



UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE ESTIÉRCOL PARA PRODUCIR BIOGÁS Y
BIOABONOS EN SHUMAYA, DISTRITO DE
HUARANGO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2019**

Autor: Bach. Helvert Alexander Sánchez Racho

Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Registro:(.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2020



**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE ESTIÉRCOL PARA PRODUCIR BIOGÁS Y
BIOABONOS EN SHUMAYA, DISTRITO DE
HUARANGO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2019**

Autor: Bach. Helvert Alexander Sánchez Racho

Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Registro:(.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2020

DEDICATORIA

A Dios que es lo más primordial, que me da vida, salud para cumplir mis objetivos y por ser mi fuerza espiritual en todo momento de mi vida.

A mis padres por ser quienes me brindan apoyo para cumplir cada una de mis metas y el amor la paciencia que me tienen.

A mis hermanas y tíos por el apoyo incondicional en todo momento.

A mis encargados que me estuvieron inculcando en buenos valores y tener fe en Dios también en apoyo y la comprensión que me dieron en todo momento.

Al asesor de tesis Dr Miguel Ángel Barrena Gurbillon por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo la sabiduría que a diario me brinda.

Helvert Alexander

AGRADECIMIENTO

A **DIOS**, autor de la vida y sabiduría, quien nos ilumina la mente para interpretar, analizar y desarrollar los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en las aulas de nuestra Universidad.

A mis **PADRES**, por ser mi fuente de vida, por el apoyo en todo lo que he emprendido y sobre todo por forjarme en el camino del bien.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por la formación profesional que me brindó en sus aulas y laboratorios.

Al Ingeniero Ambiental Wildor Gosgot Angeles, por su apoyo para la instalación y operación del sistema de producción de biogás y bioabonos.

Al Proyecto del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas (PROCICEA), del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM, por el apoyo logístico para realizar la presente investigación.

A mi asesor de tesis, Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por el apoyo incondicional y orientación en el desarrollo de la presente investigación.

Helvert Alexander

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

DR. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

DR. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

DRA. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

ING. Mc. EDWIN ADOLFO DÍAZ ORTÍZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, que suscribe, hace constar que ha asesorado en la ejecución de la tesis titulada **“SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL PARA PRODUCIR BIOGÁS Y BIOABONOS EN SHUMAYA, DISTRITO DE HUARANGO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2019”**, elaborada por el Bachiller en Ingeniería Ambiental:

HELVERT ALEXANDER SÁNCHEZ RACHO

Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la UNTRM; por lo que doy el Visto Bueno al informe final de la tesis antes mencionada para que pase al Jurado Evaluador, comprometiéndome a asesorar en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Chachapoyas, 10 de diciembre del 2019.



Dr. Miguel Angel Barrena Gurbillón
Profesor Principal de la UNTRM
Asesor de la Tesis

JURADO EVALUADOR



Dra. CÁSTULA ALVARADO CHUQUI

PRESIDENTE



M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA

SECRETARIO



M.Sc. ELÍ PARIENTE MONDRAGÓN

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-K

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Yo HELVERT ALEXANDER SÁNCHEZ RACHO
identificado con DNI N° 46682107 Estudiante()/Egresado (x) de la Escuela Profesional de
INGENIERÍA AMBIENTAL de la Facultad de:
INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
ESTIERCOL PARA PRODUCIR BIOMAS Y BIOABONOS EN
SHUTAYA, DISTRITO DE HUARANGO, SAN JERONIMO,
CAJAMARCA, 2019 que presento para
obtener el Título Profesional de: INGENIERO AMBIENTAL



2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 06 de 03 de 2020

Quilse.

Firma del(a) tesista

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 26 de febrero del año 2020, siendo las 4:00 pm horas, el aspirante Helvert Alexander Sánchez Racho

defiende en sesión pública la Tesis titulada:
"Sostenibilidad del Sistema de tratamiento de estiércol para producir biogás y bioabonos en Shumaya, Distrito de Huarango, San Ignacio, Cajamarca, 2019"

para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental
a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dra. Cástula Alvarado Chuqui
Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina
Vocal: M.Sc. Eli Pariente Mondragón

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 5:20 pm horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

CONSERVACIONER

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS	19
2.1. Ubicación del lugar de estudio	19
2.2. Diseño de la investigación	19
2.3. Construcción del sistema para producir biogás y bioabonos	20
2.3.1. Poza para el biodigestor.....	21
2.3.2. Biodigestor de manga de polietileno	22
2.3.5. Gasómetro.....	25
2.3.6. Sistema para purificar el biogás.....	26
2.3.7. Control de la presión del biogás	27
2.4. Carga del biodigestor.....	28
2.5. Determinación del rendimiento del biogás como combustible.....	29
2.6. Efecto de los bioabonos sobre el cultivo de alfalfa	29
2.7. Cálculo del ahorro familiar haciendo uso del biogás.....	30
III. RESULTADOS.....	31
3.4. Cálculo del ahorro familiar haciendo uso de biogás.....	42
3.5. Sostenibilidad del sistema de producción de biogás y bioabonos	43

IV. DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES	47
VI. RECOMENDACIONES	48
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del caserío de Shumaya.....	19
Figura 2. Diseño de la investigación.....	20
Figura 3. Esquema de instalación del sistema de producción de biogás.	20
Figura 4. Poza para el biodigestor.	21
Figura 5. Armado del biodigestor con manga de polietileno.....	22
Figura 6. Niple para salida del biogás.	23
Figura 7. Poza de carga y poza de descarga del biodigestor.	24
Figura 8. Elaboración del gasómetro	43
Figura 9. Cartuchos con clavos de fierro para eliminar el H ₂ S del biogás	26
Figura 10. Válvula de seguridad para prefijar la presión del biogás	27
Figura 11. Carga del biodigestor.	28
Figura 12. Cocina industrial adaptada para funcionar a biogás.....	29
Figura 13. Instalación de las parcelas experimentales y brote de alfalfa.....	30
Figura 14. Biodigestor lleno de biogás y trasvase al gasómetro.....	31
Figura 15. Termohigrómetro empleado para medir la temperatura ambiente.	33
Figura 16. Gasómetro conectado a la cocina.	33
Figura 17. Arroz y guiso de gallo preparados en la cocina a biogás.	34
Figura 18. Chicharones de chancho preparado en la cocina a biogás.	34
Figura 19. Forma de incrementar la presión del biogás en el sistema.	35
Figura 20. Extracción de bioabonos del biodigestor	36
Figura 21. Aplicación de bioabonos y desarrollo de la alfalfa.	37
Figura 22. Parcelas de alfalfa, con aplicación de bioabonos	38
Figura 23. Altura de plantas de alfalfa en las parcelas experimentales.	38
Figura 24. Marco de 1 m ² para corte y enseguida pesado de la alfalfa fresca.....	40
Figura 25. Tratamientos aplicados a la alfalfa.....	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos diarios de temperatura ambiente.....	32
Tabla 2. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos	35
Tabla 3. Altura de plantas de alfalfa con tres tratamientos de bioabonos.....	39
Tabla 4. Peso fresco de alfalfa con tres tratamientos de bioabonos.....	40
Tabla 5. Peso seco de alfalfa con tres tratamientos de bioabonos.	42
Tabla 6. Costos de los materiales del sistema de producción biogas y bioabonos	44

RESUMEN

Los digestores domésticos juegan un papel importante para mejorar la producción rural y las condiciones de vida, lo que lleva a la conservación de energía y la reducción de emisiones. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la sostenibilidad del sistema de tratamiento de estiércol para producir biogás y bioabonos. El biodigestor fue alimentado con mezcla estiércol ganado bovino: agua en la proporción de 1:4. El tiempo de retención hidráulica fue de 20 días a una temperatura promedio de 24.3°C. El biogás se empleó como combustible en cocina para la preparación de los alimentos de la familia. El biol y el biosol obtenidos del biodigestor se emplearon como abonos orgánicos para cultivos de alfalfa, en parcelas experimentales de 8 m², con tratamiento de 3 L, 5 L y 8 L, de bioabonos, dos veces por semana y por 6 semanas, la cual tuvieron un mayor crecimiento de sus tallos superando casi la tercera parte del tamaño al testigo. El biosol favoreció la mayor producción del peso fresco y en consecuencia del peso seco de la alfalfa evaluados, con la finalidad de incrementar su producción y mejorar los suelos de dichas áreas, reduciendo además la dependencia de insumos externos. Este sistema también sirve para reducir el impacto ambiental de la actividad ganadera al confinar el metano para emplearlo como combustible, en vez que se disipe a la atmósfera por la descomposición no controlada del estiércol.

