

**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**

**IMPLEMENTACIÓN Y RENDIMIENTO DE UN SISTEMA
DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y BIOABONOS DE 12 m³
A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE GANADO BOVINO EN
EL FUNDO PALMERAS, PUMA HERMANA,
MOLINOPAMPA, CHACHAPOYAS, AMAZONAS.**

Autor: Franklin Cubas Alarcón

Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Registro:.....

CHACHAPOYAS – 2018

DEDICATORIA

A mi familia, desde la raíz más profunda hasta el fruto más tierno.

A Dios

Por haberme dado la salud y paciencia en momentos difíciles que han transcurrido en mi vida.

A mis Padres

Amadeo Cubas Guevara y Teotista Alarcón Coronel, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores que me inculcaron durante mi formación profesional y por el cariño y amor que siempre me demostraron, les dedico este trabajo a ellos con mucho cariño y amor.

A mis Hermanos

Dodamen Cubas, Oliver Cubas y Neyda Cubas, por haberme brindado todo su apoyo en todo momento que necesite de ellos, les dedico este logro fruto de mi esfuerzo para ser profesional, les estimo demasiado hermanos.

Hay libros que están hechos para que la gente aprenda; hay otros como este trabajo de investigación, que se han hecho para demostrar que su autor ha aprendido algo.

Franklin.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Miguel Angel Barrena Gurbillón, Asesor de la presente tesis por su apoyo permanente para su realización.

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

Al Proyecto SNIP N° 159865 “Desarrollo de Tecnologías para el Manejo de Recursos Naturales y la Agrobiodiversidad en un Contexto de Cambio Climático en las Provincias de Bongará, Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza” (PROMARENA), del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM, por haber brindado los recursos económicos para la adquisición del biodigestor y el gasómetro empleados en la presente investigación.

Al Proyecto “Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas” (PROCICEA), del INDES-CES de la UNTRM, por haber brindado los recursos económicos para la adquisición de los materiales de gasfitería para la instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos empleado en la presente investigación; asimismo, por el apoyo logístico para el transporte de materiales y de los integrantes del equipo de investigación.

Al Sr. Pepe Goñas Galoc y a su esposa la Ing. Zootecnista Marilú Chávez Guadalupe, propietarios del Fundo Palmeras, ubicado en Puma Hermana, distrito de Molinopampa, Región Amazonas, Perú; por el apoyo brindado para instalar en su Fundo el sistema de producción de biogas y bioabonos empleado en la presente investigación, contribuyendo también con la construcción de la infraestructura para instalar este sistema; asimismo, por el apoyo logístico para realizar la presente investigación.

A los estudiantes del X Ciclo de Ingeniería Ambiental de la UNTRM, Henry Carrasco Guevara y Perci Salazar Salazar, por la ayuda brindada para la instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos empleado en la presente investigación y para la toma de datos experimentales.

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

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

RECTOR

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dr. OSCAR ANDRES GAMARRA TORRES

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El Docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “**IMPLEMENTACION Y RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y BIOABONOS DE 12 m³ A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO BOVINO EN EL FUNDO PALMERAS, PUMA HERMANA, MOLINOPAMPA, CHACHAPOYAS, AMAZONAS**”, del Tesista de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM:

FRANKLIN CUBAS ALARCÓN

El Docente de la UNTRM que suscribe, da el Visto Bueno al informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 26 de diciembre de 2017

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLON

Profesor Principal DE UNTRM-Amazonas

JURADO EVALUADOR

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Presidente

M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

Secretario

M. Sc. ELI PARIENTE MONDRAGÓN

Vocal

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	iv
JURADO EVALUADOR	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	6
III. MARCO TEÓRICO	7
IV. MATERIAL Y METODOS	10
4.1. Infraestructura para instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos	10
4.2. Tablero de purificación y control del biogas	14
4.3. Carga del biodigestor	14
4.4. Rendimiento del biogas como combustible para cocina	14
4.5. Influencia del biol y biosol sobre la producción de los pastos	15
V. RESULTADOS	16
5.1. Instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos	16
5.2. Tablero de purificación y control del biogas	18
5.3. Carga del biodigestor	20
5.4. Tiempo de retención hidráulico	21
5.5. Rendimiento del biogas como combustible para cocina	24
5.6. Influencia del biol y biosol sobre la producción de los pastos	27
VI. DISCUSIÓN	35
VII. CONCLUSIONES	38
VIII. RECOMENDACIONES	39

