

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR
PARA EL MANEJO DE ESTIÉRCOL DE PORCINO EN SAN JUAN DE
LURIGANCHO, 2021”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

POMA YAURI, YOEL AMANCIO

ASESOR

RAFAEL RUTTE, ROBERT RICHARD

Villa El Salvador

2021

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia, por brindarme su apoyo para la realización del presente trabajo.

Gracias también a los profesores y amigos por darme minutos valiosos en aconsejarme y apoyarme académicamente.

Gracias...

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, por ser parte de ella y la formación profesional que se me brindó, como también a los docentes por compartirme sus conocimientos.

Agradezco también a mi asesor Ph. D Rafael Rutte Robert Richard, por todo el conocimiento brindado en estos meses.

Por último, pero no menos importante a una de las familias de la asociación agropecuaria las cataratas, por haber participado de este trabajo, quien me permitió ingresar a sus instalaciones y poder culminar mis objetivos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	x
ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES	3
1.1. Contexto.....	3
1.2. Delimitación temporal y espacial.....	4
1.2.1. Delimitación temporal.....	4
1.2.2. Delimitación espacial.....	4
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Legislación ambiental.....	11
2.2.2. Estiércol.....	12

2.2.2.1.	Tipos de estiércol.	13
2.2.2.2.	Contaminación por estiércol.	13
2.2.2.3.	Ventajas del estiércol.	13
2.2.2.4.	Desventajas del estiércol.	14
2.2.2.5.	Composición del estiércol:	14
2.2.2.6.	Uso potencial del estiércol.	15
2.2.3.	Biodigestores.	15
2.2.3.1.	Tipos de biodigestores.	16
2.2.3.2.	Características del biodigestor.	18
2.2.3.3.	Ventajas de la utilización de biodigestores.	18
2.2.4.	Biodigestión.	19
2.2.4.1.	Digestión anaerobia.	19
2.2.4.2.	Condiciones para la biodigestión.	21
2.2.5.	Biogás.	22
2.2.5.1.	Componentes del biogás.	22
2.2.5.2.	Comparación entre el biogás y otros combustibles.	23
2.2.5.3.	Aplicación del biogás.	23
2.2.5.4.	Factores que se requieren para la producción de biogás.	24
2.2.6.	Análisis financiero.	27
2.2.6.1.	VAN (Valor actual neto).	28
2.2.6.2.	TIR (Tasa interna de rentabilidad).	29

2.3. Definición de términos básicos.....	29
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL.....	31
3.1. Determinación y análisis del problema.....	31
3.1.1. Etapas del proyecto.....	33
3.2. Modelo de solución propuesto.....	34
3.2.1. Muestreo.....	34
3.2.2. Metodología utilizada para el análisis físico químico.....	35
3.2.3. Cálculos de diseño.....	37
3.2.3.1. Cálculo de la generación de estiércol diario.....	37
3.2.3.2. Volumen diario de estiércol.....	38
3.2.3.3. Agua para dilución.....	39
3.2.3.4. Carga diaria.....	39
3.2.3.5. Volumen líquido.....	39
3.2.3.6. Volumen gaseoso.....	40
3.2.3.7. Estimación de la producción de biogás (kg/m ³ día).....	41
3.2.3.8. Producción de bioabono por día.....	42
3.2.3.9. Longitud y diámetro del biodigestor.....	43
3.2.3.10. Dimensiones de la zanja del biodigestor.....	44
3.2.4. Evaluación económica.....	50
3.2.4.1. Egresos.....	50
3.2.4.2. Ingreso.....	53

3.3. Resultados.....	54
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.	4
Tabla 2. Cantidad de excremento que produce un porcino por día.	13
Tabla 3. Composición del excremento fresco de diferentes animales.	15
Tabla 4. Bacterias que favorecen la producción de biogás.....	19
Tabla 5. Componentes del biogás.	22
Tabla 6. Producción de biogás en función al tipo de sustrato.	24
Tabla 7. Relación C/N en función al tipo de residuo.	25
Tabla 8. Temperatura según el tipo de regiones.....	26
Tabla 9. Tiempo de retención según temperatura.	27
Tabla 10. Rangos de pH en la producción de biogás.	27
Tabla 11. Coordenadas geográficas de la vivienda de la familia visitada.	32
Tabla 12. Total de porcinos de la familia visitada.	32
Tabla 13. Materiales y equipos utilizados para tomar la muestra de estiércol.	35
Tabla 14. Parámetros analizados.	36
Tabla 15. Factor de producción de biogás.....	42
Tabla 16. Longitud y diámetro del biodigestor.	43
Tabla 17. Dimensiones de la zanja según el ancho del rollo (AR).	44
Tabla 18. Costo de materiales para la instalación del biodigestor.	50
Tabla 19. Costo de herramientas.....	51
Tabla 20. Costo de mano de obra.....	52

Tabla 21. Materiales que ingresará en la construcción del biodigestor sin costo.	52
Tabla 22. Cálculo del diseño.....	54
Tabla 23. Caracterización de estiércol de porcino.	55
Tabla 24. Diseño del biodigestor.....	59
Tabla 25. Inversión total del proyecto.	59
Tabla 26. Flujo de caja.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital del área aproximada de la zona de crianza de porcinos.....	5
Figura 2. Biodigestor tubular.....	17
Figura 3. Fase de la digestión anaerobia	21
Figura 4. Conversión del biogás en otras fuentes de energía.	23
Figura 5. Estiércol arrojado a las calles de las viviendas.	31
Figura 6. Ubicación del biodigestor tubular en la vivienda.....	34
Figura 7. Esquema de la metodología de diseño.	37
Figura 8. Dimensiones de la zanja.	45
Figura 9. Medición del área del terreno.	46
Figura 10. Excavado de la zanja.	47
Figura 11. Componentes principales de un biodigestor tubular.....	57
Figura 12. Plano de la vivienda visitada.	58
Figura 13. Representación gráfica de la viabilidad económica.....	62

ANEXOS

Anexo 1. Establos de los cerdos.	71
Anexo 2. Bebedero de chupón.	72
Anexo 3. Medición del terreno.	73
Anexo 4. Alimento para los cerdos de engorde.	74
Anexo 5. Muestra de 500g de estiércol.	75
Anexo 6. Cadena de custodia.	76
Anexo 7. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del estiércol de porcino.	77

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional se desarrolló en la asociación agropecuaria las cataratas en Motupe, San Juan de Lurigancho, donde el gran porcentaje de viviendas, realizan el limpiado de sus establos, generando una gran cantidad de estiércol, el cual es arrojado a los alrededores sin ningún tipo de manejo, es por ello que se tomó como referencia a la granja porcina de la familia visitada, que nos permitió ingresar a su establo y realizar nuestras actividades para obtener nuestros objetivos.

El objetivo principal del trabajo es dar una propuesta de implementación de un biodigestor tubular para el manejo del estiércol de porcino, utilizando metodologías que aplican la técnica de observación, análisis de documentos, procesos y procedimientos.

Se estimó la producción de estiércol que se genera en la granja porcina de la familia visitada, determinando así el diseño y las dimensiones del biodigestor tubular. Se realizó la caracterización fisicoquímica del estiércol, calculando así la estimación de la producción biogás y bioabono al día. Se evaluó la viabilidad económica del proyecto en un tiempo de vida útil de 5 años.

El presupuesto de la implementación del biodigestor tubular resulta S/1494.81, incluyen los costos de materiales, mano de obra, herramientas e imprevistos como también unos gastos anuales de 100 soles, que serán utilizados en el mantenimiento del biodigestor.

De acuerdo con el estudio realizado, se concluye que la propuesta de implementación del biodigestor tubular en las instalaciones de la vivienda resulta viable económicamente, con solo el ahorro en el reemplazo del balón de gas, dándonos un VAN de S/211.64 y TIR del 15%.

Se recomienda la aplicación de este proyecto en la granja de la familia visitada, ya que resulta viable económicamente en un tiempo de vida útil de 5 años.

INTRODUCCIÓN

La ganadería tiene un impacto negativo en el medio ambiente, es un sector que contribuye notablemente al cambio climático, ya que es un problema mundial y real, debido a que genera elevadas emisiones de gases de efecto invernadero (Villeras y Montenegro, 2018).

En el Perú, existe diferentes sistemas de producción ganadera, uno de ellos es la porcicultura, que abarca a 600 mil productores a nivel nacional, de los cuales el 76% se encuentran en los sectores rurales o de consumo (MIDAGRI, 2017), estos sectores por lo general no cuentan con un sistema de valorización de residuos orgánicos, generando así, impactos ambientales negativos a la atmósfera, el suelo, los cuerpos de agua y a la salud pública.

En la asociación agropecuaria las cataratas, del distrito de S.J.L, se crían porcinos, el cual tienen problemas con el exceso de estiércol que se produce en sus establos, los cuales son arrojados directamente a las calles, generando la proliferación de enfermedades en sus porcinos y en la misma salud de las personas, este problema se da por la falta de conocimiento referente a los diferentes tipos de tratamientos que se le puede realizar.

Para el problema del estiércol del porcino, considerado como un residuo orgánico, el MINAM (2019) plantea diferentes sistemas de valorización, como la lombricultura, compostaje, biogás, etc.

Al tener los conocimientos referentes a la producción de biogás mediante la digestión anaeróbica, se da el trabajo de suficiencia profesional, que tiene como objetivo, diseñar la propuesta de implementación de un biodigestor tubular para el manejo de estiércol de porcino en la asociación agropecuaria las cataratas.

Este sistema de valorización permitirá a las familias obtener biogás para la cocción de sus alimentos, como también biofertilizante que podrán ser vendido a las zonas

aledañas (mercados, viviendas, vivero municipal cruz de Motupe, etc.), obteniendo así un ingreso económico adicional para el sustento en su vivienda.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Contexto.

La asociación agropecuaria las cataratas, está ubicado en el paradero 4 de Motupe en el distrito de San Juan de Lurigancho, abarca terrenos de 1000m² y 2000m². En la actualidad, los propietarios del lugar cuentan con una constancia de posesión, esto les permite el acceso a los servicios básicos de agua y luz.

En la asociación existen 15 familias que se dedican a la crianza de porcinos, cada familia cuenta con el rango de 1 a 40 porcinos de diferentes tamaños, ya sea para su consumo o comercialización, estas granjas están cercadas con ladrillos, maderas o tarimas, cubiertas con calamina o plástico, esto mantiene al porcino estacionado las 24 horas dentro del establo.

La alimentación de los porcinos se da a través de comida balanceada y de la recolección de verduras, frutas, legumbres, etc., en viviendas y mercados, los alimentos recolectados son llevados a unas ollas o cilindros para ser cocinados, por lo que se utiliza la leña, esta acción ayuda a prevenir diferentes tipos de enfermedades al animal. Algunas granjas cuentan con un sistema de tuberías, llamado bebedero de chupete, este sistema ayuda al suministro constante de agua limpia al porcino y evita el desperdicio de agua, estos bebederos están ubicados a diferentes alturas y dependerá del tamaño del animal para su instalación.

Al tener en buenas condiciones a sus porcinos, los propietarios realizan negociaciones con diversos comerciantes para su venta. Según lo que manifestó un propietario de la zona, hay una mayor demanda en la venta de porcinos en el mes de diciembre por fiestas navideñas, de modo que, genera mayores ingresos económicos a cada familia, razón por la cual, incrementa la crianza de porcinos, y, en consecuencia, ocasiona una condición desfavorable para el medio ambiente, debido a la falta de manejo de los residuos de estiércol y acumulación excesiva del estiércol en los alrededores de las viviendas.

1.2. Delimitación temporal y espacial.

1.2.1. Delimitación temporal.

El trabajo de suficiencia profesional, se desarrolló desde junio hasta octubre del 2021, dentro de estos meses, se visitó la zona, identificando la problemática y dando una propuesta de implementación de un biodigestor tubular para el manejo de estiércol porcino.

1.2.2. Delimitación espacial.

El presente trabajo de suficiencia profesional, se desarrolló en la asociación agropecuaria las cataratas (Figura 1) en San Juan de Lurigancho (distrito con mayor población), que tiene un área aproximada de 55 mil metros cuadrados, ubicada en el departamento de Lima, su principal ingreso a la asociación es por el paradero 4 de Motupe, Av. Fernando Wiese.

En la Tabla 1 se muestra las coordenadas geográficas (UTM) de la asociación agropecuaria las cataratas.

Tabla 1.
Coordenadas del área de estudio.

Coordenadas UTM de la asociación agropecuaria las cataratas		
CÓDIGO	ZONA 18L	
	ESTE	NORTE
P1	284162.85	8680906.89
P2	284366.57	8681106.12
P3	284500.33	8680994.10
P4	284276.74	8680764.93

Figura 1.

Imagen satelital del área aproximada de la zona de crianza de porcinos.