Palabras claves: Metano, gases de efecto invernadero, alfalfa, combustible

ABSTRACT

Domestic digesters play an important role in improving rural production and living conditions, which leads to energy conservation and emission reduction. The main objective of this research was to evaluate the sustainability of the manure treatment system to produce biogas and bioabonos. The biodigester was fed with cattle dung mixture: water in the ratio of 1: 4. The hydraulic retention time was 20 days at an average temperature of 24.3 ° C. Biogas was used as fuel in cooking for the preparation of family foods. The biol and biosol obtained from the biodigester were used as organic fertilizers for alfalfa crops, in experimental plots of 8 m², with treatment of 3 L, 5 L and 8 L, of bioabonos, twice a week and for 6 weeks, the which had a greater growth of their stems exceeding almost a third of the size to the witness. The biosol favored the greater production of the fresh weight and, consequently, the alfalfa dry weight evaluated, in order to increase its production and improve the soils of these areas, also reducing the dependence on external inputs. This system also serves to reduce the environmental impact of livestock activity by confining methane for use as fuel, instead of dissipating into the atmosphere by uncontrolled decomposition of manure.

Keywords: Methane, greenhouse gases, alfalfa, fuel

I. INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero (GEI) provocan el calentamiento global, generando cambio climático (Maldonado, González, & Cruz, 2017) . Dicho fenómeno no distingue regiones del mundo ni clases sociales. Dando lugar a transformaciones en la biodiversidad y al ecosistema global (Rivero, 2017). Por lo que, este fenómeno se ha convertido en un mal público global que pone en riesgo la vida en el planeta, ocasionando efectos diferentes al interior de cada sociedad golpeando con mayor fuerza a aquellos que son económica, política, social y culturalmente más vulnerables repercutiendo negativamente en la salud de la población particularmente en niños pequeños y adultos mayores, quienes pueden llegar a sufrir el cuadro denominado golpe de calor (Cuevas, 2016;Hasbún-Mancilla, Aldunce-Ide, Blanco-Wells, & Browne-Sartori, 2017; Cabezas & Donaires, 2017).

El crecimiento continuo de la población a nivel mundial, influye en el aumento de la producción de alimentos, teniendo como consecuencia la demanda elevada de productos cárnicos (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012; Omaña *et al.*, 2014). El cual es producido mediante nuevas estrategias productivas como el engorde en corral, generando que los excrementos de estos se acumulen en el suelo para luego ser dispuestos de manera inadecuada, dejándolos expuestos al agua, atmósfera y suelos, causando problemas ambientales Estos deben ser considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento y así mejorar la calidad de vida (Olivares-campos & Jáquez-balderrama, 2012; García-Galindo, Pedroza-Sandoval, Chávez-Rivero, Trejo-Calzada, & Sánchez-Cohen, 2015; Vera-Romero, Martínez-Reyes, Estrada-Jaramillo, & Ortiz-Soriano, 2015).

Los sistemas de producción ganadera emiten gases como el anhídrido carbónico (CO₂) y metano (CH₄), siendo el CH₄ el que presenta un impacto negativo 25 veces mayor que el CO₂ y su tiempo de vida en la atmósfera es de 9 a 15 años, teniendo un 7% de crecimiento anual, siendo este un potente GEI que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global (Silva, Landazury, & Preciado, 2013; Sánchez, Cohim, & Kalid, 2015). Frente a este problema se ha tenido en cuenta estrategias de mitigación para la reducción de CH₄, tales como reducción de rumiantes, aumento de no rumiantes, desarrollo de razas menos metanogénicas y manipulación dietética-nutricional (Bonilla & Lemus, 2012).

Frente a este problema La digestión anaeróbica, es una alternativa de solución, ya que, es un proceso biológico, la cual tiene lugar en ausencia del oxígeno, por la acción de microorganismos, donde parte de la materia orgánica es transformada en una mezcla de gases (biogás) formado principalmente por metano ($\text{CH}_4 = 50$ a 70%) y dióxido de carbono ($\text{CO}_2 = 30$ a 50%), debido a ello se puede utilizar como combustible para cocinas, motores, lámparas o para calefacción en vez de combustibles fósiles que son altamente contaminantes y no renovable (Mantilla, Aguirre, & Sarmiento, 2008). El biogás además de ser una energía renovable, su uso ayudará a minimizar la generación de GEI puesto que al combustionar una molécula de metano produce una molécula de dióxido de carbono:



El biogás, combustible ecológico dado que mediante el proceso de combustión se permite reciclar el dióxido de carbono (CO_2) lo cual es capturado por las plantas. estas plantas adquieren agua y nutrientes del suelo a través de sus raíces; con sus hojas a través de la clorofila captan el CO_2 y la radiación solar para realizar la fotosíntesis, que permite a la planta producir glucosa para su desarrollo. Las plantas son ingeridas por los animales como alimento y mediante la digestión excretan estiércol, que puede ser recolectado para procesarlo en un biodigestor para producir biogás y bioabonos (biosol y biol). El biogás puede ser empleado como combustible para cocinas, lámparas, motores; produciendo CO_2 y vapor de agua liberados a la atmósfera, donde el CO_2 será captado por las plantas. Los bioabonos son reemplazados por abonos químicos, y que además enriquecen y proporcionan al suelo nutrientes e incrementar la producción de los cultivos (Barrena, Maicelo, *et al.*, 2019).

La digestión anaeróbica es una biotecnología versátil para la conversión de desechos orgánicos en biogás (una mezcla de CH_4 y CO_2) que se utiliza principalmente para cocinar. El efluente del digestor es rico en nutrientes (nitrógeno y fósforo) y puede usarse como una enmienda del suelo, nutrientes, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el control de olores (Neshat, Mohammadi, Najafpour, & Lahijani, 2017). Estos sistemas también ayudan a mitigar la deforestación al proporcionar una fuente de combustible alternativa, reduciendo la contaminación del agua debido a la escorrentía de desechos de ganado no tratados, disminuyendo la contaminación del aire

por la combustión de biomasa y promoviendo la igualdad de género (Kinyua, Rowse, & Ergas, 2016).

Por ello, la investigación tuvo como objetivo general evaluar la sostenibilidad del sistema de tratamiento de estiércol para producir biogas y bioabonos en Shumaya, distrito de Huarango, san Ignacio, Cajamarca, 2019 y como objetivos específicos: Cuantificar el volumen de metano generado en el biodigestor producto de la descomposición anaeróbica del estiércol, Determinar el rendimiento del biogás como combustible de cocina para preparación de alimentos, Analizar el efecto de los bioabonos en la producción de alfalfa y calcular el ahorro familiar generado por el empleo de la tecnología del biogás.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del lugar de estudio

La presente investigación tiene como escenario el caserío de Shumaya que se encuentra a 1008 msnm, en el distrito de Huarango, provincia de San Ignacio, Región Cajamarca. El distrito de Huarango se ubica en las coordenadas 5°16'15" Latitud S y 78°46'31" Longitud O.