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	42
Anexo 1. Análisis estadístico de los datos de altura, peso fresco y peso seco del pasto	43

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos diarios de temperatura ambiente registrados tres veces al día en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Región Amazonas.	22
Tabla 2. Rendimiento del biogas como combustible para preparar alimentos en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Región Amazonas.	26
Tabla 3. Altura de plantas de pasto Nicarion medidas cada 15 días hasta completar dos meses. T: testigo, A: Biol, B: Biosol, AB: biol + biosol.	31
Tabla 4. Altura final del pasto Nicarion, peso fresco al momento del corte y peso seco. T: testigo, A: Biol, B: Biosol, AB: biol + biosol.	33

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Biogas: Combustible ecológico. Fuente: Barrena <i>et al.</i> (2013).	2
Figura 2. Diseño de la investigación.	10
Figura 3. Esquema de instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos con biodigestor tubular. Fuente: Barrena <i>et al.</i> , 2013.	11
Figura 4. Lugar donde se construyó la infraestructura para la instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos en el Fundo Palmeras.	12
Figura 5. Infraestructura para instalar el biodigestor constituida por la poza de descarga de biol, tubería de fondo para salida de biosol, poza de 10 m de largo hecha de madera para el biodigestor y poza de carga o alimentación del biodigestor.	12
Figura 6. Colocación de tecnopor como aislante térmico y protector del biodigestor.	13
Figura 7. Esquema para construir la cocina de dos hornillas a biogas. Fuente: Barrena <i>et al.</i> , 2013.	15
Figura 8. Instalación del biodigestor a la poza de carga o alimentación y fijación del tubo con “diablo” (mezcla 1:1 de cemento con yeso) que fragua rápidamente.	16
Figura 9. Colocación de la llave de paso de 2” con reducción de 4” a 2” para salida de biosol y fijación del tubo con “diablo”.	16
Figura 10. Biodigestor en la poza y colocación de la llave para salida de biogas.	17
Figura 11. Instalación del biodigestor a la tubería de fondo para salida de biosol y a la poza para salida de biol. Los tubos se fijaron con “diablo”.	17
Figura 12. Tarima cubierta con tecnopor sobre la que se instaló el gasómetro.	17
Figura 13. Elaboración de los componentes del tablero de purificación y control del biogas.	18

Figura 14. El tesista Franklin Cubas, los propietarios del Fundo Palmeras Pepe Goñas y Marilú Chávez, los estudiantes Perci Salazar y Henry Carrasco, el Dr. Barrena; al pie del tablero de purificación y control de biogas conectado al biodigestor (a la izquierda) y al gasómetro (a la derecha).	19
Figura 15. Mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5 (1 balde de estiércol de 20 L con 5 baldes iguales de agua), preparada en un cilindro de 140 L; para cargar el biodigestor.	20
Figura 16. El nivel hasta donde se cargó el biodigestor debe cubrir la boca del tubo en ambas pozas (de carga y descarga). Conforme se va cargando el biodigestor, se lo debe ir jalando hacia arriba y a todo lo largo para que se despliegue y se llene uniforme.	21
Figura 17. Trasvase de biogas del biodigestor al gasómetro.	23
Figura 18. Alimentación del biodigestor.	23
Figura 19. Prueba de combustión del biogas en la cocina para hervir leche endulzada.	24
Figura 20. Instalación de gasómetro adicional en el ambiente de la cocina.	25
Figura 21. Preparación de mermelada de pepino en la cocina a biogas.	26
Figura 22. Alimentos preparados en la cocina a biogas.	27
Figura 23. Retiro de biol de la poza de salida de biol del biodigestor.	27
Figura 24. Retiro de biosol del biodigestor.	28
Figura 25. Letreros para cada una de las parcelas experimentales. A: biol, B: biosol y AB:mezcla de biol y biosol, T: testigo.	28
Figura 26. Extracción, dosificación y aplicación de biol a las parcelas tipo A.	28
Figura 27. Extracción, dosificación y aplicación con jarra de biosol a las parcelas tipo B.	29
Figura 28. Mezcla, dosificación y aplicación con jarra de la mezcla biol+biosol a las parcelas tipo AB.	29
Figura 29. Parcelas de pasto al inicio y a las tres semanas del tratamiento.	30

Figura 30. Altura del pasto a las cinco semanas de aplicación de biol, biosol y mezcla biol+biosol, a las parcelas de pastos.	30
Figura 31. Secado del pasto a la sombra.	32
Figura 32. Pesado del pasto seco de cada parcela experimental.	32