1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

- Diseñar la propuesta de implementación de un biodigestor tubular para el manejo de estiércol de porcino en la asociación agropecuaria las cataratas de Motupe en San Juan de Lurigancho, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Cuantificar la cantidad diaria de estiércol de porcino que ingresará al biodigestor tubular.
- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del estiércol de porcino.
- Determinar las dimensiones básicas de los componentes principales del biodigestor tubular.
- Estimar la producción de biogás y bioabono diario con los parámetros a diseñar.
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta de implementación del biodigestor tubular.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

Osejos, Jaramillo, Merino, Quimis, y Alcivar (2018) mencionan en su revista la valorización de los residuos del estiércol de cerdo, con procesos de reutilización y tratamiento en su forma química, física, biológica y energética; aplicaron el tipo de investigación bibliográfico, inductivo, deductivo y descriptivo, de modo que, tomaron como muestra a 90 cerdos de 100 kg, calcularon la producción total de 360 kg de estiércol/día, al tener la producción de estiércol por cada día, aplicaron la relación de 1:1 de sustrato (estiércol y agua) para la producción de biogás, con un ingreso de carga diaria de 720 L de mezcla (estiércol y agua) y una producción de biogás de 4.2768 m³/día. Por consiguiente, concluyeron que el biodigestor tubular de bajo costo contribuye a la disminución de estiércol en los alrededores de la granja y al aprovechamiento de energía eléctrica en la granja EMAVIMA Jipijapa-Ecuador.

Lozano y Ladino (2020) propusieron el diseño de un biodigestor y la evaluación de la producción de biogás generado a partir de los residuos orgánicos de mayor producción de los restaurantes aledaños a la facultad tecnológica. Aplicaron el tipo de investigación exploratoria, permitiéndoles el diseño del biodigestor en sus condiciones ambientales del lugar, y un método mixto (cualitativo – cuantitativo), el cual, les permitió obtener lo siguiente: Que la presencia de las cáscaras de plátano y papa, son la mayor cantidad de residuos orgánicos de los restaurantes aledaños a la universidad, gracias a ello, se pudo obtener biogás y usarlo como combustible en el interior de la universidad, para ello, pusieron a prueba dos combinaciones, la primera consistió en añadirle un 50% de cáscara plátano y 50% de cáscara de papa (sustrato para el biodigestor) a una temperatura de 20°C y la segunda añadiendo un 75% de cáscara de papa y 25 % de cáscara de plátano (sustrato para el biodigestor) a una temperatura de 30°C , alcanzando las siguientes eficiencias energéticas para ambos casos, 45% y 53,8% respectivamente, con un tiempo de retención de 55 días para ambas mezclas. Con los resultados obtenidos, se tomó el más eficiente para formular el diseño del

biodigestor a mayor escala y su futuro aprovechamiento del biogás en las instalaciones de la cafetería de la universidad.

Gómez, Rodríguez, y Torres (2017) evaluaron la viabilidad financiera al poner en marcha un biodigestor en el municipio de Tibana, como también el impacto ambiental que generan los desechos orgánicos de la granja porcina. Por lo que, utilizaron los egresos (costo de mantenimiento, maquinaria, equipos, invernadero, mano de obra, costo del biodigestor, etc.) e ingresos (venta abono y ahorro de energía) para el análisis del VAN y TIR. Por consiguiente, como resultado se obtuvo un TIR de -0.32 y el VAN de -30.0497, interpretando que el proyecto a realizar en la municipalidad no es viable debido a que el retorno de inversión que se estableció con la generación y venta de energía eléctrica y bioabono no es suficiente para tener ganancias a corto plazo, pero sí a largo plazo. Por otro lado, el impacto ambiental resulta positivo debido a los 30.981 toneladas anuales de excretas de porcino que son valorizadas en biogás, además de obtener 3504m³ de gas metano, que no terminarán en la atmósfera, esto sería considerable para disminuir el calentamiento global.

Días y Harold (2019) realizaron el análisis de la viabilidad de la implementación de biodigestores tubulares de bajo costo en poblaciones de área rurales. Aplicaron el tipo de investigación cualitativa, por lo que utilizaron la mezcla del estiércol del cerdo y de la vaca (20kg), en una relación de 1 a 3 (estiércol y agua) para la producción de biogás, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los pobladores. Para ello, se hizo una inversión total de 276.60 dólares para la construcción del biodigestor, con un ingreso anual de 190 dólares, incrementándose la cifra por cada año y un egreso de 55.32 dólares (mantenimiento anual) en un tiempo de vida útil de 5 años, por cuanto, los resultados fueron de un VAN= 181.49 y un TIR=43%, valores positivos que indican la viabilidad del proyecto, por el motivo de que presentan mayores ingresos que egresos en los 5 años de vida útil del biodigestor. La viabilidad del proyecto permitirá a las familias obtener biogás y biofertilizantes y una oportunidad de negocio.

Apolo (2019) diseñó y emplazó un biodigestor para el aprovechamiento del biogás en la granja de explotación porcina “Mis tres Marias”. Utilizó una mezcla de estiércol y agua, en la relación de 1 a 4 (289.73 kg+1158.93 L), con una capacidad total del biodigestor de 28.8m³, donde el 25% del total fue gaseoso (7.2 m³) y un 75% del total fue líquido (21.6m³), aplicando un tipo de investigación experimental, permitiéndole así, dimensionar el biodigestor tubular, con un largo de 8 metros y 2.2 metros de diámetro, colocado en una zanja de 8 metros de longitud, 1.3 metros de ancho superior, 1.1 metro de ancho inferior y 1.4 metros de profundidad. Concluyendo que la producción de biogás diaria fue 7.72 m³ en las siguientes condiciones: tiempo de retención de 15 días, temperatura promedio 29° C y un pH de 7.5, lo cual les permitió aprovechar el calor irradiado por la combustión del biogás para un sistema de calefacción en los lechones.

España (2018) propuso el aprovechamiento del estiércol de vacuno para la elaboración de biogás que contribuya al manejo adecuado de los residuos pecuarios en la granja ecológica linderos, Tomayquichua, Ambo, Huánuco, donde tomó cuatro muestras: T1: Tuvo un descenso en la temperatura, inició con 20.5°C y finalizó con 20.4°C, ph en el rango de 6.4 a 6.8 y el O.D de 2.6%; T2: Tuvo una temperatura inicial de 18.9°C y finalizó con 21°C, pH en el rango de 6.51 a 6.95 y el O.D reducido hasta 0.40; T3: Temperatura inicial de 22.20°C y finalizó con 22.60, el rango de pH de 6.58 a 7.1 y el O.D se redució a 0.5; T4: Inició con 18.90°C y finalizó con 21.30°C, el pH con el rango de 6.88 a 6.94 y el O.D se redució a 0.2; se aplicó un tiempo de retención de 40 días, con una carga diaria de 62.5 kg de estiércol y 62.5 L de agua para las 4 muestras, aplicando un enfoque mixto y un nivel de investigación experimental. Concluyó que en la última muestra se obtuvo la mayor producción de biogás en el día 30, con 8.05 L(gas), a un pH de 6.88 a 6.94, el oxígeno disuelto disminuyó de 5.3% a 0.2% y la temperatura aumentó de 18.90°C a 21.30°C. Este proyecto garantiza la producción de biogás y un manejo adecuado de los residuos pecuarios en la granja ecológica linderos.

Arrieta (2016) diseñó un biodigestor tubular de plástico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado vacuno y la rentabilidad para cada tipo de

familia, trabajo con 5 familias con un tiempo de vida útil del biodigestor tubular de 7 años, la familia tipo 1 obtuvo un ahorro de S/480 anuales en consumo de gas e iluminación, la familia tipo 2, al igual que la familia tipo 1, pero se le adiciona el uso del biol como fertilizante en cosechas de plátanos, cacao y mango, con un ahorro de S/651 anuales, la familia tipo 3, consiguió un flujo neto de S/459 anuales, y un vale del estado para la compra de balón de gas, asimismo, usaron el biol en reemplazo de fertilizantes químicos; la familia tipo 4, de igual forma utilizó el biogás como la familia tipo 1, y el biol en reemplazo de los fertilizantes químicos para sus cultivos de arroz y maíz, y se obtuvo S/.1005 anuales; la familia tipo 5, uso el biol de igual modo que la familia tipo 4 (mismos cultivos), y es beneficiaria para la compra de balones de gas, de manera que, se alcanzó un flujo neto de caja anual de S/. 813 aproximadamente. Concluyó que la mayor factibilidad económica no solo se da con el aprovechamiento del biogás, sino que también se deberá hacer uso del biol, que serán utilizados en reemplazo a los fertilizantes químicos en los sembríos de plátano, cacao arroz, etc.

Ruiz (2020) diseñó un biodigestor para la producción de biogás a partir del estiércol de vacuno, que permitió cubrir las necesidades de energía eléctrica y de cocción de alimentos para una vivienda ubicada en la zona rural del CC.PP. Las Canteras del distrito de Pátapo, utilizó el estiércol de vacuno en la relación de 1:4 (55kg de estiércol y 220 litros de agua) a una temperatura promedio de 20°C, con un tiempo de retención de 15 días, por cuanto, aplicó el método descriptivo analítico cuantitativo, y un tipo de investigación no experimental, esto le permitió la búsqueda información bibliográfica y encuestas. Y concluyo que, el dimensionamiento de la zanja será: 4 m de largo, 1 m de profundidad; 1,2 m de ancho en superficie, el tamaño de la biobolsa será de 1,25m de diámetro por 4 m de longitud con un volumen total de 4,90 m³, y un volumen para el almacenaje de biogás de 1,60 m³ con una producción diaria de biogás 0.55m³/día. La inversión de este proyecto asciende a S/3909.20 de operación y con un mantenimiento de S/300 anuales, con un VAN de S/474.208 y con un TIR de 17%, con la viabilidad del proyecto en un tiempo de vida útil de 5 años.

Basauri y Terrones (2018) determinaron la producción de biogás utilizando contenido ruminal como alternativa efectiva para el plan de manejo ambiental de los residuos orgánicos generados en el camal municipal de Cajamarca, utilizó la bazofia de los rumiantes y agua en relación de 1:4 (20 kg y 80 litros) a una temperatura promedio de 12.53 °C, con un tiempo de retención de 30 días; por consiguiente, aplicaron una investigación descriptiva con un alcance descriptivo. Como resultado del estudio se concluyo que, la producción de biogás será de 0.336 litros, el aprovechamiento energético de los residuos del camal tuvieron un efecto positivo al impacto ambiental, pero economicamente no resulta viable la implementación del biodigestor debido al costo de producción y la baja cantidad de producción de biogás.

Gurbillón et al. (2019) realizaron la instalación de un sistema de producción de biogás y bioabono, utilizando el estiércol de bovino en la relación de 1:5 (estiércol y agua), con un tiempo de retención hidráulica de 29 días, a una temperatura ambiente promedio de 14.4°C, debido a lo cual, el tipo de investigación es no experimental. Por tanto, se concluye que, el biodigestor tubular tendrá 10 m de largo y 1.27 m de diámetro, con una capacidad total de 12 m³, con 9 m³ de volumen de trabajo y una producción de biogás de 2800 L/día, utilizado como combustible en una cocina, asimismo, el biol y biosol (biofertilizantes) obtenidos fueron aplicados a parcelas experimentales donde ambos superaron en casi el doble a la parcela testigo (sin biofertilizantes) en función al crecimiento del tallo.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Legislación ambiental.

Reglamento de manejo de los residuos sólidos del sector agrario. D.S N° 016-2012-AG.

Es el estiércol de la crianza de animales principales (bovinos, porcinos, ovinos, camélidos sudamericanos domésticos, caprinos y équidos). Estos residuos son aprovechados en los cultivos agrícolas como abono órgano mineral, para lo cual deberán disponer de balsas de estiércol, cercadas e impermeabilizadas, natural o artificialmente, que eviten el riesgo de introducirse y contaminar los

cuerpos de agua, asegurando que no se genere daño o derrame por el lugar accidentado, con el tamaño preciso para poder almacenar la producción de al menos tres meses, que permitan el manejo adecuado de los mismos. El aprovechamiento del estiércol de los animales, pueden darse mediante compostaje, secado artificial y otros, con el fin de convertirlas en materia orgánica estable, con características mejorables para el uso en cultivos agrícolas. De tal manera que, estos residuos pueden ser aprovechados energéticamente, mediante sistemas de fermentación anaerobia, para el aprovechamiento del biogás. Como también se tiene los tratamientos químicos que son la adición de aditivos, separación sólidos líquidos y nitrificación-desnitrificación (SENACE, 2016).

Protocolo de Kioto.

El 11 de diciembre de 1997 los países más avanzados se involucraron, en la ciudad de Kioto, a realizar un conjunto de medidas para disminuir los GEI. Los gobiernos signatarios de dichos países estipularon aminorar en un 5% las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como antecedente los niveles de 1990. El acuerdo entró en vigencia el 16 de febrero del 2005, después de la confirmación por parte de Rusia el 18 de noviembre del 2004. Con el fin disminuir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆) (MINAM, 2012).

2.2.2. Estiércol.

También llamado excremento, son utilizados como abonos en los cultivos, por alto contenido de nutrientes (N, P y K), que permite la retención de la humedad y la mejora de la actividad biológica en el suelo. (España, 2018), asimismo Cruz (2017) afirma en la Tabla 2 la cantidad de estiércol que produce un cerdo por día.

Tabla 2.
Cantidad de excremento que produce un porcino por día.