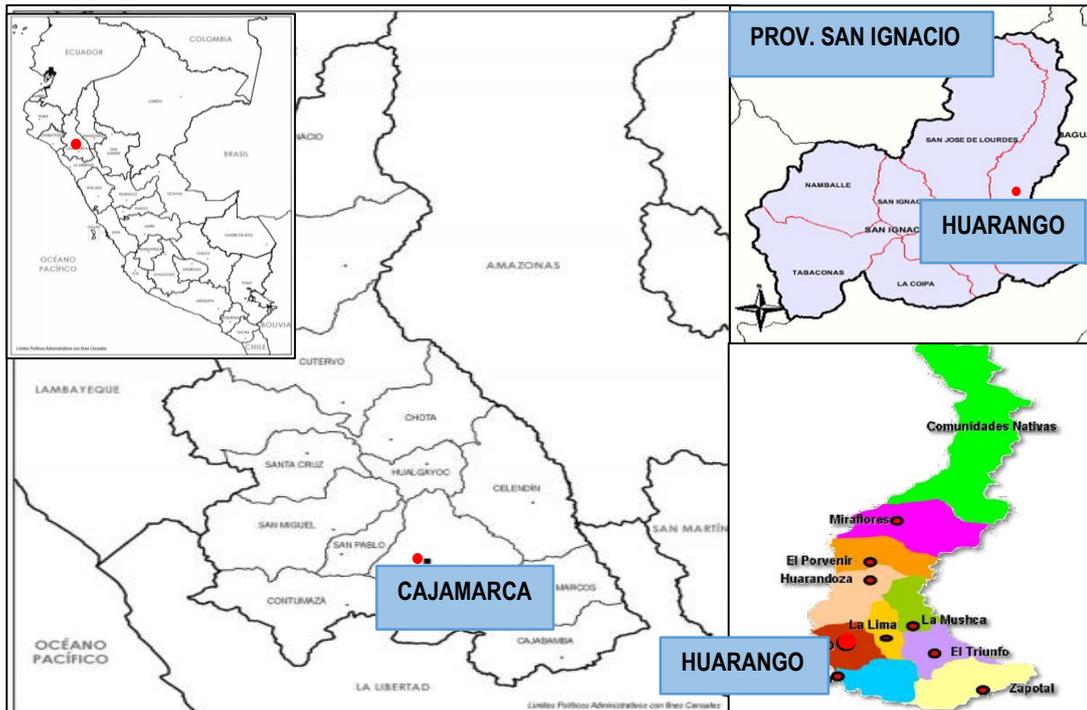


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Huarango

2.2. Diseño de la investigación

En la presente investigación, se estableció el tiempo de retención hidráulico (TRH) del biodigestor a la temperatura ambiente del lugar donde se instaló el sistema de producción de biogás y bioabonos (caserío de Shumaya), para descomponer en anaerobiosis el estiércol de vacuno mezclado con agua con el que se cargó el biodigestor. También se evaluó el rendimiento del biogás como combustible de una cocina para preparar los alimentos diarios de una familia, con lo cual se evitará el uso de leña; asimismo, se determinó la influencia de los bioabonos (biol y biosol) sobre el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en reemplazo de fertilizantes minerales. Finalmente, se fundamentó la sostenibilidad del sistema de tratamiento de estiércol para producir biogás y bioabonos.

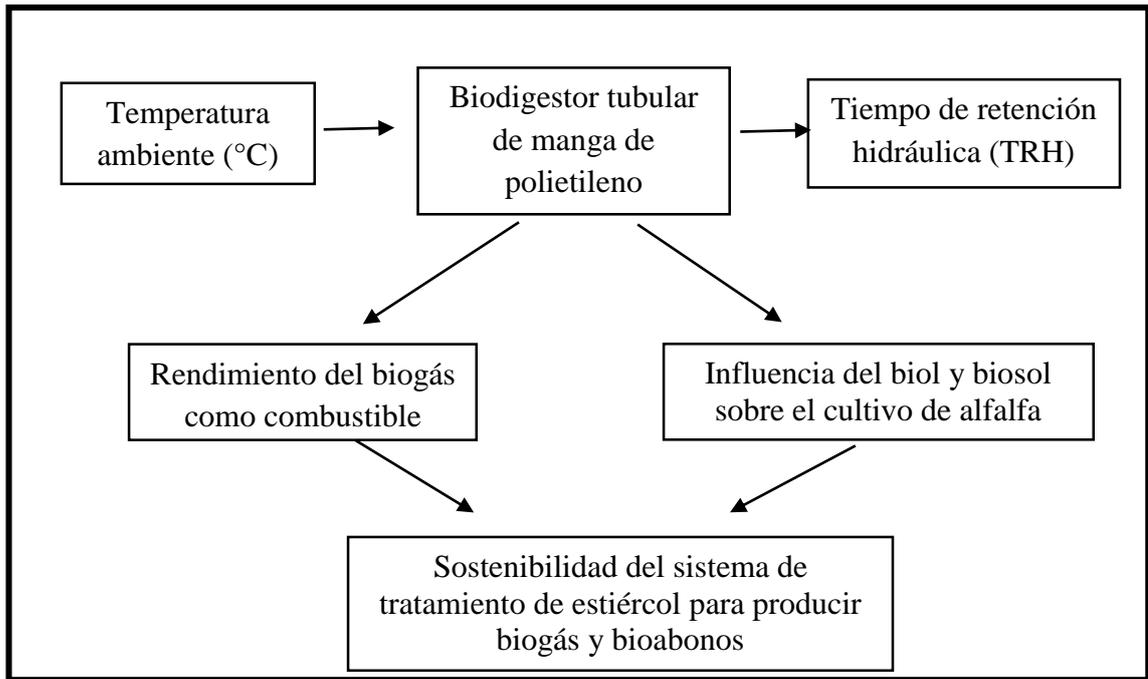


Figura 2. Diseño de la investigación.

2.3. Construcción del sistema para producir biogás y bioabonos

El sistema para producir biogás y bioabonos se hizo de acuerdo a los criterios establecidos por Barrena *et al.*, (2019), que se muestra en la Figura 3.

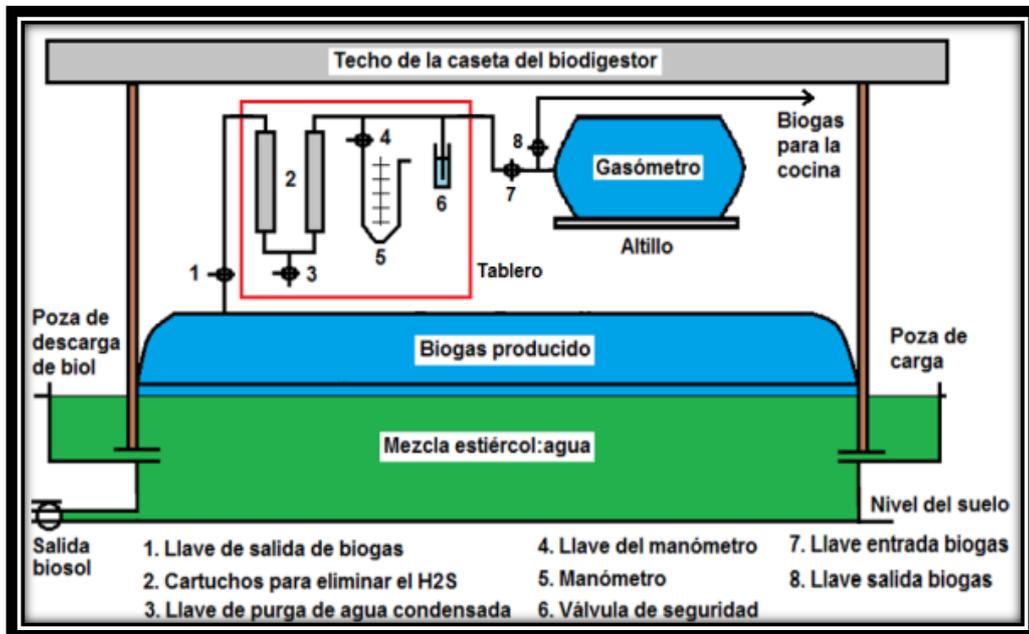


Figura 3. Esquema de instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos con biodigestor tubular. Fuente: Barrena *et al.*, 2019.