RESUMEN

En la presente investigación se instaló un sistema de producción de biogas y bioabonos constituido por un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 12 m³, con 9 m³ de volumen de trabajo, para determinar el rendimiento del biogas como combustible y la influencia de los bioabonos sobre el desarrollo de los pastos. En el biodigestor se procesó en anaerobiosis el estiércol de bovino que se cría en el Fundo Palmeras, Sector Puma Hermana, distrito de Molinopampa, Región Amazonas. El biodigestor es alimentado con mezcla estiércol: agua en la proporción de 1:5. El tiempo de retención hidráulico fue de 29 días a una temperatura ambiente promedio de 14,4 °C. El biogas producido satisface la demanda como combustible en cocina para la preparación diaria de los alimentos de la familia. El biol y el biosol, efluentes del biodigestor, se emplearon como abonos orgánicos para el pasto Nicarion en parcelas experimentales, aquellas a las que se aplicó biol (T2) y biosol (T3) tuvieron mayor crecimiento de sus tallos superando en casi el doble del tamaño al testigo. El biosol favoreció la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco de los pastos evaluados, con lo que se mejoran los suelos del Fundo, reduciendo además la dependencia de insumos externos. Este sistema también sirve como ejemplo 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: energía de la biomasa, captura de carbono, biogas.

ABSTRACT

In the present research was carried out the installation of a biogas and bioabon production system constituted by a tubular geomembrane biodigester of PVC of 12 m³, with 9 m³ of work volume, to determine the performance of biogas as a fuel produced by decomposition of manure of bovine, in the sector of Puma Hermana, district of Molinopampa, Amazonas Region. The biodigester is fed with manure:water mixture in the ratio of 1:5. The hydraulic retention time was 29 days at an average room temperature of 14,4 ° C. The biogas produced satisfies the demand as fuel in the kitchen for the daily preparation of family food. Biol and biosol, effluents from biodigester, they were used as organic fertilizers for Nicarion grass in plots experimental, those to which biol (T2) and biosol (T3) were applied had higher growth of its stems surpassing the witness by almost twice the size. The biosol favored the greater production of fresh weight and consequently of dry weight of the pastures evaluated, which improves the grounds of the Fundo, also reducing the dependence on external inputs. This system also serves as an example for reduce the environmental impact of livestock activity by confining methane to use it as a fuel, instead of dissipating it into the atmosphere by the uncontrolled decomposition of manure.

Key words: biomass energy, carbon capture, biogas.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas agropecuarios emiten de manera significativa a la atmósfera tres gases de efecto invernadero (GEI): metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O); que provocan el calentamiento de la superficie terrestre y destruyen la capa de ozono en la estratósfera. Cada GEI afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en que un GEI contribuye al calentamiento global es su Potencial de Calentamiento Global (PCG), el cual se expresa en comparación con el que posee el mismo volumen de CO_2 durante el mismo periodo de tiempo, por lo que el PCG del CO_2 es siempre 1. El metano tiene un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el CO_2 , su tiempo de vida en la atmósfera es de 9 a 15 años y su tasa anual de crecimiento es de 7 %. El metano proveniente del suelo de los sistemas pecuarios se puede generar por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, deposición de excrementos en las pasturas, tratamientos anaeróbicos de los residuos animales y quema de biomasa (Silva *et al.*, 2013). Según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), el sector ganadero sería responsable del 9% de las emisiones globales de CO_2 , del 35-40% de las de CH_4 y del 65% de las de N_2O (Steinfeld *et al.*, 2006).

La digestión anaeróbica de la materia orgánica realizada por las arqueas produce CH_4 , CO_2 y otros gases, que en conjunto se denomina biogas, el cual es una fuente de energía renovable, constituido por 60 a 80% de CH_4 , debido a ello se puede emplear como combustible para cocina, lámpara de camiseta tipo “petromax” y/o motores de combustión interna, en vez de combustibles fósiles altamente contaminantes y no renovables. Este tipo de digestión es promisoria para mitigar las emisiones de GEI del estiércol recolectado, reduce los patógenos y el olor del estiércol. El efluente líquido del biodigestor se denomina de manera general bioabono, constituido por una fracción líquida llamada biol y un lodo de fondo conocido como biosol; ambos contienen nutrientes para las plantas y se los puede aplicar directamente al suelo de los cultivos para incrementar su producción. Esto también permite hacer un reciclaje de nutrientes y contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria.

