza: Universidad Zaragoza.
- Reguera, J. U. (2024). *Uso de pequeños biodigestores para la innovación tecnológica en la cría de cerdos*. Panama: FAO.
- Templeton, T. B. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*.
- Valdez, R. (2015). *Premio Odebrecht 2015: Los 10 Mejores Proyectos*. PROVINCIA DE CHIMBORAZO: ODEBRECHT.
- Vega, L. (2020). *Evaluación de un digestado como fertilizante orgánico; Investigación en energías renovables*. Bogotá: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.