2.3.1. Poza para el biodigestor

Para instalar el biodigestor se hizo un cobertizo de 14 m de largo, 4 m de ancho y 2.5 m de alto; con seis postes de madera de 4" para soportar el techo de calamina. En la parte central de este cobertizo se hizo una poza de sección rectangular, excavada en el suelo, de 10 m de longitud por 1.0 m de ancho y 1.0 m de profundidad. Dentro de esta poza se hizo un cajón de madera, también de sección rectangular, con las siguientes dimensiones: 10 m de largo por 0.70 m de ancho y 0.90 m de profundidad. Entre las paredes de madera del cajón y la pared de la poza excavada en el suelo, a todo lo largo, se relleno con aserrín de madera como aislante térmico del biodigestor. Todo el interior del cajón fue fumigado con 3 litros de petróleo para evitar que los insectos afecten la madera. Finalmente, todo el interior del cajón fue cubierto con manta de polietileno para proteger de posibles astillas al biodigestor (Figura 4).



Figura 4. Poza para el biodigestor.

2.3.2. Biodigestor de manga de polietileno

El biodigestor fue hecho de manga de polietileno de 1.0 mm de espesor, se hizo de forma cilíndrica horizontal, para lo que se empleó 22 m de dicha manga que se dobló en dos partes iguales y se cortó, quedando así dos mangas de 11 m de largo cada una; una manga se metió dentro de la otra para que quede doble manga. En un extremo de esta doble manga se colocó un tubo de PVC de 4" y 1 m de largo y se la plegó hacia este tubo, quedando 50 cm del tubo dentro de la doble manga, enseguida se aseguró con faja de 5 cm de ancho hecha de cámara de llanta de camioneta cuidando que quede bien asegurada; de esta manera, se tendrá la boca de carga del biodigestor.



Figura 5. Armado del biodigestor con manga de polietileno.

En la mitad de la doble manga se hizo un agujero de ½” de diámetro en el que se colocó un niple de PVC de ½” y 40 cm de largo para salida del biogás. Este niple se fijó con tuerca y contratuerca de PVC, placa de PVC de 5 cm x 5 cm y empaquetaduras de jebe microporoso (planta de sandalia tipo hawaiana) para conseguir una conexión hermética y evitar la fuga de biogás.



Figura 6. Niple para salida del biogás.

En el otro extremo de la doble manga se colocó un tubo de PVC de 4” y 1 m de largo, de manera similar a lo descrito, quedando conformada la boca de salida de los bioabonos (biol y biosol). De esta manera se obtuvo el biodigestor de 1.5 m de diámetro por 10 m de largo, lo que hace un volumen total de 17 m³ (Figura 6).

2.3.3. Poza de carga

En el extremo derecho de la poza para el biodigestor, se construyó la poza de carga o alimentación hecha de ladrillo y cemento, de las siguientes dimensiones: 0.90 m de ancho por 0.90 m de largo y 0.50 m de profundidad desde ras del suelo (Figura 8). A ras del fondo de esta poza se instaló un tubo de PVC de 4”, al que se conectará la boca de carga o alimentación del biodigestor, en este tramo de tubo

se colocó una llave de paso de plástico de 2” para lo que se empleó dos reducciones de PVC de 4” a 2”, esta llave servirá para facilitar la preparación de la mezcla estiércol: agua en esta poza de carga. El interior de esta poza se tarrajó con cemento para impermeabilizarla. Por esta poza se cargará el biodigestor hasta su volumen de trabajo y se alimentará diariamente a partir de su TRH con la mezcla estiércol: agua en la relación de 1:4.



Figura 7. Poza de carga y poza de descarga del biodigestor.

2.3.4. Poza de descarga

En el extremo izquierdo del biodigestor, se construyó una poza similar a la de carga. En el centro de la cara de esta poza que da hacia el biodigestor se instaló un tubo de PVC de 4” al que se conectó la boca de salida de bioabonos del biodigestor, que se redujo a 2” para colocar una llave de paso de plástico de 2” para facilitar el retiro del bioabono (Figura 8).

2.3.5. Gasómetro

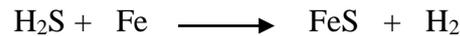
Se hizo con manga de polietileno de 1.0 mm de espesor del mismo tipo que la empleada para hacer el biodigestor, empleándose 6 m de esta manga de 1.5 m de ancho, que se cortó en dos partes iguales de 3 m de largo cada una. Una manga se introdujo dentro de la otra y en sus extremos se colocó un tubo PVC de ½” y 1 m de largo, la doble manga se plegó hacia el tubo quedando 30 cm dentro de ella y se aseguraron con fajas de cámara de llanta de camioneta, similar a lo hecho con el biodigestor, para evitar la fuga del biogás, quedando un extremo para la entrada y el otro para la salida del biogás. Finalmente, en los extremos libres de ambos tubos se colocaron llaves de paso de plástico de ½” para controlar el flujo de biogás.



Figura 8. Elaboración del gasómetro

2.3.6. Sistema para purificar el biogás

En el biogás hay trazas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) que le da olor desagradable a desagüe o huevos podridos y además es corrosivo, por lo que este compuesto debe ser eliminado del flujo de biogás antes de emplearlo como combustible; para ello, se hizo pasar el biogás a través de dos cartuchos rellenos de clavos de hierro de 2". La reacción química que se produjo es la siguiente:



El sulfuro ferroso (FeS) quedó adherido a la superficie de los clavos de hierro dentro del cartucho y el hidrógeno (H_2) producido, que también es combustible, se incorporó al flujo de biogás (Barrena *et al.*, 2019).

Cada uno de los dos cartuchos se hizo de tubo de PVC pesado de 2" x 0.50 m. En un extremo se colocó una esponja de hierro para lavar ollas; en este extremo se pegó una reducción de PVC de 2" a 1/2" a la que se unió un adaptador de PVC de 1/2", enseguida se llenó con 2 kg de clavos de hierro de 2", sobre estos se colocó otra esponja de hierro y se tapó con una reducción de PVC de 2" a 1/2" a la que también se le pegó un adaptador de PVC de 1/2". Ambos cartuchos fueron conectados por un puente hecho de niple y accesorios de PVC de 1/2", como se muestra en la Figura 10.



Figura 9. Cartuchos con clavos de hierro para eliminar el H_2S del biogás.