El biogas es un combustible ecológico porque permite reciclar o cerrar el ciclo del dióxido de carbono (CO_2) producido en su combustión, es decir, realizar la captura de carbono. Las plantas absorben agua y nutrientes del suelo, mediante sus raíces; con sus hojas captan

el CO₂ del aire y la energía solar a través de la clorofila para realizar la fotosíntesis, que permite a la planta producir monosacáridos y luego polisacáridos para su crecimiento. Las plantas sirven de alimento para los animales (Figura 1), los que al final de su digestión excretan estiércol, que se colecta para procesarlo en un biodigestor en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) para producir biogas y bioabonos (biol y biosol). El biogas se emplea como combustible en la cocina, en lámparas, en motores o para calefacción; produciendo CO₂ y vapor de agua que se descargan a la atmósfera, de donde el CO₂ será reciclado por las plantas. Los bioabonos servirán para retornar nutrientes al suelo de manera que la producción de los cultivos sea mayor y se fomenta la agricultura orgánica (Barrena *et al.*, 2013).

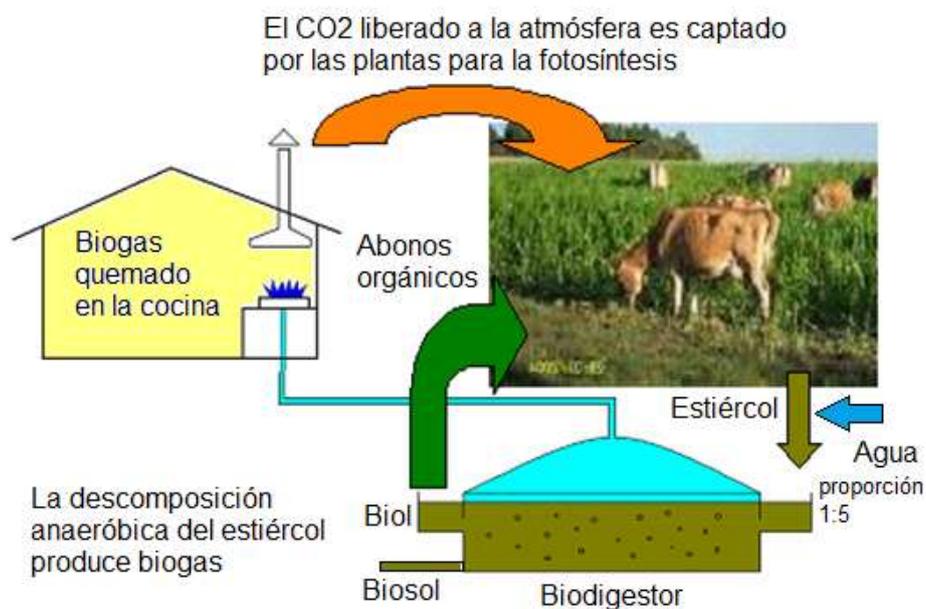


Figura 1. Biogas: Combustible ecológico. Fuente: Barrena *et al.* (2013).

Los biodigestores pequeños de 6 a 10 m³ de volumen de trabajo, se promovieron en las décadas de 1970 y 1980 en Asia y América Latina, para mejorar las condiciones sanitarias y proveer energía a viviendas unifamiliares, funcionando con el estiércol de muy pocos animales (dos a cinco cerdos, cinco a diez vacas, 100 pollos, o una combinación de estos) junto con la basura orgánica de la vivienda. Estos biodigestores contribuyen a reducir las emisiones de GEI entre 23 y 53 % cuando se comparan con las viviendas que no cuentan con biodigestores para producir biogas (Hristov, 2013).

El uso del biogas como combustible para cocinas, lámparas y/o motores, reducir en 25 veces el poder del metano como GEI, debido a que la combustión de una molécula de metano produce una molécula de dióxido de carbono: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. Además, como el biogas es una fuente de combustible renovable, el CO_2 producido en su combustión, será reciclado por las plantas mediante la fotosíntesis.

Salazar *et al.* (2012), realizaron una investigación para producir biogas y biol a partir de excretas de ganado en la ciudad de Tacna (Perú); diseñaron, construyeron y evaluaron un biodigestor familiar de 2 m^3 , que fue alimentado con estiércol fresco de ovino para evaluar el funcionamiento cargando diariamente en una proporción de tres de agua a uno de estiércol. Se cuantificó la producción diaria de biogas con el método indirecto del gasómetro de campana flotante, con un valor de producción promedio de 437 litros de biogas por día; además sostienen que el optar por el estiércol de oveja como materia prima permite no solo generar buena cantidad de biogas sino también un fertilizante (biol) de calidad, obteniendo 42 litros de biol por día.