Tamaño del porcino	Cantidad de excremento por día (kg)
Grande	2
Mediano	1.5
Pequeño	1

2.2.2.1. Tipos de estiércol.

Según Yauyo (2016) los tipos de estiércol son los siguientes:

- **Estiércol fresco:** El estiércol cuenta con pocas horas de haber sido liberado del sistema digestivo del animal y son reconocibles dentro de la cama del animal.
- **Estiércol semi-hecho:** Es el estado intermedio, donde las heces ya se empiezan a descomponer.
- **Estiércol maduro:** Es el estado final, donde las heces ya se encuentran descompuestos.

2.2.2.2. Contaminación por estiércol.

El sector agropecuario es el principal productor de GEI, debido a la emanación de metano al ambiente, siendo 23 veces más perjudicial que el dióxido de carbono, además este sector genera la degradación del suelo y de los cuerpos de agua (España, 2018).

2.2.2.3. Ventajas del estiércol.

Según España (2018) menciona lo siguiente:

- El estiércol contiene gran cantidad de nutrientes, y puede ser manejado mediante el compostaje, esto contribuye notablemente para la fertilización en la agricultura.
- El estiércol compostado produce mayor cantidad de humus, ampliando la mayor actividad microbiológica, caso que no ocurre al emplear directamente el estiércol sin tratar al suelo.
- El uso del estiércol como fertilizante orgánico natural, beneficia a los agricultores, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos.

2.2.2.4. Desventajas del estiércol.

Según España (2018) menciona las desventajas del estiércol:

- Existe una gran acumulación de excrementos debido a la actividad ganadera intensiva.
- La mala disposición del estiércol genera impactos negativos, por lo general en zonas rurales, generando así el aumento de enfermedades que afectan al ganado y a las personas dedicadas al rubro
- El estiércol también puede generar una bioacumulación en la zona, debido a los contaminantes químicos que posee en ella, ocasionando una duda para el uso de fertilizantes en el suelo.
- Desequilibrio del compost, o compost de mala calidad al no mezclar estiércol con alto contenido de macronutrientes, con otros materiales de menor contenido.
- Si se desea utilizar el estiércol como fertilizante orgánico o como biogás, los ganaderos necesitan tener conocimientos.

2.2.2.5. Composición del estiércol:

Depende de la edad del animal, el animal joven come mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que un animal anciano; y sus excrementos no son ricos en elementos fertilizantes, todo lo contrario, al animal anciano que si son buenos fertilizantes para la agricultura.

Las variadas especies animales producen estiércol de diferente composición química (Tabla 3), además se sabe que los orines del ganado contienen

grandes porcentajes de nitrógeno (N) y, sobre todo en potasio (K), y en las excreciones se encuentran el ácido fosfórico (España, 2018).

Tabla 3.
Composición del excremento fresco de diferentes animales.

Nutrientes	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia organica (%)	48.9	45.3	52.8	63.9	54.1
Nitrogeno total (%)	1.27	1.36	1.55	1.94	2.38
Fósforo asimilable	0.81	1.98	2.92	1.82	3.86
Potasio (%)	0.84	0.66	0.74	0.95	1.39
Calcio (%)	2.03	2.72	3.2	2.36	3.63
Magnesio (%)	0.51	0.65	0.57	0.45	0.77

2.2.2.6. Uso potencial del estiércol.

El uso común del estiércol durante generaciones ha sido en la elaboración del compost, para el abonado de los suelos, pero no es solo el único potencial del estiércol, sino que también es usado en la producción de biogás y biofertilizantes en condiciones anaeróbicas (España, 2018).

2.2.3. Biodigestores.

Son recipientes sellados y herméticos, donde se realiza por dentro la fermentación anaeróbica de la mezcla (estiércol y agua), como también se obtiene la descarga de biofertilizantes. Poseen un sistema de almacenamiento de biogás para su aprovechamiento energético (Ruiz, 2020).

2.2.3.1. Tipos de biodigestores.

a. Modelo chino o de cúpula fija.

Este tipo de biodigestor son elaborados con material de construcción (alto costo), tienen la forma de un domo en el piso y en el techo, además de tener un tiempo de vida útil mayor a 15 años debido al material, antiguamente eran usados como letrina, debido al problema sanitario que había en China. Este sistema les permitió obtener biogás y bioabono a partir de sus mismos excrementos (Cruz, 2017).

b. Modelo hindú o de campana flotante.

Este tipo de biodigestor fue diseñado en la India, luego de la segunda guerra mundial (conflicto armado), debido a la falta de combustible para las maquinarias, calefacción, etc. Este digestor trabaja a presión constante y es muy sencillo su manejo, contiene una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica generalmente construida en hierro. La salida del efluente se realiza por rebalse. La construcción de este biodigestor tiene un costo elevado, siendo la campana gasométrica lo más caro del equipo (Cruz, 2017).

c. Modelo Taiwán o tubular.

Este tipo de biodigestor tiene la forma de una salchicha tubular (Figura 2), y son construidos generalmente de bolsa de polietileno o material antioxidante. El funcionamiento es similar a los demás biodigestores, la mezcla estiércol y agua entra por un tubo de ingreso del biodigestor trasladándose horizontalmente hasta el otro extremo, teniendo como productos, el bioabono y el biogás que sube verticalmente y se almacena en un gasómetro (Apolo, 2019).

Figura 2.
Biodigestor tubular.



Según Toala (2013) menciona los principales componentes del biodigestor modelo tubular:

- **Tubo de ingreso.**

Es el tubo de ingreso del sustrato hacia la cámara de digestión, su diámetro debe ser de 20 o 30 centímetros, este se introduce bajo el sustrato sumergiéndolo, así se evita la generación de fugas de gas.

- **Fermentador y bolsa de almacenamiento.**

Es la parte principal del biodigestor, donde se produce la degradación del material orgánico, la bolsa reunirá la producción de biogás.

- **Tubo de salida.**

Al igual que el tubo de ingreso, este se mantiene sumergido evitando que la fuga del gas, su diámetro está comprendido entre las 4 y 6 pulgadas.

- **Tubo de transporte del biogás.**

El tubo de metano se utiliza para conducir el biogás que se ha generado en la bolsa de almacenamiento.

- **Válvula.**

Funciona a presión evitando la presión interna dentro de biodigestor se exceda y cause rupturas en el sistema.

- **Mantenimiento del biodigestor tubular.**

El biodigestor debe recibir mantenimiento anual durante su tiempo útil de 5 años, al estar hecho de plástico debe cuidarse que el material no se deteriore y llegue a causar rupturas.

2.2.3.2. Características del biodigestor.

Según Ruiz (2020) menciona las características que debe poseer un biodigestor para cumplir su función:

- Ser hermético, así impedirá el ingreso del aire y evitará la interrupción del proceso.
- Estar aislado térmicamente, así se evitan las variaciones de temperatura.
- Tener un dispositivo de seguridad que permita la salida de gas controlada y evitar sobrepresiones.
- Contar con tubo de ingreso y una salida.
- Poder realizarle el mantenimiento requerido.

2.2.3.3. Ventajas de la utilización de biodigestores.

El mayor aprovechamiento de los biodigestores se da en las zonas rurales (agricultores y ganaderos) dándose a través de la energía térmica y los fertilizantes orgánicos que se generan, dando así una mejor calidad de vida a las poblaciones (Arrieta, 2016).

Arrieta (2016) menciona las siguientes ventajas:

- **Ventajas medioambientales.**
 - Disminución de la contaminación del aire.
 - Disminución de la contaminación del agua.
 - Disminución de la deforestación por el uso de leña.

- **Ventajas sociales.**

- Beneficios a la salud por sustitución de la leña.
- Beneficios a la salud por sustitución de fertilizantes químicos.
- Control de patógenos.
- Beneficios a la salud por la disminución de vertido de excremento animal a las fuentes de agua.
- Disminución de la multiplicación de insectos.

- **Ventajas económicas.**

- Ahorro en el consumo de gas propano.
- Ahorro en fertilizantes químicos.

2.2.4. Biodigestión.

2.2.4.1. Digestión anaerobia.

Es la descomposición de la materia orgánica, donde participan microorganismos en ausencia de oxígeno, obteniendo productos utilizables, como el biogás y biofertilizantes, ambos tienen cualidades energéticas (España, 2018). Asimismo Durazno (2018) menciona en la Tabla 4 las bacterias que favorecen en la producción de biogás.

Tabla 4.

Bacterias que favorecen la producción de biogás.

Bacterias
<i>Bacteroides</i>
<i>Clostridium</i>
<i>Clostridiumaceticum</i>
<i>Metanobacterium schngen</i>
<i>Metano cocus</i>

<i>Metanobacillus onelianski</i>
<i>Metano Sarcina</i>
<i>Clostridium buctiricum</i>

Según Toala (2013) indica las 4 fases de la digestión anaerobia:

- **Hidrólisis.**

Es la fase donde las proteínas, carbohidratos y grasas son convertidos en compuestos solubles por acción de las bacterias proteolíticas, celulíticas y lipolíticas. Este proceso es esencial para conceder los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaeróbica y ser utilizados por las bacterias responsables de las dos fases posteriores.

- **Acidogénesis.**

Los compuestos solubles, son efectos de la primera fase, son convertidos por acción de las bacterias en ácidos orgánicos simples volátiles, acetatos, amoniacos, hidrógeno y dióxido de carbono. Esta fase la pueden llevar a cabo bacterias facultativas.

- **Acetogénesis.**

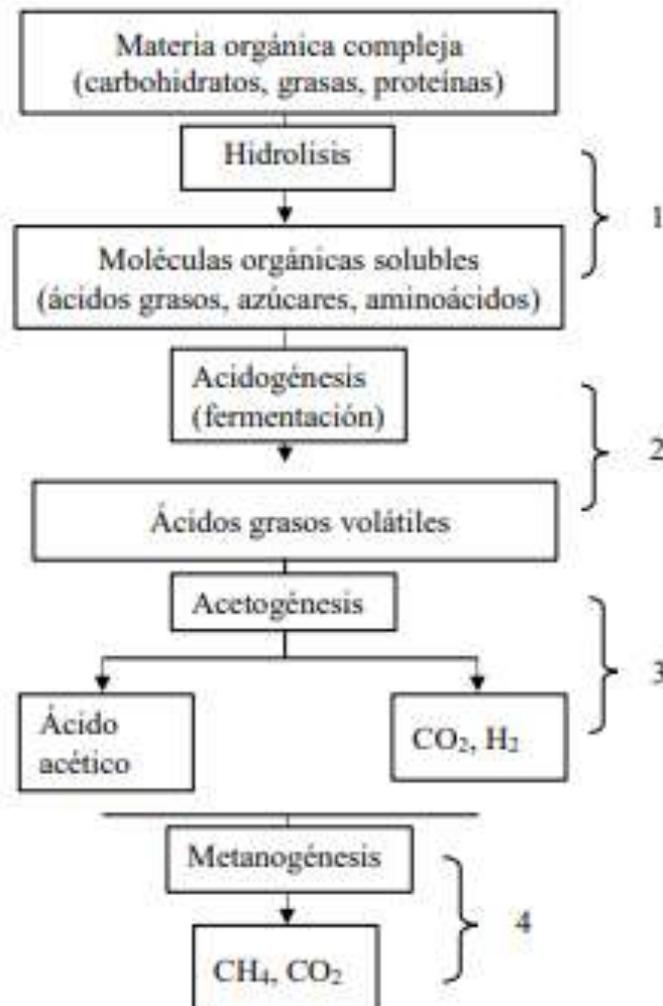
Fase en la cual, las bacterias acetogénicas se relacionan con las *Archaeas metanogénicas* colaborando entre sí, a fin de convertir los ácidos grasos resultantes en los sustratos propios de la metanogénesis.

- **Metanogénesis.**

Finalmente, la acción de las bacterias metanogénicas, el hidrógeno y parte de los acetatos, son convertidos en metano y dióxido de carbono. El amoniaco se establece en forma de sales de amonio, siguiendo en esta forma todo el contenido original de nitrógeno de la materia orgánica, que está sometido al proceso de degradación anaeróbica. El metabolismo de

estas bacterias es más pausado, y son más sensitivos a distintos factores ambientales.

Figura 3.
Fase de la digestión anaerobia.



2.2.4.2. Condiciones para la biodigestión.

Según Toala (2013) menciona lo siguiente:

- La temperatura ayuda a mantener operante y trabajando a los microorganismos, además las condiciones favorables de la temperatura son de 30° a 35°C aproximadamente.
- Un pH neutro.

- Un sistema hermético, lo que facilita la labor de los microorganismos en un entorno anaerobio y en condiciones.
- Un nivel de humedad elevado.
- La mezcla se encuentre disuelta y no tengan dimensiones grandes que dificulten la degradación.
- Proporción de C/N.

2.2.5. Biogás.

Es una combinación de gases cuyos componentes esenciales son el metano y el dióxido de carbono, formándose la fermentación de la materia orgánica en carencia de oxígeno por la actuación de un grupo de microorganismos que interactúan con otros componentes (España, 2018).

2.2.5.1. Componentes del biogás.

Los componentes fundamentales del biogás son el metano y el dióxido de carbono, además de algunos componentes en menor porcentaje como se muestra en la Tabla 5 (Ruiz, 2020).

Tabla 5.
Componentes del biogás.