2.3.7. Control de la presión del biogás

Para controlar la presión del biogás en todo el sistema de producción de biogás y bioabonos, se empleó una botella de plástico de 2 L, con $\frac{3}{4}$ de volumen ocupado por agua. De la tubería que conduce el biogás, se sacó una ramificación mediante una te de $\frac{1}{2}$ " para tener libre un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ " y de 30 cm de largo, al que se le hizo ranuras cada centímetro con una sierra, en un tramo de 10 cm desde su extremo libre. A la botella de plástico se le hizo, con clavo caliente, cuatro agujeros de 1 cm de diámetro a la altura de su hombro. La botella se amarró de su pico y se la colgó de una viga del techo del cobertizo donde se instaló el biodigestor; enseguida, se introdujo la ramificación por el pico de esta botella hasta que quedó bajo el nivel del agua contenida en ella, 5 cm de la ramificación. Cuando la presión del biogás en todo el sistema supere los 5 cm de agua, empezará a salir el biogás por el extremo de la ramificación y burbujeará en el agua de la botella y saldrá por los agujeros hechos en la parte superior de la botella hacia el medio ambiente, manteniendo como límite máximo de presión 5 cm de agua, debido a que la manga de polietileno no resiste más presión.



Figura 10. Válvula de seguridad para prefijar la presión del biogás

2.4. Carga del biodigestor

Según lo recomendado por Barrena *et al.*, (2019), el biodigestor se cargó hasta su volumen de trabajo de 7088 L de capacidad, se cargó con 5316 L de sustrato con la mezcla estiércol: agua en la proporción 1:4, preparada en la poza de carga que tiene una capacidad de 160 litros. Antes de preparar cada carga, se cerró la llave de paso ubicada entre la poza de carga y el biodigestor (Figura 8); enseguida, se empleó un balde de 20 litros lleno de estiércol fresco, recolectado del piso del cobertizo de ordeño y de la zona de pastoreo del ganado, añadiendo cuatro baldes de agua de 20 L cada uno. Esta mezcla se agitó bien para uniformizarla y enseguida se abrió la llave de paso para que la mezcla ingrese al biodigestor. Este procedimiento se repitió hasta que el biodigestor estuvo en su volumen de trabajo.



Figura 11. Carga del biodigestor.

2.5. Determinación del rendimiento del biogás como combustible

Para determinar el rendimiento del biogás como combustible para la preparación diaria de los alimentos de la familia, se adaptó una cocina industrial a gas propano, para que funcione a biogás. La cocina tiene una hornilla o quemador industrial de 4" de aluminio de los que usan las cocinas a gas propano y otro de 6". Cada hornilla tiene un niple de fierro galvanizado de ½" y en el otro extremo se enroscó un codo de PVC al que se conectó la llave de paso para regular el flujo del biogás y el resto de las conexiones hacia la tubería de conducción del biogás desde el gasómetro. En esta cocina se prepararon los alimentos usuales de la familia, midiéndose el tiempo requerido para preparar cada alimento y el volumen de biogás consumido.



Figura 12. Cocina industrial adaptada para funcionar a biogás.

2.6. Efecto de los bioabonos sobre el cultivo de alfalfa

Para evaluar el efecto de los bioabonos sobre el cultivo de alfalfa, se sembraron 20 parcelas experimentales en el caserío de Shumaya, distribuidas al azar, en bloques por triplicado y un testigo. Para ello, se limpió el terreno y con la guía de un cordel de nailon de 50 m se trazó líneas con ceniza para enseguida sembrar la alfalfa (Figura 14). Cuando la alfalfa comenzó a brotar en las parcelas, se inició la aplicación de 3 L, 5 L y 8 L, de bioabono puro al suelo de cada uno de los tres grupos de esas parcelas, en forma de riego con un balde pequeño; esto se repitió cada semana y durante seis semanas.



Figura 13. Instalación de las parcelas experimentales y brote de alfalfa

2.7. Cálculo del ahorro familiar haciendo uso del biogás

Para calcular el ahorro familiar por uso del biogás como combustible para la cocina, se tendrá en cuenta que el precio de la leña es de 10 soles el paquete (6 kg), que la leña en el caserío de Shumaya es escasa y la mayoría de familias cocinan con leña. Además, se necesita un tercio de leña cada día para cocinar los alimentos de la familia, lo que representa el gasto de 300 soles mensuales. Viendo estas dificultades se propuso el presente proyecto, ya que la mayoría de familias son ganaderas y tienen estiércol disponible para producir biogás y bioabonos para contribuir a la economía familiar.

III. RESULTADOS

3.1. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

A temperatura ambiente promedio en el día es de 24.3°C en el lugar donde se instaló el biodigestor (Tabla 1), a los 20 días, desde que el biodigestor se llenó a su volumen de trabajo con la mezcla estiércol: agua en la proporción 1:4, su cúpula estuvo llena de biogás, por lo que el TRH fue de 20 días y alcanzó una presión de 5 cm de agua, controlada por la válvula de seguridad porque la manga de polietileno no debe ser expuesta a presión mayor a ésta (Barrena *et al.*, 2019). A partir de estos 20 días y para mantener la producción diaria de biogás y bioabonos, se debe alimentar el biodigestor con 160 L de mezcla estiércol: agua (1:4) por día y se podrá retirar 160 L de bioabonos cada día para aplicar a los cultivos.



Figura 14. Biodigestor lleno de biogás y trasvase al gasómetro.

Tabla 1. Datos diarios de temperatura ambiente.

Día	Temperatura °C		
	06:00 am	12:00 pm	06:00 pm
1	23	25	24
2	24	25	23
3	23	24	22
4	22	24	21
5	21	26	23
6	23	26	24
7	24	27	24
8	24	25	23
9	23	25	22
10	22	25	21
11	23	24	22
12	24	26	23
13	24	25	22
14	23	26	23
15	24	26	24
16	22	24	21
17	21	24	22
18	23	25	21
19	24	26	23
20	23	25	22
Promedio	23°C	25.2°C	24.6°C



Figura 15. Termo-higrómetro empleado para medir la temperatura ambiente.

3.2. Rendimiento del biogás como combustible

Se empleó una cocina adaptada para funcionar con el biogás producido por la descomposición anaeróbica del estiércol de ganado vacuno en el biodigestor. En la primera evaluación se preparó arroz, para lo que se colocó 1 L de agua en una olla de aluminio y se lo puso sobre la hornilla de la cocina para que hierva. Se apreció que la llama del biogás al combustionar en la hornilla fue azul claro, no produce tizne, humos ni olores. El agua requirió de 15 minutos para empezar a hervir y enseguida se le adicionó 1 kg de arroz, que para ser cocido requirió de 30 minutos, quedando listo para ser consumido.



Figura 16. Gasómetro conectado a la cocina.

En esta cocina a biogás se prepararon los alimentos usuales de la familia. El tipo de alimento y el tiempo necesario para su cocción en la cocina a biogás se muestran en la tabla 2, donde se aprecia que se requieren 9 m³ de biogás para que la cocina funcione durante 2.9 horas para la preparación de los alimentos elegidos por la familia.



Figura 17. Arroz y guiso de gallo preparados en la cocina a biogás.



Figura 18. Chicharrones de chancho preparado en la cocina a biogás.

Tabla 2. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos

Tipo de alimento	Cantidad de alimento	Tiempo promedio (minutos)
Chicharrón frito	1 kg de chicharrón de chanco	30
Guiso de gallo	700 g de pollo con 1kg de papas	50
Arroz	½ kg de arroz	30
Leche	5 litros se pasteurizó a 75°C	30
Agua	3 litros	18
Choclos	½ kg de choclos	11
Huevos fritos	3 huevos	4
	Total	173 = 2.9 h

Al consumirse el biogás en la cocina, la presión del biodigestor disminuye, por lo que para tener una mejor llama en la cocina se pasó una soga por la mitad del gasómetro donde se almacena el biogás y se lo ajustó como se muestra en la Figura 19, de esta manera se logró aumentar la presión del sistema y en consecuencia se levantó la llama para mejorar el funcionamiento de la cocina como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Forma de incrementar la presión del biogás en el sistema.