Chauca (2010), en el distrito de Santo Tomás, provincia de Luya, Región Amazonas (Perú) utilizó estiércol fresco de ganado vacuno para producir biogas y bioabonos, con una relación estiércol:agua de 1:5 en un biodigestor de $10,13 \text{ m}^3$, con un volumen de mezcla estiércol:agua de $7,6 \text{ m}^3$, para su preparación empleó 1 260 kg de estiércol y 6 340 litros de agua. El biogas producido lo empleó para la cocción de alimentos y el biol para aplicar a los cultivos de alfalfa. Concluyó que la producción de biogas alcanzó una presión de 10 cm de agua en 42 días, que fue el tiempo de retención hidráulico (TRH), en las condiciones ambientales del lugar que fueron 2700 msnm y $14 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura ambiente promedio; asimismo, los bioabonos aplicados al cultivo de alfalfa hicieron que produzca mayor contenido de materia seca, que es lo valioso para alimentar el ganado.

El Proyecto de Desarrollo Ancash Inclusivo, instaló 15 biodigestores en las provincias de Huaraz, Carhuaz, Yungay, Recuay y Huari. El biodigestor se colocó en una zanja de forma trapezoidal de 8,40 m de largo, 0,80 m de profundidad, un ancho de 0,90 m a nivel del suelo y 0,70 m en el fondo de la zanja. La mezcla para cargar el biodigestor y para su alimentación diaria fue estiércol de cuy y agua en la proporción de 1:3 (35 kg de estiércol y 105 litros de agua). Produce 80 litros de biol, cerca de 2 m^3 de biogas y 250 litros de biosol; el biogas es utilizado para la cocción diaria de alimentos de la familia y el biol y biosol se utiliza para fertilizar hortalizas, aguaymanto y palto (MINAGRI, 2011).

Con el Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM), de la Región San Martín (Perú), se instalaron 12 biodigestores de diversa escala. El primero se instaló en febrero del 2009, en el centro pecuario de la Granja Ganadera de Calzada (24°C de temperatura ambiente), provincia de Moyobamba, Región San Martín; para el funcionamiento de este biodigestor tubular de 12 m³ se empleó estiércol fresco de bovino proveniente de vacas en producción recolectando en la sala de ordeño un promedio de 60 kg/día, el que fue mezclado con agua en la proporción de uno en cinco. El TRH de este biodigestor fue de 18 días. El biogas es aprovechado para el procesamiento de 100 litros de leche por día para derivados lácteos que produce este centro pecuario; y el biol es usado como fertilizante para los pastos de este centro pecuario (Barrena, Taramona, Gamarra, & Choy, 2013).

Julca (2013), empleó estiércol de ganado recolectado de las chacras de pastoreo en el distrito de Providencia (20°C de temperatura ambiente), provincia de Luya, Región Amazonas; concluyó que un biodigestor de geomembrana de PVC de 0,5 mm de espesor de 6,7 m de largo por 1,27 m de diámetro, cargado hasta el 75 % de su volumen con mezcla estiércol agua en una proporción de uno a cinco, conectado a un gasómetro del mismo material de 2 m de largo por 1,27 de diámetro, tuvo un TRH de 20 días; permite producir y almacenar biogas suficiente para preparar los alimentos diariamente de una familia de 6 miembros; así como también da las bases para un manejo orgánico y sostenible del cultivo del café, siendo además una alternativa viable para reducir la contaminación ambiental.

Barrena *et al.* (2013), determinaron que el tiempo de retención hidráulica (THR) de un sistema de producción de biogas y bioabonos depende directamente de la temperatura del ambiente donde está instalado; de manera que si en el lugar hace calor, el TRH será menor, pero si hace frío, el TRH será mayor. Asimismo, encontraron que la ecuación logarítmica: $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,394$, modela el tiempo de retención hidráulico (TRH: días) para la producción de biogas en función de la temperatura (T: °C) ambiente, con un ajuste $R^2 = 0,924$.

Martínez (2015), realizó una investigación sobre producción de biogas empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato (México); el objetivo fue calcular la cantidad de biogas potencialmente extraíble de las excretas de puerco. Concluyó que se pueden extraer alrededor de 100 mil m³ por día de biogas y producir aproximadamente

60 GWh de energía eléctrica; sustituyendo cerca de 114 mil barriles de petróleo, lo que significa dejar de emitir al medio ambiente casi 40 mil toneladas de CO₂ al año.