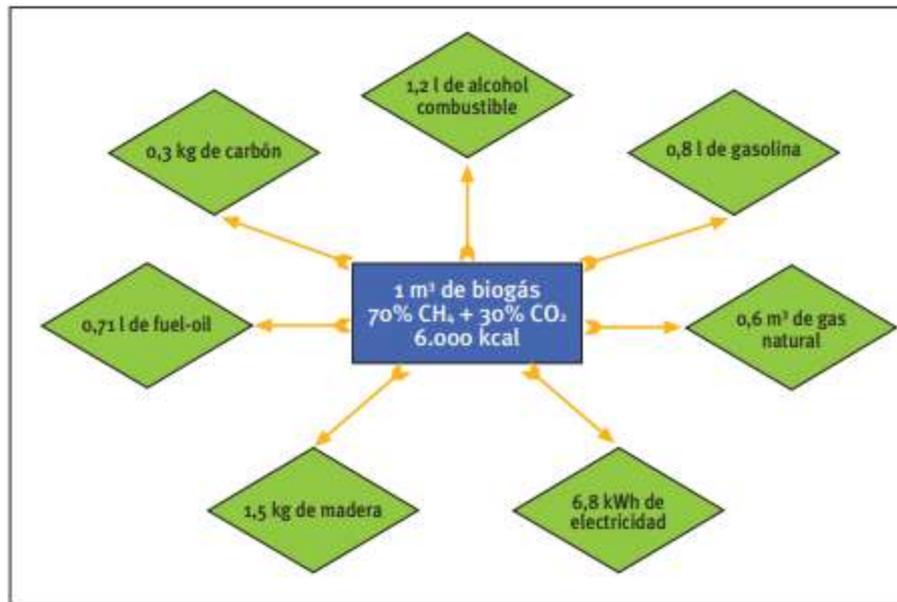
Componente	Fórmula	Porcentaje (%)
Metano	CH ₄	55 – 70
Anhídrido Carbónico	CO ₂	35 – 40
Nitrógeno	N ₂	0.5 – 5
Sulfuro de Hidrogeno	H ₂ S	0.1
Hidrogeno	H ₂	1 – 3

2.2.5.2. Comparación entre el biogás y otros combustibles.

En la Figura 4 se observa la conversión del biogás con otras fuentes de energía (carbón, alcohol combustible, gasolina, gas natural, electricidad, madera, etc.) (Arrieta, 2016).

Figura 4.

Conversión del biogás en otras fuentes de energía.



2.2.5.3. Aplicación del biogás.

Se tiene diferentes opciones para aprovechar el biogás, las aplicaciones más usadas son:

- **Producción de energía térmica:** Genera un poder calorífico, fundamental para la cocción, que pueden ser fácilmente adaptados en los quemadores de la cocina (España, 2018).
- **Generación de electricidad:** El biogás puede cambiar en energía eléctrica mediante el uso de un generador eléctrico (España, 2018).
- **Combustible para vehículos:** Para el uso en vehículo el biogás debe compararse a la calidad del gas natural para su uso (España, 2018).

2.2.5.4. Factores que se requieren para la producción de biogás.

Estos factores determinan la calidad y cantidad de biogás a producir, como también la celeridad en la que se obtiene.

a. Sustrato: Es la materia orgánica que entra al biodigestor (Días y Harold, 2019).

Así mismo Infantes (2006) presenta en la Tabla 6, la producción de biogás de acuerdo a la excreta.

Tabla 6.

Producción de biogás en función al tipo de sustrato.

SUSTRATO	PRODUCCIÓN DE GAS (L/Kg. Biomasa seca)	PROMEDIO (L/Kg. Biomasa seca)
Estiércol de porcino	340-550	450
Estiércol de vacuno	150-350	250
Estiércol de aves	310-620	460
Estiércol de caballo	200-350	250
Estiércol de oveja	100-310	200
Guano de establo	175-320	225
Residuo de verduras	300-400	350
Algas	380-550	460
Lodos de aguas servidas	310-640	450

b. Relación Carbono-Nitrógeno: La relación C/N (Tabla 7) no debe ser mayor a 35, ya que ocasiona acidificación, siendo el óptimo 30; mientras que la relación C/N inferior a 10 causa acumulación de Amoniacó (Basauri y Terrones, 2018).

Tabla 7.
Relación C/N en función al tipo de residuo.

Residuo	Relación C/N
Orina	0.8
Excreta de vacuno	10 – 20
Excreta de porcino	9 – 13
Excreta de gallina	5 – 8
Excreta de caprino/ ovino	30
Excreta de humanos	8
Paja de cereales	80 – 140
Paja de maíz	30 – 65
Gras fresco	12
Residuo de verduras	35

c. Temperatura: La temperatura y la hidrólisis tienen una relación directamente proporcional, ya que conforme aumenta la temperatura la tasa metabólica incrementa (Tabla 8). Provocando un aumento en la velocidad metabólica de las bacterias y en la producción de biogás (Yauyo, 2016).

Tabla 8.
Temperatura según el tipo de regiones.

Región	Temperatura ambiente	Temperatura de trabajo	Altura sobre el nivel del mar
Altiplano	-12 a 20°C	6-16°C (Con invernadero)	2900-4500
Valle	5-30°C	15-20°C	1800-2900
Trópico	13-38°C	25-30°C	0-1800

d. Dilución: La dilución de la mezcla es muy importante, evitará el bloqueo de la salida de los biofertilizantes.

e. Tiempo de permanencia del sustrato en el biodigestor: Es el tiempo que le toma en degradarse al sustrato dentro del biodigestor, además las características del lugar influyen en el tiempo de retención de la materia orgánica, así como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.
Tiempo de retención según temperatura.

Tiempo de retenimiento de acuerdo con la temperatura		
Característica del lugar	Temperatura (°C)	Tiempo de retenimiento (días)
Trópico	30	15
Valle	20	25
Altiplano	10	60

f. Valor de pH: Los valores tomados al operar el digestor son generalmente a un pH neutro, esto permite la mayor actividad de los microorganismos para la producción de biogás, el rango aceptable es de 6 a 8, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10.
Rangos de pH en la producción de biogás.

VALOR DE PH	CARACTERÍSTICA
7 – 7.2	Excelente.
Menor de 6.2	Retraso por ácidos.
Mayor a 7.6	Retraso por amonios.

2.2.6. Análisis financiero.

Dobarro (2017) nos menciona que tan viable es invertir en un proyecto a partir de los siguientes indicadores.

2.2.6.1. VAN (Valor actual neto).

Son utilizados para la evaluación de proyectos de inversión, nos indica la viabilidad de un proyecto a ejecutarse con los ingresos y egresos (flujo de caja).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Vt: Flujos de caja estimado para cada año.

n: Tiempo de vida útil del proyecto.

k: Tasa de interés.

I: Inversión del proyecto.

INTERPRETACIÓN:

$$VAN = 0$$

El proyecto no produce pérdidas ni beneficios., por lo que la aprobación se somete a otros juicios.

$$VAN > 0$$

Si el VAN es mayor a 0, se genera beneficios económicos, por lo que es aprobado el proyecto.

$$VAN < 0$$

Si el VAN es menor a 0, se genera pérdidas, por lo que no es aprobado el proyecto.

2.2.6.2. TIR (Tasa interna de rentabilidad).

Para obtener el TIR, se deberá igualar a 0 el VAN

$$TIR = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

I: Inversión del proyecto

Fi: Flujo de caja para el período t.

n: Tiempo de vida útil del proyecto

INTERPRETACIÓN:

$$TIR = r$$

La TIR iguala la rentabilidad de otros proyectos similares. La aprobación del proyecto se somete a otros juicios.

$$TIR > r$$

Es el modelo ideal para la aprobación del proyecto.

$$TIR < 0$$

El proyecto tendrá una rentabilidad menor a la exigida. No es aceptado.

2.3. Definición de términos básicos.

- **Sólidos totales:** Materia orgánica que se obtiene después del secado, sin porcentaje de humedad (Reyes y Pérez, 2019).
- **Sólidos Volátiles:** Es un fragmento de los sólidos totales que se desprende de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante horas. Los sólidos volátiles presentan componentes orgánicos, los que en teoría deben ser convertidos transformados en CH₄ (Reyes y Pérez, 2019).

- **Relación C/N:** La relación C/N no debe ser mayor a 35, ya que provoca acidificación, siendo el óptimo 30; mientras que la relación C/N inferior a 10 genera acumulación de Amoniaco (Basauri y Terrones, 2018).
- **Digestión anaerobia:** Es la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando gases y en su mayor porcentaje el dióxido de carbono y el metano (Ruiz, 2020).
- **Valor actual neto (VAN):** Son utilizados para la evaluación de proyectos de inversión, nos indica la viabilidad de un proyecto a ejecutarse con los ingresos y egresos (flujo de caja) (Dobarro, 2017).
- **Tasa Interna De Retorno (TIR):** Son utilizados para la evaluación de proyectos de inversión, determinado la tasa de interés que se puede obtener de un proyecto a ejecutarse (Dobarro, 2017).

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL.

3.1. Determinación y análisis del problema.

La asociación agropecuaria las cataratas, presenta una problemática con la generación de residuos de estiércol, estos son depositados en las mismas viviendas o en sus alrededores, generando una excesiva acumulación, causando impactos ambientales negativos a la atmósfera, el suelo y la salud pública (Figura 5).

Figura 5.
Estiércol arrojado a las calles de las viviendas.



Es por ello que, al ver la realidad problemática de las 15 familias dedicadas a la crianza de porcinos, se tomó la decisión de realizar la propuesta.

La familia visitada está conformada por cuatro integrantes, con un terreno de 2000 m², dedicadas a la crianza de porcinos desde el año 2015 hasta la actualidad, localizada con las siguientes coordenadas geográficas, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11.
Coordenadas geográficas de la vivienda de la familia visitada.

Coordenadas geográficas.	
ESTE	284362.00
NORTE	8680963.00
ALTURA	576.5 m.s.n.m

Actualmente la familia visitada posee cerdos de diferentes tamaños como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12.
Total de porcinos de la familia visitada.

TAMAÑO	CANTIDAD
Grande	7
Mediano	24
Pequeño	6
TOTAL	37

En total presenta 37 porcinos de diferentes tamaños: 7 grandes (6 hembras y 1 macho), 6 lechones y 24 cerdos de engorde) estos porcinos están ubicados en diferentes establos (Anexo 1).

Los establos están cercados con ladrillos y parihuelas de madera en todo su contorno, esto le permite el estacionamiento de 24 horas de los porcinos, el cual permitirá el mayor aprovechamiento de los residuos de estiércol.

Para la alimentación de los porcinos, como primer paso, realizan la segregación de los residuos, después la instalación y armado de un cilindro u olla, el cual les permite la cocción de sus alimentos, los residuos más aprovechados serán los residuos orgánico provenientes de viviendas y mercados, etc., y son transportadas con su mototaxi propia. Estas granjas también cuentan con un bebedero de

chupete en cada jaula esto le ayuda a prevenir la deshidratación del animal y un menor desperdicio del agua (Anexo 2).

La negociación de sus porcinos lo realiza en el mes de diciembre, debido a la alta demanda de la población para su consumo, por lo que es vendido a los comerciantes de diferentes mercados aledaños a la asociación.

3.1.1. Etapas del proyecto.

Etapas preliminar.

El desarrollo de la propuesta de implementación de un biodigestor tubular se realizó utilizando metodologías que aplican la técnica de observación, análisis de los documentos, procesos y procedimientos que se estaban utilizando en esas fechas, los cuales han servido como punto de partida para proponer las mejoras en la asociación agropecuaria las cataratas de Motupe en San Juan de Lurigancho.

Etapas de campo.

Para la selección del lugar en la asociación agropecuaria las cataratas, se tuvo que ir a la zona y ver la realidad problemática, evidenciando la gran cantidad de estiércol arrojados a las calles sin ningún tipo de manejo, es por lo que se da la propuesta de implementación de un biodigestor tubular de bajo costo en la vivienda de la familia visitada.

Etapas de propuesta y diseño de la implementación del biodigestor.

En esta etapa se realizó, la estimación de la producción diaria de estiércol que se genera en la granja porcina de la familia visitada determinando así el diseño y las dimensiones del biodigestor tubular. Se realizó la caracterización fisicoquímica del estiércol, calculando así la estimación de la producción biogás y bioabono al día. También, se evaluó la viabilidad económica del proyecto en un tiempo de vida útil de 5 años.

3.2. Modelo de solución propuesto.

Al tener una visión de la realidad problemática en la asociación agropecuaria las cataratas, es que el presente trabajo da una propuesta de implementación de un biodigestor tubular en la vivienda de la familia visitada, para minimizar el impacto generado por la acumulación de estiércol y a su vez tener un aprovechamiento energético.

Figura 6.

Ubicación del biodigestor tubular en la vivienda.



Para esta propuesta de implementación de un biodigestor se planteó el modelo tubular de bajo costo (Figura 2), este modelo será empleado en la vivienda de la familia visitada.

3.2.1. Muestreo.

La caracterización de los parámetros fisicoquímicos, se hizo en 500g de muestra del establo de los cerdos medianos, el cual fue analizado por el

laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. acreditado por INACAL, y para ello utilizamos los siguientes materiales y equipos (Tabla 13).