3.3. Efecto del bioabono sobre el cultivo de alfalfa

3.3.1. Aplicación de bioabonos a las parcelas de alfalfa

Cuando la alfalfa comenzó a brotar en las parcelas experimentales, se inició la aplicación de 3 L, 5 L y 8 L, de bioabono puro al suelo de cada uno de los tres grupos de tres de esas parcelas, en forma de riego con un balde pequeño; esto se repitió 2 veces por semana y durante seis semanas. A la séptima semana de desarrollo vegetativo de la alfalfa se procedió a su cosecha.

Para extraer el bioabono del biodigestor, se abrió la llave de paso del extremo para salida y se recibió en un recipiente de 20 L, de capacidad. El bioabono tiene un color entre verde y marrón y su olor es menos intenso que del estiércol fresco, además no propicia el desarrollo ni la presencia de moscas.



Figura 20. Extracción de bioabonos del biodigestor



Figura 21. Aplicación de bioabonos y desarrollo de la alfalfa.





Figura 22. Parcelas de alfalfa, con aplicación de bioabonos

3.3.2. Altura de plantas de alfalfa

Al término de la primera semana después de haber aplicado los bioabonos y antes de aplicar la siguiente dosis, se hizo la primera medición de altura de plantas de alfalfa en cada una de las parcelas experimentales. Esta actividad de medir la altura de planta y aplicar bioabono se repitió hasta la sexta semana. En la séptima semana se hizo la última medición de altura de planta y se procedió enseguida a la cosecha de la alfalfa de las parcelas experimentales. Los datos se muestran en la tabla 3.



Figura 23. Altura de plantas de alfalfa en las parcelas experimentales.

Tabla 3. Altura de plantas de alfalfa con tres tratamientos de bioabonos.

Tratamientos	parcelas	Altura 1 (m) 3/08/19	Altura 2 (m) 10/08/19	Altura 3 (m) 17/08/19	Altura 4 (m) 24/08/19	Altura 5 (m) 31/08/19	Altura 6 (m) 07/10/19
Testigo	T1	0	0.15	0.25	0.37	0.45	0.57
	T2	0	0.16	0.26	0.35	0.47	0.59
	T3	0	0.19	0.29	0.38	0.49	0.56
	T4	0	0.17	0.27	0.39	0.48	0.60
	T5	0	0.18	0.28	0.36	0.46	0.62
	promedio	0	0.17	0.27	0.37	0.47	0.59
bioabono (3 L)	A1	0	0.24	0.42	0.54	0.64	0.70
	A2	0	0.22	0.44	0.52	0.67	0.73
	A3	0	0.23	0.43	0.55	0.66	0.72
	A4	0	0.20	0.41	0.53	0.69	0.75
	A5	0	0.21	0.40	0.51	0.68	0.74
	promedio	0	0.22	0.42	0.53	0.67	0.73
bioabono (5 L)	B1	0	0.28	0.47	0.60	0.72	0.82
	B2	0	0.26	0.46	0.63	0.73	0.80
	B3	0	0.29	0.49	0.64	0.75	0.83
	B4	0	0.27	0.48	0.62	0.76	0.81
	B5	0	0.25	0.45	0.61	0.74	0.84
	promedio	0	0.27	0.47	0.62	0.74	0.82
bioabono (8 L)	A1B1	0	0.30	0.51	0.72	0.80	0.94
	A2B2	0	0.33	0.53	0.74	0.83	0.97
	A3B3	0	0.31	0.55	0.75	0.84	0.96
	A4B4	0	0.32	0.57	0.77	0.83	0.98
	A5B5	0	0.34	0.56	0.78	0.85	0.95
	promedio	0	0.32	0.54	0.75	0.83	0.96

3.3.3. Peso fresco de alfalfa

Al final de la séptima semana de sembrada, la alfalfa ya está madura y lista para corte. Para evaluar el peso de alfalfa fresca por metro cuadrado, que viene a ser el rendimiento de la parcela con el tratamiento aplicado, se lanzó al interior de la parcela un marco de madera de 1 m por lado y se cortó la alfalfa contenida en este marco (Figura 24); enseguida, se pesó todo lo cortado y el resultado se expresó en kg de alfalfa fresca/m² de parcela (Tabla 4); este procedimiento se repitió en cada una de las parcelas experimentales. Luego, se puso a secar en sombra durante una semana, con su rótulo correspondiente en cada una de las muestras.



Figura 24. Marco de 1 m² para corte y enseguida pesado de la alfalfa fresca.

Tabla 4. Peso fresco de alfalfa con tres tratamientos de bioabonos.

Tratamientos	Parcelas	peso de la alfalfa fresca kg/m ²
Testigo	T1	0.48
	T2	0.5
	T3	0.47
	T4	0.45
	T5	0.51
	Promedio	
Bioabono (3 L)	A1	1.3
	A2	1.05
	A3	1.1
	A4	1.6
	A5	0.90
	Promedio	

Continua

Tratamientos	Parcelas	peso de la alfalfa fresca kg/m ²
Bioabono (5 L)	B1	1.67
	B2	1.8
	B3	1.85
	B4	1.9
	B5	2
	Promedio	1.84
Bioabono (8 L)	A1B1	2.1
	A2B2	2.3
	A3B3	2.8
	A4B4	2.5
	A5B5	2.15
	Promedio	2.37

3.3.4. Peso seco de alfalfa

Finalmente se pesaron las muestras para expresar el resultado como rendimiento en kg de alfalfa seca/m² de parcela, lo que equivale a materia seca producida, dato importante para evaluar la calidad de la alfalfa como alimento para el ganado.



Figura 25. Tratamientos aplicados a la alfalfa

Tabla 5. Peso seco de alfalfa con tres tratamientos de bioabonos.

Tratamientos	Parcelas	peso de la alfalfa seca kgm²
Testigo	T1	0.2
	T2	0.22
	T3	0.21
	T4	0.23
	T5	0.24
	promedio	0.22
Bioabono (3 L)	A1	0.65
	A2	0.75
	A3	0.66
	A4	0.69
	A5	0.78
	promedio	0.706
Bioabono (5 L)	B1	0.82
	B2	0.85
	B3	0.87
	B4	0.86
	B5	0.89
	promedio	0.858
Bioabono (8 L)	A1B1	0.94
	A2B2	0.95
	A3B3	0.99
	A4B4	0.98
	A5B5	0.95
	promedio	0.962

3.4. Cálculo del ahorro familiar haciendo uso de biogás

En la familia se tuvo un ahorro familiar de 70 soles semanales, debido que se consumía un paquete de leña diario para la preparación de los alimentos de la familia, teniendo en cuenta que un paquete de leña cuesta 10 soles debido a que está lejos el lugar de donde se trae para su venta.

El costo total para la instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos, considerando que se emplearon materiales de la zona, es de 1100 soles (tabla 6). El tiempo de vida útil comercial de la manga de polietileno con la que se hizo el biodigestor y el gasómetro es de dos años, porque no tiene aditivo protector de la radiación ultravioleta que degrada el plástico; entonces, $1100 \text{ soles} / 730 \text{ días} = 1.5 \text{ soles/día}$. Por otro lado, la

mano de obra requerida para alimentar cada día el biodigestor, será el gasto o inversión para mantener operativo el sistema que genera biogás para cocinar los alimentos de la familia cada día y bioabonos para duplicar la producción de los cultivos. Los gastos de la familia para obtener energía se reducen a 85 %, además obtienen los beneficios de los bioabonos que propiciarán un incremento de ingresos por venta de pastos o de ganado con mayor ganancia de peso.