Tabla 13.

Materiales y equipos utilizados para tomar la muestra de estiércol.

Materiales y equipos	
Libreta de campo	Balanza romana
Lapiceros	Cámara fotográfica
Guardapolvo	Laptop
Guantes	Calculadora
Bolsa ziploc	Flexómetro
Mascarilla quirúrgica	Espátula
Botas de seguridad	Bolsa negra

3.2.2. Metodología utilizada para el análisis físico químico.

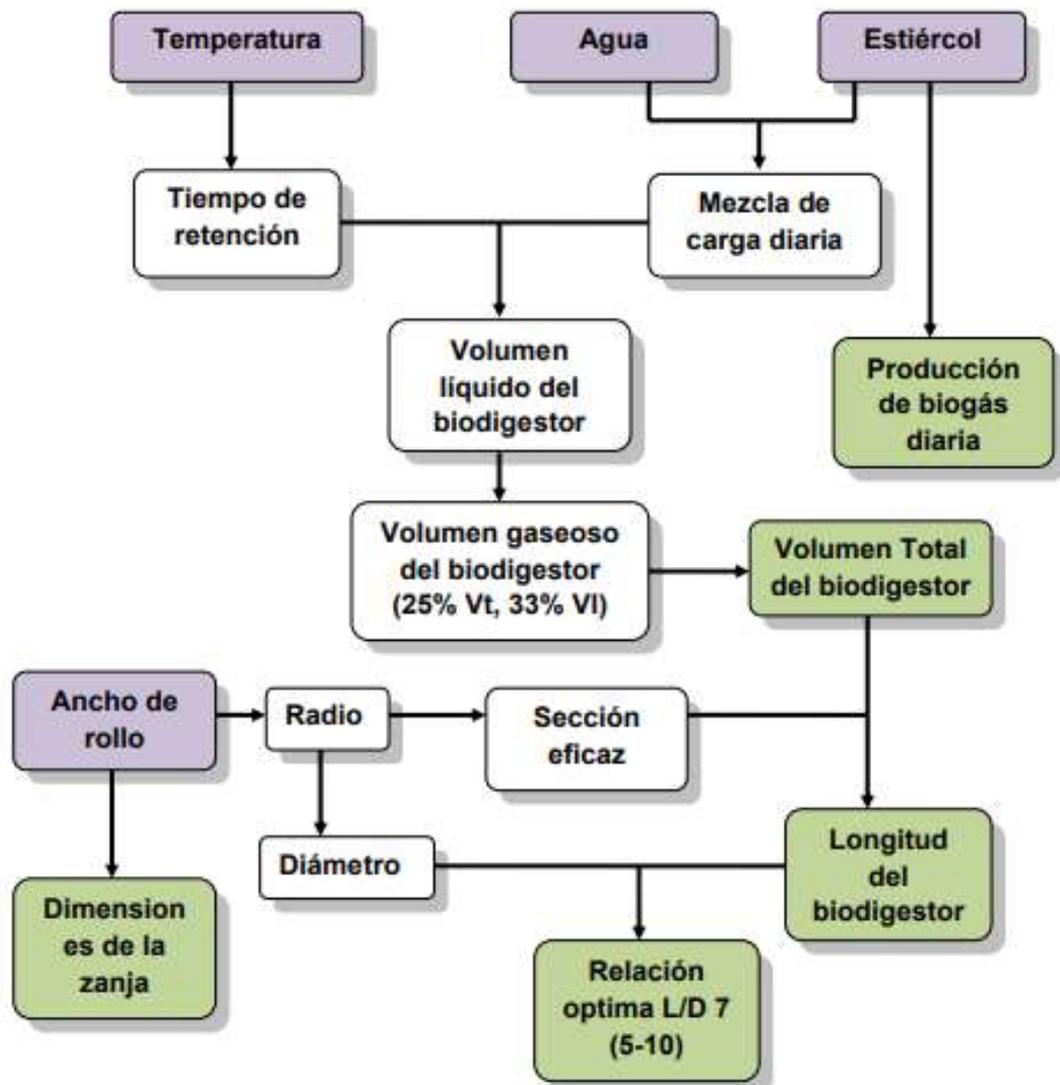
Laboratorio SAG aplicó los siguientes métodos para el análisis de los parámetros de nuestra muestra de estiércol de porcino (Tabla 14).

Tabla 14.
Parámetros analizados.

Parámetros	Metodología
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-067- 1985. PROTECCION AL AMBIENTE Contaminación del suelo -Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno
Fósforo (P205) y Potasio (K2O)	Method EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).
Sólidos totales, fijos y volátiles	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 G. 23rd Ed. 2017. Total, Fixed, and Volatile Solids and Semisolid Samples
Materia orgánica (suelos)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07 (31 de diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Materia Orgánica
Carbono orgánico total	NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7, Método AS-07. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Materia Orgánica. 2002.
Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017. Semi-Micro

Para el desarrollo de la propuesta de implementación de un biodigestor tubular se trabajó con la metodología de Herrero (2008) quien plantea el siguiente esquema (Figura 7).

Figura 7.
Esquema de la metodología de diseño.



3.2.3. Cálculos de diseño.

3.2.3.1. Cálculo de la generación de estiércol diario.

Para el cálculo de la generación de estiércol por día se hizo en base a revisiones bibliográficas, y para ello se consultó la cantidad de cerdos que

posee la familia dentro de sus instalaciones, mencionándolos: 7 cerdos grandes (1 macho y 6 hembras), 24 cerdos de engorde y 6 lechones, tomando de la Tabla 2 (cantidad de estiércol que produce un cerdo por día) el valor promedio de estiércol producido según el tamaño.

$$ET = EG * \#PG + EE * \#PE + EL * \#PL$$

$$ET = 2 \text{ Kg/día} * 7 + 1.5 \text{ Kg/día} * 24 + 1 \text{ Kg/día} * 6$$

$$ET = 56 \text{ Kg/día}$$

Donde:

ET: Estiércol total.

EG: Estiércol promedio del cerdo grande.

EE: Estiércol promedio del cerdo engorde.

EL: Estiércol promedio del lechón.

#PG: Numero de porcinos grandes.

#PE: Numero de cerdos de engorde.

#PL: Numero de porcinos lechones.

3.2.3.2. Volumen diario de estiércol.

El volumen disponible de estiércol hace referencia a la cantidad de excremento que está en condiciones de ser usada en su totalidad.

$$VE = ET * \frac{1 \text{ L}}{1 \text{ kg}}$$

$$VE = 56 \text{ kg} * \frac{1 \text{ L}}{1 \text{ kg}}$$

$$VE = 56 \frac{\text{L}}{\text{día}} = 0.056 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Donde:

ET: Estiércol total.

VE: Volumen del estiércol.

3.2.3.3. Agua para dilución.

Según (Herrero, 2008) en su investigación menciona, que en artículos y bibliografías anteriores se recomendaba en todos los casos de mezclas de 1:3 o 1:4 para biodigestores tubulares, para evitar atascos por exceso de materia sólida en su interior.

$$Ad = \frac{Et * 3}{\text{agua día}}$$
$$Ad = 56Kg * \frac{1L}{1Kg} * 3$$
$$Ad = 168 L$$

Donde:

Ad: Agua para dilución.

Et: Estiércol total.

3.2.3.4. Carga diaria.

Mezcla de agua y estiércol que ingresará diario al biodigestor.

$$Cd = Et (L) + Ad (L)$$
$$Cd = 56 \frac{L}{\text{día}} + 168 \frac{L}{\text{día}}$$
$$Cd = 224 \frac{L}{\text{día}} = 0.224m^3/\text{día}$$

Donde:

Cd: Carga diaria.

Et: Estiércol total.

Ad: Agua para disolución.

3.2.3.5. Volumen líquido.

El volumen líquido será el resultado de multiplicar el tiempo de retención por la carga diaria y se comenzará a llenar de forma diaria en función al tiempo de retención, hasta que se desbordará expulsando la carga del primer día ya digerida (Herrero, 2008).

El tiempo de retención será considerado 25 días (Tabla 9), Según INEI (2017) la temperatura promedio en San Juan de Lurigancho es de 20°C.

$$Vl = (Cd) * Tr$$

$$Vl = 224 \frac{L}{día} * 25 \text{ días}$$

$$Vl = 5600L = 5.6m^3$$

Donde:

Cd: Carga diaria.

VI: Volumen líquido.

Tr: Tiempo de retención.

3.2.3.6. Volumen gaseoso.

El volumen total del biodigestor contiene una parte gaseosa y otra líquida, normalmente se da un espacio del 75 % del volumen total a la fase líquida, y del 25 % restante a la fase gaseosa, entonces:

$$Vg = Vt * 0.25$$

$$Vg = (Vg + Vl) * 0.25$$

$$Vg = (Vg + 5600L) * 0.25$$

$$Vg = 0.25Vg + 1400$$

$$Vg - 0.25Vg = 1400L$$

$$0.75Vg = 2100L$$

$$Vg = 1866.7L$$

Finalmente, el volumen total fue:

$$Vt = Vl + Vg$$

$$Vt = 5600L + 1866.7L$$

$$Vt = 7466.7L$$

3.2.3.7. Estimación de la producción de biogás (kg/m³ día).

Sólidos totales: Para calcular los sólidos totales que introducimos diariamente en un biodigestor, basta con multiplicar la producción de estiércol diario por los sólidos totales (hallados por el laboratorio S.A.G) entre el volumen líquido (Herrero, 2008).

$$ST = PED * \frac{0.3787}{VI} (Kg/m^3)$$

$$ST = 56Kg * \frac{0.3787}{5.6m^3}$$

$$ST = 3.787 \frac{Kg}{m^3}$$

Donde:

PED: Producción de estiércol diario.

ST: Sólidos totales.

VI: Volumen líquido.

Sólidos volátiles: Los sólidos volátiles representa la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa, su valor corresponde el 80% (hallados por el laboratorio S.A.G) del sólido total introducido por día (Herrero, 2008).

$$SV = ST * 0.80(kg/m^3 día)$$

$$SV = 3.787 \frac{kg}{m^3 día} * 0.80$$

$$SV = 3.0296 kg/m^3 día$$

Donde:

SV: Sólidos volátiles.

ST: Sólidos totales.

Para conocer la producción de biogás diario multiplicaremos el factor de producción de metano (oscila entre el rango de 0.25 a 0.50) del cerdo por los sólidos volátiles.

Tabla 15.
Factor de producción de biogás.

Animal	Factor de producción (CH4)
Porcino	0.25 - 0.50

$$PB = FP * SV(m3_{biogas}/m3_{vl}/día)$$

$$PB = 0.25 * 3.0296(m3_{biogas}/m3_{vl}/día)$$

$$PB = 0.7574(m3_{biogas}/m3_{vl}/día)$$

Ya teniendo la producción de biogás, se multiplica por el volumen líquido para obtener la producción diaria de biogás.

$$PB * Vl = 0.7574 * 5.6m3$$

$$PDB = 4.24144 m3$$

Donde:

PB: Producción de biogás.

FP: Factor de producción.

SV: Sólidos volátiles.

PDB: Producción diaria de biogás.

3.2.3.8. Producción de bioabono por día.

$$BA = Cd - (Cd * ST)$$

$$BA = 224kg/día - (224 kg/día * 37.87\%)$$

$$BA = 139.1712 \frac{\text{Kg Sólidos}}{\text{día}}$$

3.2.3.9. Longitud y diámetro del biodigestor.

Según (Herrero, 2008) en su trabajo de investigación menciona que la longitud del biodigestor dependerá del ancho del rollo y la longitud estimada entre el diámetro de la manga se tendrá que aproximarse entre el rango de 5-10, siendo la mejor 7, pero en nuestro caso se tomó la parte sombreada, como se muestra en la Tabla 16, debido a las dimensiones del terreno destinada a la instalación del biodigestor.

Tabla 16.
Longitud y diámetro del biodigestor.

Perímetros según el ancho de rollo				
Ancho de rollo (m)	Diámetro	Sección eficaz ($\pi \times r^2$) (m)	Longitud del biodigestor Vt/sección eficaz (m)	Relación Longitud/Diámetro
1	0.64	0.32	23.33	36.45
1.25	0.80	0.5	14.93	18.66
1.5	0.96	0.72	10.37	10.80
1.75	1.12	0.97	7.70	6.86
2	1.28	1.27	5.88	4.59

Para nuestro caso viendo las dimensiones del lugar de instalación (8m x 3m) (Anexo 3) y la carga de sustrato que ingresará al biodigestor, se dan las siguientes dimensiones: Largo 5.88 m y diámetro del biodigestor 1.28 m.

3.2.3.10. Dimensiones de la zanja del biodigestor.

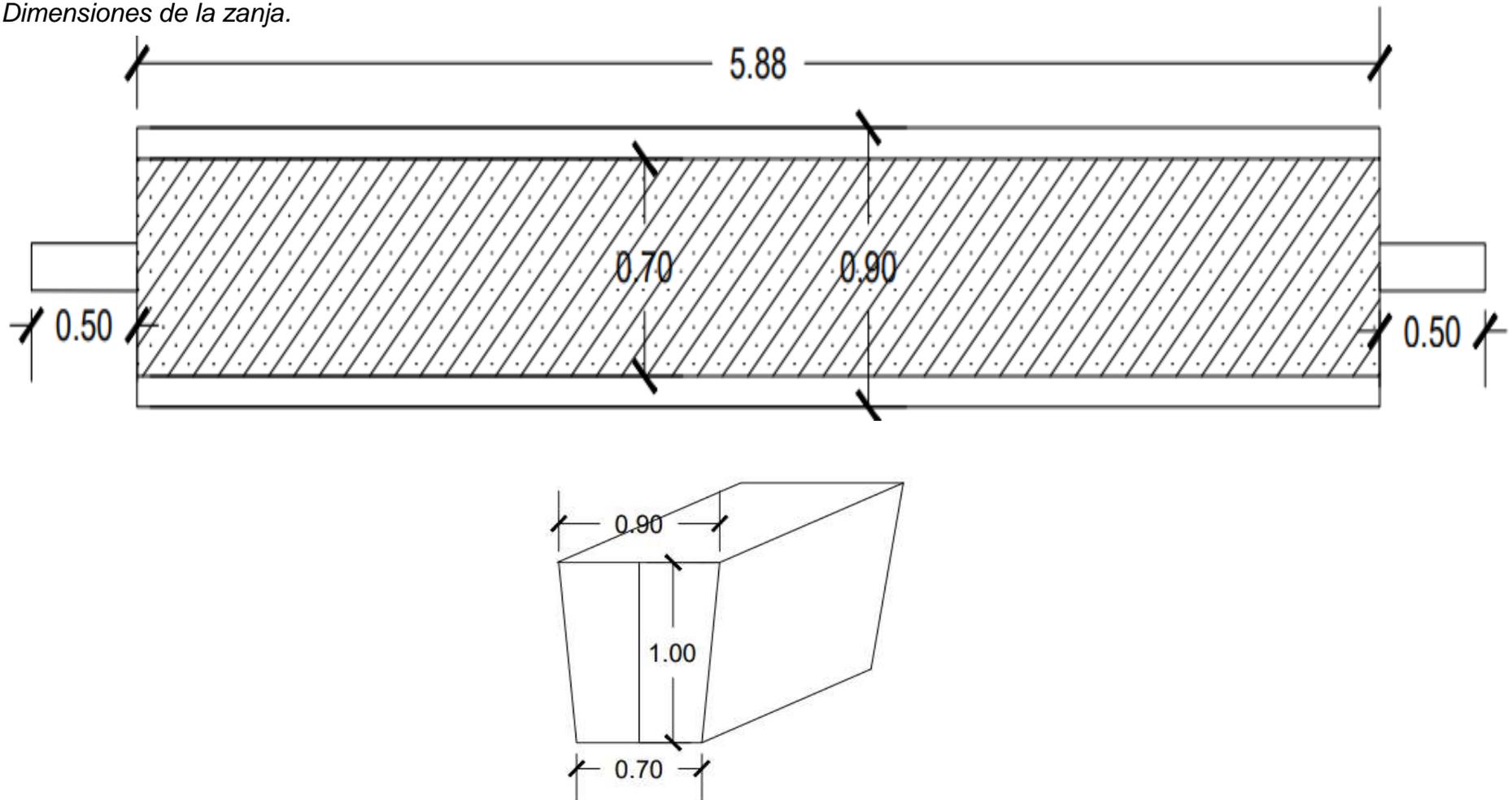
La zanja para la instalación del biodigestor quedó definida por el ancho del rollo de 2 metros, por lo que obtendremos: La base menor (a) de 70cm, base mayor (b)90cm y una altura (p) de 1 metro (Tabla 17).

Tabla 17.

Dimensiones de la zanja según el ancho del rollo (AR).

Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (ar)					
AR (m)	2	1.75	1.5	1.25	1
a(m)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
b(m)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
p(m)	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Figura 8.
Dimensiones de la zanja.



Procedimiento para la instalación del biodigestor.

Ubicación del lugar donde se instalará el biodigestor.

El biodigestor estará ubicado junto a los establos de los porcinos, para facilitar a la familia en cuanto al traslado de los 56 kg de estiércol diario promedio que ingresará al sistema. El lugar destinado para la instalación del biodigestor cuenta con un área de 24 m², 8 m de largo y 3 m de ancho (Figura 9), por lo que se trabajara con esa área para el dimensionamiento del sistema.

Figura 9.
Medición del área del terreno.



Excavado de la zanja.

Ya culminada la ubicación del biodigestor, se tendrá q realizar el excavado del terreno de forma trapezoidal, con las medidas ya calculadas (Figura 8), además deberá tener una inclinación ligera en dirección de salida de los efluentes.

Ya terminada la zanja se procederá a cubrir el suelo y las paredes laterales con costales, plásticos y cascará de ajos, de manera que, al momento que ingresen las cargas diarias, se pueda proteger el polietileno de cualquier objeto punzocortante.

Figura 10.

Excavado de la zanja.



Salida de biogás.

Para la salida del biogás se tendrá que hacer un agujero en la parte superior de la geomembrana HDPE (2.54 metros en la dirección del tubo de ingreso de la carga diaria), de manera que pueda ingresar la pieza brida para tanque de agua de ½ pulgada, una vez colocado la pieza, se utilizará una llave stillson para presionar la rosca junto al tapón de caucho pegada a la bolsa, adicionándole pegamento azul en todo el contorno de la pieza, así se evitará cualquier tipo de fuga.

Introducción del biodigestor en la zanja.

Después de que se le coloque las cubiertas de plástico o costales con el colchón de cáscara de ajos se procederá a instalar la bolsa del polietileno dentro de la zanja ya diseñada, asegurándose de que estire lo máximo posible la bolsa, para evitar las formaciones de arrugas.

Tubos de ingreso y descarga.

Ya tendiendo la bolsa de polietileno dentro de la zanja se colocarán los tubos de entrada y de salida, el cual tendrán una medida de 6 pulgadas de diámetro, estos serán conectadas dentro de la bolsa de polietileno con una inclinación de 45° la entrada y descarga de biol, excepto el otro tubo de descarga, que tendrá una inclinación horizontal de 180° puesta en el suelo, el cual tendrá la función de la descarga de biosólidos. Para sujetar los tubos con la manga del biodigestor se utilizará primero la cinta de tela, después el alambre, adicionándole un listón en ambos lados, cruzado con el tubo de ingreso y salida (descarga de biol), esto permitirá la estática de ambos tubos en un ángulo de 45°.

Transporte de biogás.

Para la conducción de biogás, se utilizará el techo y uno de los listones aledaños que servirán de soporte para todo nuestro sistema de tubería para la conducción del biogás. Inicialmente pondremos una llave bola que servirá para expulsar el biogás almacenado dentro del biodigestor.

Desfogue de agua.

Al tener una gran cantidad de líquido dentro de la bolsa de polietileno, habrá la posibilidad de evaporarse y acumularse dentro de las tuberías, lo que generaría la obstrucción del pase del biogás. La solución a este tipo de problema se dará a través de la construcción de una tee (Figura 10), donde se tendrá una rosca en la parte inferior del tubo, que al abrir se hará el drenaje del líquido.

Válvula de seguridad.

La válvula de seguridad ayudará a proteger a nuestra bolsa de polietileno del exceso de biogás que se pueda almacenar dentro de ella sin ser consumida, es por ello que se instalara una válvula de seguridad artesanal, colocando una tee (Figura 11) y dentro de ella un recipiente con suficiente líquido, de manera que cubra 10 cm la altura del tubo.

Filtro de ácido sulfhídrico.

Para realizar el armado del filtro se deberá de utilizar los siguientes materiales: 1 tubo de PVC de 25 cm de 2 pulgadas, 1 tubo de PVC de 15 cm de 2 pulgadas, 1 unión universal de 2 pulgadas, 2 reducciones de 2 a $\frac{3}{4}$, 2 reducciones de $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$, 2 tubos de PVC de 10 cm de $\frac{3}{4}$ y viruta de hierro.

El filtro de ácido sulfhídrico ayudara a contrarrestar los malos olores provenientes de la fermentación del biodigestor, es por ello que se realizara el armado del filtro, utilizando los materiales ya mencionados, el cual permitirá introducir y retirar periódicamente la viruta de hierro dentro de la unión universal, el cual será de fácil acople y desacople y no habrá la necesidad de cortar el tubo para realizar el mantenimiento periódico.

Primera carga de la mezcla.

Para empezar el funcionamiento del biodigestor se tendrá que sellar completamente la boca de las tuberías de ingreso y salida, para ello se pondrá en conocimiento a la familia para la acumulación de estiércol por 1 semana aproximadamente para poder cubrirlas, una vez selladas se tendrá que alimentar con la carga diaria estimada de 56 kg de estiércol diario y 168 litros de agua.

Reservorio de biogás.

Para el almacenamiento del biogás, se utilizará el mismo material del biodigestor, geomembrana HDPE de 2 mm de espesor con un diámetro de 1 m y largo de 2 m, ubicada cerca de la cocina.

Cocina e iluminación.

Después del almacenamiento del biogás pasaría directamente a la cocina con el encendido de 1 hornilla.

3.2.4. Evaluación económica.

Para la evaluación económica se utilizó el VAN y el TIR, siguiendo el modelo de Ruiz (2020) donde utilizó los egresos, presupuesto total, y los ingresos, que se darán por el ahorro en el consumo de gas anual.

3.2.4.1. Egresos.

La estimación de los costos para la construcción del biodigestor fue tomada de la tienda Sodimac y de algunas revisiones bibliográficas.

• Costo de materiales para el biodigestor.

Tabla 18.

Costo de materiales para la instalación del biodigestor.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
Biodigestor	Geomembrana HDPE 2.00 mm	m ²	15.76	29	457.04
	Tubo PVC de 6"	Unidad	1	49.5	49.5
Conducción de biogás	Pegamento azul	Onzas	4	14.9	14.9
	Uniones 1/2"	Unidad	3	1.5	4.5
	Tubo PVC de 2"	Metro	1	4.3	4.3
	Brida para tanque de agua 1/2"	Unidad	1	13.90	13.9
	Tubo PVC agua 1/2 "	Unidad	4	10.9	43.6
	Válvulas de bola 1/2 "	Unidad	3	4.5	13.5
	Tee PVC 1/2"	Unidad	3	1.7	5.1
	Teflón	Unidad	2	1.5	3
	Codo de agua 1/2"	Unidad	3	1.2	3.6
	Codo de agua 45° 1/2"	Unidad	4	0.9	3.6
	Unión universal 2"	Unidad	1	29.5	29.5
	Reducciones de 2" a 3/4"	Unidad	2	3	6
	Uniones 1/2"	Unidad	3	0.8	2.4

	Reducciones de 3/4" a 1/2"	Unidad	2	1.5	3
Cocina	Manguera de gas 1/2"	Metro	2	6.9	13.8
	Tubo de PVC de 3/4"	Unidad	1	25.3	25.3
	Válvula de bola bronce 1/2"	Unidad	1	16.9	16.9
	Racor de bronce	Unidad	1	2.9	2.9
	Gasómetro (Geomembrana PVC 2.00 mm)	m ²	2	29	58
	Abrazadera de 1-1/2"	Unidad	4	1	4

- **Costo de herramientas.**

Tabla 19.
Costo de herramientas.

Herramientas	Objetivo	Cantidad	Precio total
Pico	Excavación de zanja	1	S/19.9
Pala	Levantado de arena	1	S/24.9
Flexómetro	Medir el terreno	1	S/4.65
SERRUCHO	Corte de listones	1	S/12
Listones	Soporte del techo de calamina	6	S/101.4
Martillo	Servirá para fijar los clavos	1	S/19.58
Calamina	Cubrir al biodigestor	4	S/115.24
Tijera	Corte de la manga de la geomembrana	1	S/1
Llave stilson	Ajuste de tuercas	1	S/19.9
Nivel de mano	Nivelación del suelo	1	S/15

Clavos	Clavar las calaminas con listones	1/2kg	S/5.9
--------	-----------------------------------	-------	-------

- **Costo de mano de obra para la instalación del biodigestor.**

Tabla 20.

Costo de mano de obra.

Actividad	Número de trabajadores	Costo diario	Número de días	Precio total
Excavación de zanja	1	25	2	50
Instalación del biodigestor	1	50	2	100
Construcción del techo	2	25	2	100
TOTAL				250

- **Materiales que no tienen costo.**

Tabla 21.

Materiales que ingresará en la construcción del biodigestor sin costo.

Materiales sin costo	
Arena cernida del lugar	Aplanamiento del suelo
Plásticos de polietileno	Cubierta del suelo y contorno de las paredes
Viruta de hierro	Servirá como filtro de ácido sulfhídrico
Retazos de alambre de amarre	Amarre de las mangas del polietileno con el tubo de ingreso y salida
Cintas de tela vieja	Amarre de las mangas del polietileno con el tubo de ingreso y salida
Botella de plástico	Servirá para la válvula de seguridad
Cáscara de ajo	Cubierta de la base de la zanja

- También se incluye el mantenimiento de los biodigestores, que se realizará cada año, con un gasto de S/100, utilizados para el cambio de la viruta del filtro de H₂SO₄, productos de limpieza y algunos imprevistos.