3.5.Sostenibilidad del sistema de producción de biogás y bioabonos

La sostenibilidad abarca tres sectores: económico, social y ambiental. En ese contexto, el sistema de producción de biogás y bioabonos contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria por los beneficios que brinda. Tiene beneficios económicos, al emplear biogás en vez de leña o gas propano para cocinar los alimentos, lo que conlleva a tener un ahorro diario y se evita la deforestación para leña; además, el aprovechamiento de los bioabonos para los cultivos permite un manejo orgánico, incrementa la producción y evita el uso de fertilizantes químicos. Asimismo, este sistema mejora la calidad de vida de la familia ya que la combustión del biogás en la cocina no emite humos irritantes ni tizna las ollas, contribuyendo así al cuidado de la salud de las personas al tener un ambiente de cocina no contaminante. Por otro lado, este sistema resulta ser amigable con el medio ambiente porque es una alternativa sustentable a los recursos no renovables, además es una opción adecuada para procesar los efluentes de la ganadería, con lo que se reducirá su impacto ambiental negativo y no incrementará la cantidad de metano y de dióxido de carbono a la atmósfera, causantes del efecto invernadero.

Tabla 6. Costos de los materiales del sistema de producción biogas y bioabonos

Equipos y materiales de campo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Manga de polietileno Azul con negro grueso	Metros	24	7,00	168,00
Tubos de PVC de 4" para desagüe	Unidad	1	15	15,00
Cámaras de llanta de volvo	Unidad	2	00.00	00.00
Unión de rosca de PVC ½"	Unidad	1	5.00	5.00
Calamina grande	Unidad	12	24.00	288.00
Pegamento para tubería de PVC de ¼ galón	unidad	2	6.00	12.00
Sistema de aislamiento térmico	Unidad	1	200.00	200.00
Campanas de reducción de embone de 2" a ½" de PVC para agua	Unidad	4	15.00	60.00
Unión universal de PVC con rosca de ½" para agua	Unidad	8	10.00	80.00
Te de PVC de ½" con rosca	Unidad	3	8.00	24.00
Codos de PVC de ½" x 90° con rosca	Unidad	8	5.00	40.00
Abrazaderas de tornillo de 1"	Unidad	10	3.00	30.00
Desarmador plano mediano	Unidad	1	7.00	7.00
Clavos de 2"	Kg	5	5.00	25.00
Ladrillos	Unidad	100	2.00	200.00
Cinta teflón	Unidad	4	2.00	8.00
Esponja de fierros para lavar ollas	Unidad	4	1.00	4.00
Llaves de paso de PVC de ½" con rosca	Unidad	6	6.00	36.00
Tubo de PVC pesado de 2" para agua	Unidad	1	20.00	20.00
Cocina adaptada a biogas	Unidad	1	61.00	61.00
TOTAL				1100.00

IV. DISCUSIÓN

La mayoría de los digestores tubulares en el mundo funcionan a temperaturas ambiente de 15-30 ° C, por ello, el funcionamiento del biodigestor de manga de polietileno, que tiene 1.5 m de diámetro por 10 m de largo, con un volumen de 17 m³ de capacidad instalado ha sido óptimo ya que la temperatura promedio fue de 25 °C con variaciones promedio de 1.5 °C. La temperatura es un parámetro operativo importante porque la utilización del sustrato y las tasas de crecimiento microbiano se ven afectadas por la temperatura. Los microbios transportan nutrientes dentro y fuera de la célula a través de la membrana celular. A medida que las temperaturas disminuyen, la membrana se vuelve rígida, causando una disminución en el transporte de nutrientes (Cervi, Esperancini, & Bueno, 2011). Los microbios anaerobios son sensibles a cambios de temperatura tan pequeños como 1–3 ° C (Bae, Maestre, Kinney, & Kirisits, 2019). Un cambio en la temperatura afecta la estabilidad de la fermentación de bacterias (Martínez, Montoya, & Sierra, 2014). Las configuraciones comunes de temperatura de digestión anaeróbica son psicrófilas (0–15 ° C), mesófilas (30 – 37 ° C) y termófilas (50–60 ° C). Sin embargo, los microbios anaerobios pueden sobrevivir a temperaturas entre 0 y 82 ° C (Sánchez-Reyes *et al.*, 2016).

Además, la temperatura influye en tiempo de retención hidráulico. El tiempo de retención hidráulica (TRH) del biodigestor fue de 20 días a una temperatura ambiente de 24.3 °C, el cual produjo 3 200 L de biogás almacenados en la cúpula digestor y el gasómetro a 2 cm de presión de agua. Mientras que, Broncano, (2019), instaló un biodigestor con una capacidad de 5 670 L y un volumen de trabajo de 4 250 L, cargado y alimentado diariamente con mezcla estiércol – agua en una proporción de 1:4, 3 % peso/volumen de pulpa de café con relación al volumen de estiércol y 8 % volumen/volumen de agua miel con relación al volumen de trabajo, con un TRH de 25 días a una temperatura ambiente de 20.2 °C, produjo 3 550 L de biogás contenido en la cúpula del biodigestor y en el gasómetro, valor equivalente al 62.6 % de biogás con respecto al volumen del biodigestor y 83.5 % de biogás con respecto al volumen de trabajo.

El biogás producido a partir de la digestión anaeróbica se compone predominantemente de metano (55-65%) y dióxido de carbono (30-35%) y pequeñas cantidades de otros gases, incluido el sulfuro de hidrógeno, vapor de agua y otros gases (Neshat *et al.*, 2017). Por ello, se utilizó como combustible para cocinar alimentos que demandaba la familia, tiempo de utilización promedio de biogás por comida fue de 2.9 horas. Mientras

que, Barrena, Cubas, *et al.*, (2019), combustionaron 4.13 horas de biogas para preparar alimentos y procesar productos lacteos, por su parte, Broncano,(2019), utilizo el biogas como combustible para preparar alimentos con una combustion promedio de 4.18 horas. La diferencia de entre el uso de biogas se debe a la cantidad de alimentos preparados.

En cuanto a los bioabonos producidos en el biodigestor contienen una gran nutrientes por lo que se observo que a mayor volumen de bioganos aplicado mejora el crecimiento, follaje verde y seco de la alfafa (Tabla 3). La aplicación de bioabonos tambien ha sido aplicado en diferentes pastos, por ejemplo, Barrena, Cubas, *et al.*, (2019), aplico biosol al pasto pastoso Nicarion (*Setaria sphacelata*) biosol favoreció la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco. Broncano, (2019), aplico al pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K.Schum.) a las que se aplicó el bioabono en mayor dosis, superaron en rendimiento a las parcelas que recibieron menores dosis; siendo el tratamiento 4 (6 L de bioabono) el que tuvo mayor altura, peso fresco y peso seco, superando al tratamiento 1 (testigo) en 42.5 % con relación a su altura, en 51.1 % con relación a su peso fresco y en 52.1 % con relación a su peso seco.

Por lo anterior mencionado, Kinyua *et al.*, (2016) sostiene que el uso de digestores tubulares a pequeña escala produce una serie de beneficios que incluyen: (1) beneficios energéticos: la digestión anaeróbica es un proceso de producción de energía neta. (2) Beneficios agrícolas: el efluente del digestor es rico en nutrientes y puede usarse como enmienda del suelo. (3) Beneficios ambientales al disminuir la deforestación y mitigar la contaminación del agua por desechos de ganado. (4) Beneficios para la salud pública porque la combustión del biogás produce emisiones al aire muy bajas en comparación con la combustión de leña y desechos de ganado. Por último, (5) beneficios sociales al ayudar a abordar las desigualdades de género (Helguero, Lautaro, Peña, & Henani, 2018).