3.2.4.2. Ingreso.

Para obtener un ahorro, debemos saber si la producción de biogás que genera el biodigestor tubular supera al consumo de los balones de gas anuales de la vivienda visitada.

Entonces:

- En la Figura 4 se observa que el m³ de biogás representa en 0.6 kg de gas propano.
- La estimación de la producción diaria de biogás que obtuvimos es de 4.2 m³ al día, y anualmente sería de 1386 m³, descontándole un mes de producción de biogás por el mantenimiento que se le realiza.

Entonces podemos afirmar que:

$$\begin{aligned}
 1\text{m}^3 \text{ de biogas} &\rightarrow 0.6 \text{ kg de gas propano} \\
 1386\text{m}^3 \text{ de biogas} &\rightarrow X \text{ kg de gas propano} \\
 \boxed{X = 831.6 \text{ kg de gas propano/anuales}}
 \end{aligned}$$

Si se tendría un ahorro, debido a que la producción de biogás del biodigestor es de 831.6 kg de gas propano/anuales, superando los 110kg de gas propano que se consume anualmente en la vivienda.

Ahorro en compra de balones de gas.

- Según Osinergmin (2021), el costo de un balón de gas de 10 kg, oscila entre los S/36 y los S/65, por lo que se toma S/50, precio promedio.
- La familia visitada nos mencionó que consume 11 balones de gas de 10 kg por cada año, haciendo un consumo de 110 kg anualmente.

Entonces:

10 kg de gas propano → S/50

110 kg de gas propano → S/X

$$\boxed{X = S/550}$$

El ahorro anual en compra de balones de gas sería de S/550 por cada año.

3.3. Resultados.

Para la obtención del estiércol diario que se produce en la granja, se utilizaron los estudios de Cruz (2017), obteniendo los resultados según la Tabla 22.

Tabla 22.

Cálculo del diseño.

Descripción	Unidades	Resultado
Estiércol diario producido	Kg/día	56
Volumen diario de estiércol	L/día	56
Relación estiércol-agua	-	1:3
Agua para dilución	L/día	168
Carga diaria	L/día	224

Los resultados de la tabla 22 fueron considerados para el dimensionamiento del biodigestor tubular.

Tabla 23.
Caracterización de estiércol de porcino.

Caracterización fisicoquímica del estiércol de porcino		
Parámetros	Unidades	Resultados
Sólidos Totales	%	37.87
Sólidos Volátiles	%	80.00
Sólidos fijos	%	20.00
Nitrógeno total	N%	1.94
Carbono orgánico total (COT)	%	45.71
Relación C/N	Sin unidades	23.56
Materia orgánica	%	78.80
Ph	Unidad pH	6.10
Fósforo (P)	%	1.79
Fósforo (P205)	%	4.09
Potasio (K)	%	1.00
Potasio (K20)	%	1.21

Días y Harold (2019) nos mencionan que el pH del estiércol del cerdo toma los valores ácidos en torno a 6.5, obteniendo en el proceso un 6.1, el cual explica que los valores ácidos trabajan mejor para las primeras etapas acidogénesis y acetogénesis.

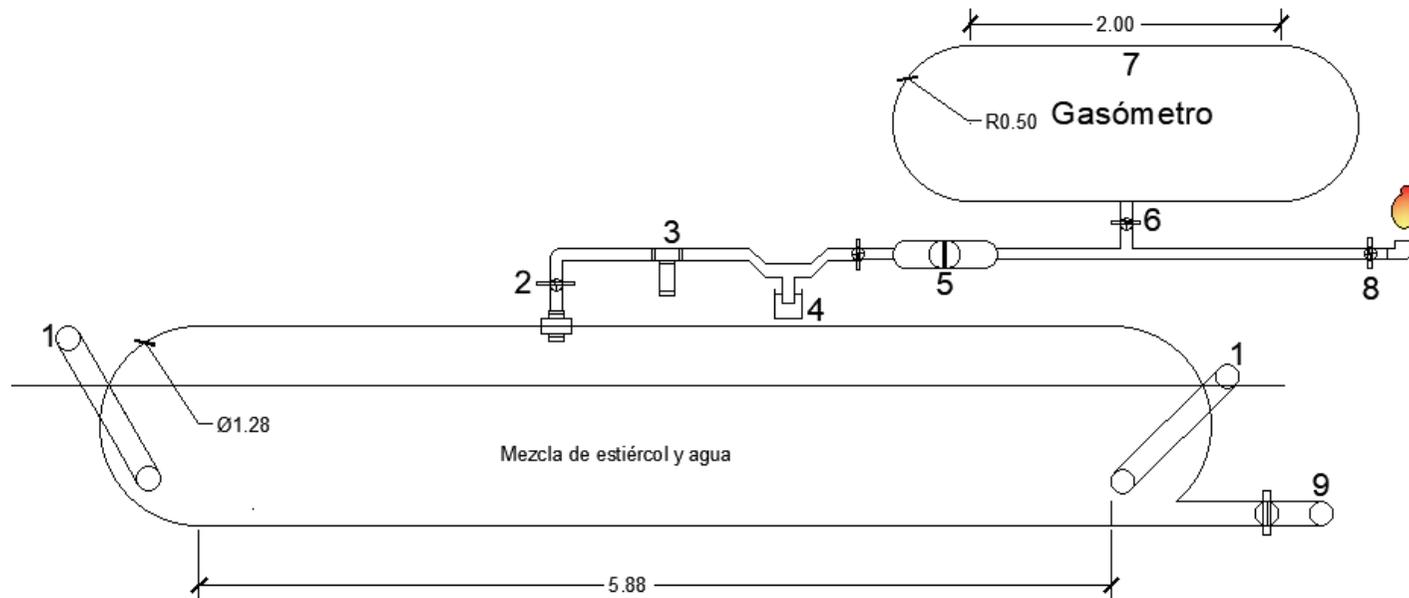
Además, la caracterización de los parámetros fisicoquímicos, realizados por el laboratorio, nos permitió la estimación en la producción de biogás por día, con los sólidos totales y volátiles. Según Herrero (2008), mencionó que los sólidos totales del estiércol están en el rango de 13% a 20%, además Días y Harold (2019), refieren que, tener una buena cantidad de sólidos totales es un indicador positivo para la producción de biogás, y en el proceso se obtuvo un 37.27% de sólidos totales.

Por consiguiente, los fertilizantes primarios como el nitrógeno, fósforo y potasio son mayores al 1% y según Gómez et al. (2017) nos indican que el estiércol de porcino contiene cerca del 1.3% de los fertilizantes ya mencionados, los cuales destacan por su alta capacidad en la producción de metano.

En la tabla 23 nos resulta que la relación C/N es 23.56, encontrándose en el rango permitido, ya que Apolo (2019) menciona, si supera el valor de 35, se presentaría la acidificación, y si es menor a 10 presentaría acumulación de amoníaco.

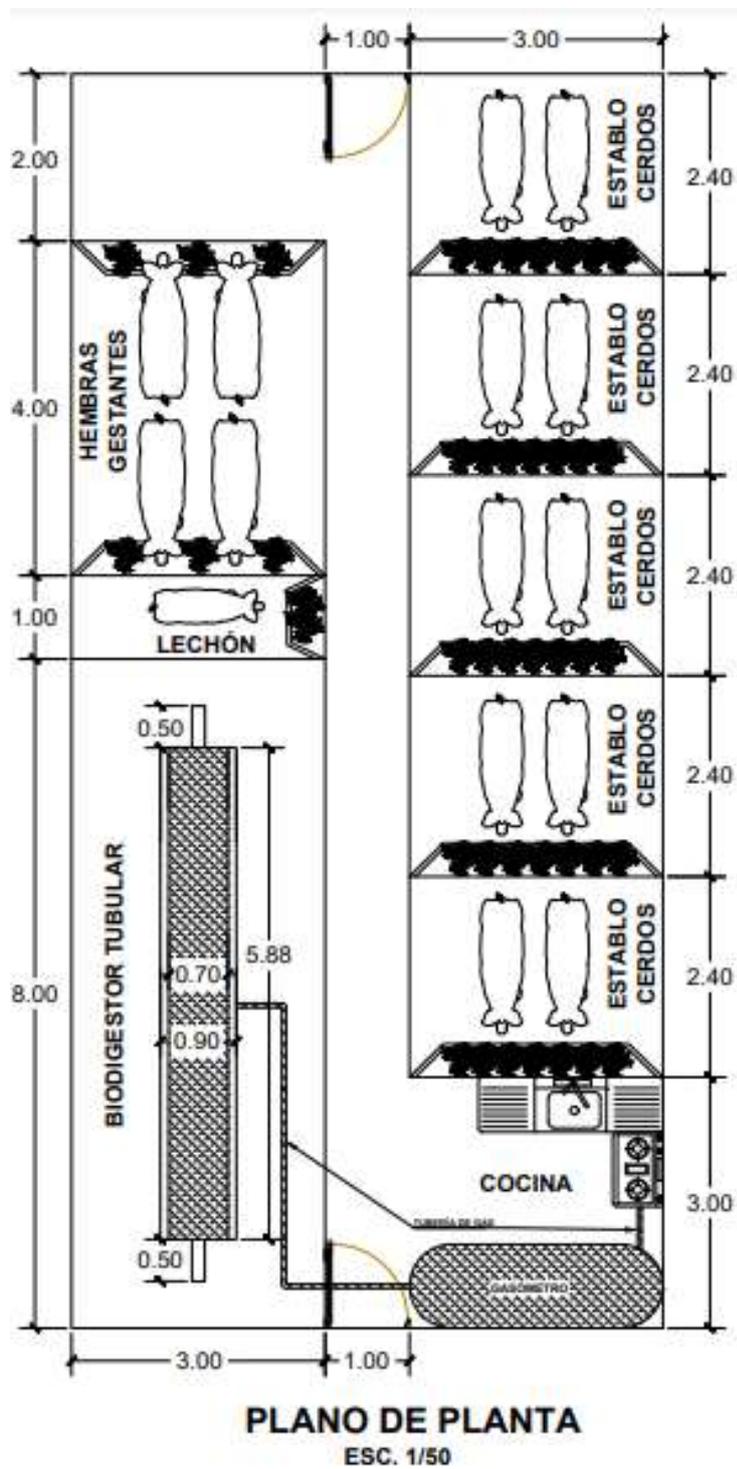
- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Tubo de ingreso y descarga | 4. Válvula de presión | 7. Gasómetro |
| 2. Salida de biogás | 5. Filtro de H ₂ S | 8. Llave de paso para la cocina |
| 3. Desfogue de líquido | 6. Llave de paso | 9. Salida de biosol |

Figura 11.
Componentes principales de un biodigestor tubular.



En la Figura 11 se observa el dimensionamiento de los componentes principales del biodigestor, asemejándose al estudio realizado por Herrero (2008).

Figura 12.
Plano de la vivienda visitada.



En la Figura 12 se observa la distribución de las áreas en la vivienda (establos de los cerdos, área de la cocina y la zona del biodigestor).

Tabla 24.
Diseño del biodigestor.

Descripción	Unidades	Resultado
Volumen líquido (estiércol + agua)	L	5600
Volumen gaseoso	L	1866.7
Volumen total del biodigestor	L	7466.7
Tiempo de retención	Días	25
Volumen de biogás producido	m ³ /día	4.2
Diámetro del biodigestor	m.	1.28
Longitud del biodigestor	m.	5.88
Base menor de la zanja	m.	0.7
Base mayor de la zanja	m.	0.9
Altura de la zanja	m.	1

En la tabla 24 se observa los parámetros del diseño del biodigestor tubular, además de la producción diaria de biogás y bioabono que produce el biodigestor diseñado.

Tabla 25.
Inversión total del proyecto.

Descripción	Precio soles
Costo de materiales para la instalación del biodigestor	S/805.34
Costo de mano de obra	S/250
Costo de herramientas	S/339.47
Imprevistos	S/100
TOTAL	S/1494.81

En la Tabla 25 se observa la inversión total del proyecto, dato que se aprovechó para el análisis financiero.

Tabla 26.
Flujo de caja.

Año	INVERSIÓN (S)	INGRESOS (S)	EGRESOS (S)	FLUJO NETO (S)
0	- S/ 1494.81	S/ -	S/ -	- S/ 1494.81
1	S/ 0	S/550	S/100	S/450
2	S/ 0	S/550	S/100	S/450
3	S/ 0	S/550	S/100	S/450
4	S/ 0	S/550	S/100	S/450
5	S/ 0	S/550	S/100	S/450

A partir de la Tabla 26 podemos obtener los siguientes indicadores: VAN Y TIR, por lo que se tomó como referencia 5 años de vida útil del biodigestor, debido al material que es la geomembrana.

Análisis del VAN:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$$

Siendo:

Vt: Flujo neto.

K: TIR: 10%.

I₀: Inversión inicial.

n: Duración de la inversión.

$$VAN = -1494.81 + \frac{(550 - 100)}{(1 + 0.10)^1} + \frac{(550 - 100)}{(1 + 0.10)^2} + \frac{(550 - 100)}{(1 + 0.10)^3} \\ + \frac{550 - 100}{(1 + 0.10)^4} + \frac{(550 - 100)}{(1 + 0.10)^5}$$
$$\boxed{VAN = S/211.85}$$

Interpretación del VAN:

Se obtiene un VAN de s/211.85, indicándonos que la implementación del biodigestor tubular en la vivienda visitada es rentable.

Análisis del TIR:

$$TIR = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+K)^t} = 0$$

I: Inversión del proyecto.

Fi: Flujo de caja para el período t.

n: Tiempo de vida útil del proyecto.

$$0 = -1494.81 + \frac{(550 - 100)}{(1 + TIR)^1} + \frac{(550 - 100)}{(1 + TIR)^2} + \frac{(550 - 100)}{(1 + TIR)^3} + \frac{(550 - 100)}{(1 + TIR)^4} \\ + \frac{(550 - 100)}{(1 + TIR)^5}$$
$$\boxed{TIR = 15\%}$$

Interpretación del TIR:

Se obtiene un TIR de 15%, indicándonos que la implementación del biodigestor tubular, devolverá el capital invertido, además de obtener un ingreso económico.

Figura 13.

Representación gráfica de la viabilidad económica.



La figura 13 se muestra la representación gráfica de la viabilidad económica, donde la tasa de interés del 1% al 15% tiende a ser positivo, generando la viabilidad económica del proyecto, por otro lado, la tasa de interés a partir del 16% hacia adelante, tomaría valores negativos el VAN, indicándonos que no es rentable el proyecto.

Los resultados de la fórmula empleada en el presente trabajo de suficiencia se asemejan al trabajo de Ruiz (2020) que también determinó un VAN y TIR de S/474.208 y 17%, utilizando a los ingresos como el ahorro en iluminación y cocción de alimentos, para los egresos, la inversión, operación y mantenimiento con un tiempo de vida útil del biodigestor de 5 años.

CONCLUSIONES

- Se diseñó una propuesta de implementación de un biodigestor tubular para el manejo de estiércol de porcino en la asociación agropecuaria las cataratas de Motupe en San Juan de Lurigancho.
- La cantidad diaria de estiércol de porcino que ingresará al biodigestor será de 56 kg.
- Los parámetros fisicoquímicos de la muestra de estiércol de porcino de la granja de la familia visitada: Sólidos totales 37.87%, Sólidos volátiles 80%, Nitrógeno total 1.94%, Carbono orgánico total 45.71%, Fósforo 1.79%, Potasio 1%, Materia orgánica 78.80%, Relación C/N 23.56 y pH 6.10.
- El diseño básico del biodigestor tubular tendrá las siguientes dimensiones: Una geomembrana de 5.88 m de largo y 1.28 m de diámetro, colocado en una zanja de forma trapezoidal, con una base menor de 0.7 m, base mayor de 0.9 m y una altura de 1 m, y un gasómetro de 1 m de diámetro y de largo de 2 m.
- Se determinó la producción diaria de biogás de 4.2 m³ en un tiempo de 25 días de retención, como también la producción de bioabono de 139.17 Kg sólidos/día.
- El costo de implementación de un biodigestor tipo tubular sería de S/1494.81, además resultaría viable la instalación del biodigestor, al tener un VAN de S/211.85 con un TIR del 15%.

RECOMENDACIONES.

- Utilizar el agua almacenada de un tanque y no el uso directo del agua del caño para la dilución del estiércol, debido a los productos clorados que contiene el agua potable, disminuyen la presencia de microorganismos que favorecen en la producción de biogás.
- Si se desea hacer una venta del biogás, se tendrá que invertir más en el cuadro de presupuesto para el almacenamiento y la distribución del biogás.
- Se recomienda a la familia visitada, implementar un biodigestor tubular para el aprovechamiento de los residuos de estiércol, este tipo de manejo generaría un ahorro monetario al reemplazar el balón de gas por el uso del biogás.
- Se debe dar a conocer a la asociación agropecuaria las cataratas sobre la instalación de un biodigestor tubular, ya que este sistema genera beneficios económicos como ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aparcana, S. (Diciembre de 2008). *Estudio Sobre el Valor Fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbico" para Producción de Biogás.* Obtenido de http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
- Apolo, G. (2019). *Diseño y emplazamiento de un biodigestor para el aprovechamiento de biogás en la granja de explotación "MIS TRES MARÍAS" ARENILLAS-EL ORO-ECUADOR.* TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, CUENCA. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16989>
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado.* Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD DE PIURA, FACULTAD DE INGENIERÍA, PIURA, PERÚ. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/2575>
- Basauri, J., & Terrones, J. (2018). *PRODUCCIÓN DE BIOGÁS UTILIZANDO CONTENIDO RUMINAL, COMO ALTERNATIVA DE PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL CAMAL MUNICIPAL DE CAJAMARCA.* Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO, FACULTAD DE INGENIERÍA, Cajamarca, Perú. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/724>
- Cajas, M. (2012). *Aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos para la producción de Vermicopost, a partir de Lombricompostaje, en la ciudad de Guayaquil.* Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de educación técnica para el desarrollo. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/968>

- Cruz, E. (2017). *Diseño de un bioreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de MAJES - CAYLLOMA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2997>
- Días, S., & Harold, T. (2019). *Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética para familias del área rural*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de ciencias económicas, Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24238/1/TRABAJO%20DE%20S%C3%8DNTESIS%20BIODIGESTORES..pdf>
- Dobarro, í. (Julio de 2017). *VAN Y TIR, CALCULO Y SIGNIFICADO*. Obtenido de <https://ivandobarro.wordpress.com/2017/07/27/van-y-tir-calculo-y-significado/>
- Durazno, A. (2018). *Valorización de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- España, E. (2018). *Aprovechamiento del estiércol de vacuno para la elaboración de biogás como propuesta al manejo adecuado de los residuos pecuarios en la granja ecológica linderos, Tomayquichua, Ambo, Huánuco 2017*. Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco, Facultad de ingeniería. Obtenido de <https://docplayer.es/153626196-Universidad-de-huanuco.html>
- FAO. (2011). *Manual de biogás*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- García, R., Alamo, M., & Marcelo, M. (2017). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA*. Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, Universidad de Piura, Ingeniería

Mecánica-Eléctrica. Obtenido de http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf

Gómez, E., Rodríguez, J., & Torres, A. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LAS GRANJAS PORCINAS EN EL MUNICIPIO DE TIBANA*. Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA, FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS, Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15446/1/Proyecto%20Biodigestor.pdf>

Guailupo, J., Motta, D., & Quiroz, S. (2017). *GESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL RESTAURANTE EL MESÓN - SANTA ANITA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*. Tesis de pregrado, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, FACULTAD DE GESTIÓN Y ALTA DIRECCIÓN. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9266>

Gurbillón, M., Cubas, F., Gosgot, W., Ordinola, C., Rascón, J., & Huanes, M. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725-734. doi:<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214>

Herrero, J. (2008). *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares*. Obtenido de https://wave.greenpeace.org/waveV2public/sites/default/files/attachments/9_manual_biodegistrores.pdf

INEI. (4 de Abril de 2017). *Perú: Temperatura promedio, máxima y mínima según departamento, 2015*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1416/mapas.pdf

- Infantes, P. (29 de Setiembre de 2006). *Diseño de biodigestores*. Obtenido de https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/51-Disen%C3%B3_Biodigestores.pdf
- Lozano, L., & Ladino, B. (2020). *PROPUESTA DEL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR A PARTIR DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RSO DE CINCO RESTAURANTES*. Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, FACULTAD TECNOLÓGICA INGENIERÍA MECÁNICA, Bogotá.
- MIDAGRI. (Marzo de 2017). *Plan Nacional de Desarrollo Ganadero*. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/plan-nacional-ganadero.pdf>
- MINAM. (Noviembre de 2012). *Perú apuesta por la ampliación del Protocolo de Kyoto*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/peru-apuesta-por-la-ampliacion-del-protocolo-de-kyoto/>
- MINAM. (Marzo de 2019). *Valorización de residuos sólidos orgánicos municipales*. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/wp-content/uploads/sites/136/2019/03/Actividad-2_Valorizacion-Organicos.pdf
- OEFA. (Noviembre de 2014). *Fiscalización ambiental de residuos sólidos de gestión municipal provincial*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13926
- Osejos, M., Jaramillo, J., Merino, M., Quimis, A., & Alcivar, J. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa - Ecuador. *Dialnet*, 4(1), 709-733. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6657430>
- Pinos, J. (2012). *IMPACTOS Y REGULACIONES AMBIENTALES DEL ESTIÉRCOL GENERADO POR LOS SISTEMAS GANADEROS DE ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA*. Postgrado en ciencias ambientales, Instituto de investigación de zonas desérticas, México.

Obtenido de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004#:~:text=El%20esti%C3%A9rcol%20generado%20en%20los,y%20en%20los%20cuerpos%20h%C3%ADdricos

Reyes, E., & Pérez, E. (2019). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado, caballo, cerdo y gallinaza para la generación de biogás. *Revista Científica De FAREM-Estelí*, 31, 97-108. doi:<https://www.camjol.info/index.php/FAREM/article/view/8474>

Ruiz, B. (2020). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL ESTÍERCOL DE GANADO VACUNO PARA UNA VIVIENDA RURAL EN EL CC.PP. LAS CANTERAS DEL DISTRITO DE PÁTAPO-CHICLAYO-LAMBAYEQUE*. Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO, FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ÉLECTRICA, CHICLAYO. Obtenido de <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2498>

Saldaña, E. (2019). *Efecto del biol y biosol obtenidos de aguas residuales del matadero municipal de Moyobamba en el rendimiento de Lactua Sativa ("Lechuga") - 2017*. Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO, FACULTAD DE ECOLOGÍA. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3761>

SENACE. (Octubre de 2016). *Aprueban Reglamento de Manejo de los residuos Sólidos del Sector Agrario*. Obtenido de <https://www.senace.gob.pe/download/senacenormativa/NAS-4-1-06-DS-016-2012-AG.pdf>

Toala, E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica*. Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/3406>

- Toalombo, M. (2013). *Aplicación de abonos orgánicos líquidos tipo biol al cultivo de Mora (Rubusglaucus Benth)*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ciencias agropecuarias. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6490/1/Tesis-64%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20205.pdf>
- Villeras, D., & Montenegro, M. (2018). *El impacto de la ganadería en el medio ambiente y la seguridad humana global*. Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Derecho. Obtenido de <https://derechoanimal.info/es/icalp/actividades/2018/el-impacto-de-la-ganaderia-en-el-medio-ambiente-y-la-seguridad-humana-global>
- Yauyo, L. (2016). *Elaboración de un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino en una de las viviendas de la asociación agropecuaria los lúcumos de pachacamac*. universidad nacional tecnológica de lima sur, facultad de ingeniería mecánica, electrónica y ambiental, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/245>

ANEXOS.

Anexo 1.
Establos de los cerdos.



Anexo 2.
Bebedero de chupón.



Anexo 3.
Medición del terreno.



Anexo 4.
Alimento para los cerdos de engorde.



Anexo 5.
Muestra de 500g de estiércol.



Anexo 7.

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del estiércol de porcino.



SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

SAG

INFÓRME DE ENSAYO N° 155883 - 2021

RAZÓN SOCIAL	: PORA YURI YOEL ANANCIO
DOMICILIO LEGAL	: CALLE 18 N° 27 LOTE 22 A.H. JOSÉ CARLOS MARSADEGUE - SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA - LIMA
SOLICITADO POR	: YOEL PORA
REFERENCIA	: MUESTRA DE ESTIÉRCOL DE PORCINO
PROCEDENCIA	: LIMA, LIMA, SAN JUAN DE LURIGANCHO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	: 2021-10-16
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2021-10-16 AL 2021-10-26
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2021-10-16
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAR A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Carbono orgánico total (COT)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7, Método AS-07. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Materia Orgánica. 2002.	0.13	%
Materia orgánica	NOM 021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07. 2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	---	unif pH
Total, fixed and volatile solids. (Sólidos totales, fijos y volátiles)	SNEW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 G, 23rd Ed. 2017. Total, fixed, and volatile Solids and Sessile Samples	0.04	%
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrógeno total Kjeldahl)	SNEW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-norg C, 23rd Ed. 2017. Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Fósforo (P ₂ O ₅) y Potasio (K ₂ O)	Method EPA 80100, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).	---	%
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana SMO-AA-667-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo -Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades

L.C.: Límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Estiércol porcino
Matriz analizada		Fertilizante
Fecha de muestreo		2021-10-16
Hora de inicio de muestreo (h)		08:44
Condiciones de la muestra		Conservada
Código del Cliente		Puerto 01
Código del Laboratorio		21101119
Ensayo	Unidades	Resultados
Total Sólidos (Sólidos Totales)	%	37.67
Volatile Solids (Sólidos volátiles)	%	80.00
Fixed Solids (Sólidos fijos)	%	20.00
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrógeno total Kjeldahl)	N %	1.94
Carbono orgánico total (COT)	%	49.71
Relación C/N en suelos	Sin unidades	23.56
Materia orgánica	%	79.80
pH	unif pH	6.10
Fósforo (P)	%	1.79
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	4.09
Potasio (K)	%	1.00
Potasio (K ₂ O)	%	1.31

Medición de pH realizada a 25°C.

Ing. Manly Jesús Paucar
Ingeniero Técnico
C.I.P. N° 219624
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Lima, 29 de Octubre del 2021.