V. CONCLUSIONES

- ✓ Se construyó un biodigestor de forma cilíndrica horizontal, de manga de polietileno con las siguientes dimensiones: 1.5 m de diámetro, 10 m de largo; lo que hace un volumen total de 17 m³ y un volumen de trabajo de 12 m³, para procesar estiércol de bovino mezclado con agua en la proporción 1:4. El tiempo de retención hidráulica (TRH) de la mezcla en el biodigestor fue de 20 días a una temperatura ambiente de 24.3 °C, produciendo 3 200 L de biogás por día, suficiente para preparar diariamente los alimentos de la familia, en una cocina a biogás en un tiempo de 2.9 horas.
- ✓ Los bioabonos obtenidos se aplicaron en las parcelas de alfalfa (*Medicago sativa* L). Aquellas a las que se les aplicó mayor cantidad de bioabono, superaron en rendimiento a las parcelas que recibieron menores cantidades; siendo el tratamiento en el que se aplicó 8 L de bioabono por parcela el que tuvo mayor altura, peso fresco y peso seco, superando al testigo en 48 % con relación a su altura y en 59 % con relación a su peso fresco.
- ✓ El sistema de producción de biogás y bioabonos contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria por los beneficios que brinda. Tiene beneficios económicos, al emplear biogás en vez de leña o gas propano, lo que conlleva a tener un ahorro diario y se evita la deforestación para leña; además, el aprovechamiento de los bioabonos para los cultivos permite un manejo orgánico, incrementa la producción y evita el uso de fertilizantes químicos. Asimismo, este sistema mejora la calidad de vida de familia ya que la combustión del biogás en la cocina no emite humos irritantes ni tizna las ollas, contribuyendo así al cuidado de la salud de las personas. Por otro lado, este sistema resulta ser amigable con el medio ambiente porque permite constituirse como una alternativa sustentable a los recursos no renovables, además es una alternativa para procesar los efluentes de la ganadería, con lo que se reducirá su impacto ambiental negativo y no incrementará la cantidad de metano y de dióxido de carbono a la atmósfera, causantes del efecto invernadero.

VI. RECOMENDACIONES

- Emplear materiales disponibles de la zona para así disminuir los costos en la construcción del biodigestor.

- Se recomienda instalar primero el biodigestor y luego construir las pozas de entrada y la poza de salida.

- Utilizar otros sustratos para producción de biogás, como, por ejemplo, estiércol de cuy, ovejas, residuos de cosechas de café, frutos tropicales

- Utilizar aislantes térmicos en el biodigestor para disminuir el tiempo de retención y mejorar la producción de biogás.

- Utilizar el biogás como combustibles para motores de combustión y evaluar su rendimiento.

- Fomentar la tecnología de biodigestores en las zonas rurales para cerrar brechas en acceso de energía

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bae, S., Maestre, J. P., Kinney, K. A., & Kirisits, M. J. (2019). An examination of the microbial community and occurrence of potential human pathogens in rainwater harvested from different roofing materials. *Water Research*, 159, 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.029>
- Barrena, M. A., Cubas, A. F., Gosgot, A. W., Ordinola, R. C., Rascón, B. J., & Huanes, M. M. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725–734. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214> ISSN:
- Barrena, M. A., Maicelo, J. L., Gamarra, O. A., Oliva, M., Leiva, S., Huanes, M., & Ordinola, C. (2019). *Biogás: Producción y Aplicaciones*. Chachapoyas, Perú: UNTRM.
- Bonilla, C. J. A., & Lemus, F. C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 3(2), 215–246.
- Broncano, G. E. (2019). *Beneficios de la producción de biogás y bioabonos usando estiércol de ganado vacuno, pulpa de café y aguas mieles en el centro poblado de aguas verdes, pardo*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Cabezas, C., & Donaires, F. (2017). Syndromic approach for the diagnosis and management of acute febrile infectious diseases in emergencies. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 34(2), 316–322. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2017.342.2836>
- Cervi, R. G., Esperancini, M. S. T., & Bueno, O. D. C. (2011). Viabilidad económica de la utilización de biogás para la conversión en energía eléctrica. *Informacion Tecnologica*, 22(4), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000400002>
- Cuevas, T. A. B. (2016). Estrategias y acciones contra el cambio climático en las principales economías del APEC. *México y La Cuenca Del Pacífico*, 6(17), 127–131.
- García-Galindo, O., Pedroza-Sandoval, A., Chávez-Rivero, J. A., Trejo-Calzada, R., & Sánchez-Cohen, I. (2015). Evaluación de fuentes de materia orgánica fecal como inóculo en la producción de metano. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(2), 35–49.

- Hasbún-Mancilla, J. O., Aldunce-Ide, P. P., Blanco-Wells, G., & Browne-Sartori, R. (2017). Encuadres del cambio climático en Chile: Análisis de discurso en prensa digital. *Convergencia*, 24(74), 161–186. <https://doi.org/10.29101/crcs.v0i74.4387>
- Helguero, A., Lautaro, G., Peña, B., & Hernani, G. (2018). *Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol*. 2(2), 185–191.
- Kinyua, M. N., Rowse, L. E., & Ergas, S. J. (2016). Review of small-scale tubular anaerobic digesters treating livestock waste in the developing world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 896–910. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.324>
- Maldonado, G. A. L., González, G. E., & Cruz, S. G. E. (2017). Una aproximación a la representación del cambio climático en habitantes de dos cuencas del estado de Veracruz, México. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 12(23), 140. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2017.23.291>
- Mantilla, G. J. M., Aguirre, J. B. J., & Sarmiento, P. L. A. (2008). Evaluación experimental de un motor encendido por chispa que utiliza biogás como combustible. *Ingeniería e Investigación*, 28(2), 131–141. Retrieved from <http://www.doaj.org/doi?func=openurl&issn=01205609&date=2008&volume=28&issue=2&spage=131&genre=article>
- Martínez, J. A., Montoya, N., & Sierra, M. (2014). Energía del futuro: bioalcoholes a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). *Revista EAN*, (77), 64. <https://doi.org/10.21158/01208160.n77.2014.816>
- Neshat, S. A., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., & Lahijani, P. (2017). Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(May), 308–322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.137>
- Olivares-campos, M. A., & Jáquez-balderrama, J. L. (2012). Lombricomposta Y Composta De Estiércol De Ganado Vacuno Lechero Como Fertilizantes Y Mejoradores De Suelo. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27–37. <https://doi.org/10.19136/era.a28n1.30>

- Omaña, S. J. M., Almora, B. I., Cruz, G. B., Hoyos, F. G. L., Quintero, R. J. M., & Fortis, H. M. (2014). Competitividad de la carne de ganado bovino entre los países miembros del TLCAN 1997-2008. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 175–189. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i2.958>
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa. *Agrociencia*, 46(4), 359–370.
- Rivero, H. V. E. (2017). Actitudes resilientes ante el cambio climático en Achocalla. *Desafíos Educativos*, (224–3033), 83–103.
- Sánchez-Reyes, C., Patiño-Iglesias, M. E., Alcántara-Flores, J. L., Reyes-Ortega, Y., Pérez-Cruz, M. A., & Ortiz-Muñoz, E. (2016). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 191–198. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.05>
- Sánchez, A. S., Cohim, E., & Kalid, R. A. (2015). A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 119–137. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.04.002>
- Silva, A., Landazury, B., & Preciado, B. (2013). *Amanda Silva 1 , M. Sc.; Arturo Gómez 2 , Ph. D.; Bonnie Landazury 3 , Ing.; Bryan Preciado 3 , Ing.* 6(1), 36–43.
- Vera-Romero, I., Martínez-Reyes, J., Estrada-Jaramillo, M., & Ortiz-Soriano, A. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(3), 429–436. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(14\)70352-x](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(14)70352-x)