En la gran mayoría de distritos de la Región Amazonas, la actividad ganadera se ha convertido en una de las actividades económicas más importantes de los pobladores rurales de esta parte del país, tal es el caso del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, el mismo que con 2314,93 ha, es uno de los más extensos de la región en producción de pastos. En tal sentido, la actividad ganadera se convierte en la principal actividad económica para los pobladores de este distrito, los mismos que practican diferentes sistemas de pastoreo a campo abierto y silvopastoriles, utilizando para ello especies arbóreas como aliso (*Alnus acuminata*), pino (*Pinus patula*) y otras especies. Molinopampa, se encuentra ubicado a una altitud de 2421 msnm, en la latitud 06° 12' 20" Sur y la longitud 77° 40' 06" Oeste (Oliva *et al.*, 2014).

Según el censo realizado a los hogares del Perú el año 2007, 55,6 % de hogares usan gas y 30,2% de hogares usan leña, de los cuales en el área urbana 71,4% usan gas y solo el 15,2% usan leña. En el área rural solo el 5,6% usan gas, el 77,4% usan leña y un 14,5% utilizan estiércol para producir energía. En la Región Amazonas, de 90 645 hogares: 186 cocinan con electricidad, 20 741 cocinan con gas, 194 cocinan con kerosene, 416 cocinan con carbón, 65 711 hogares cocinan con leña, 30 hogares cocinan con estiércol, 21 hogares utilizan otras formas de energía y 3 346 hogares no cocinan (INEI, 2007).

Cada día las actividades antropogénicas contribuyen al calentamiento global, una de ellas es la crianza de ganado bovino, actividad que lleva a la tala de grandes cantidades de hectáreas de bosque para instalar pastizales; además, la descomposición del estiércol del ganado en los pastizales emite metano que es un gas de efecto invernadero, y la lluvia arrastra restos del estiércol a las fuentes de agua contaminándolas con coliformes fecales. El Distrito de Molinopampa vive esta realidad cada día; por ello, como una alternativa amigable con el medio ambiente, se procesará el estiércol de ganado bovino en un biodigestor anaeróbico para producir biogas para la cocción de alimentos y bioabonos para incrementar el crecimiento y la productividad de los pastos. Todo ello llevará a mitigar la contaminación y a validar una tecnología amigable con el medio ambiente que contribuirá a mejorar la calidad de vida de los usuarios.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar un sistema de producción de biogas y bioabonos de 12 m³ a partir del estiércol de ganado bovino en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Chachapoyas, Amazonas.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Implementar el sistema de producción de biogas y bioabonos en el Fundo Palmeras.
- ✓ Establecer el tiempo de retención hidráulica del sistema de producción de biogas y bioabonos.
- ✓ Determinar el rendimiento del biogas como combustible en una cocina para preparar los alimentos de la familia.
- ✓ Evaluar la influencia del biol y biosol sobre la producción de pastos.

III. MARCO TEÓRICO

Fermentación anaeróbica

La fermentación o digestión anaeróbica es uno de los procesos más antiguos y tradicionales para tratar los lodos de desagüe o estiércoles (materia orgánica). Es importante debido a que en su transcurso se descompone la materia orgánica por acción de un conjunto de bacterias, y se produce biogas que contiene metano, por lo que se constituye en una fuente alternativa de energía limpia frente a los limitados combustibles fósiles (Julca, 2013).

Biodigestor

Es un tipo de biorreactor diseñado para operar en condiciones anaerobias, propiciando un ambiente adecuado para las bacterias que degradan la materia orgánica convirtiéndola finalmente en biogas y en efluentes que son utilizados como fertilizantes agrícolas orgánicos (Salazar, Amusquivar, Llave, & Rivasplata, 2012).

La temperatura de la mezcla estiércol:agua contenida en el biodigestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de fermentación o digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan mejor en el rango de 30 a 35 °C, siendo esta la temperatura óptima para la producción de biogas. La temperatura en el biodigestor debe estar por encima de 20 °C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogas y por debajo de 10° C la digestión cesa completamente (Arce, 2011).

Etapas de la fermentación anaeróbica

a) Hidrólisis

Etapa donde las proteínas, carbohidratos y grasas contenidos en la materia orgánica alimentada al biodigestor, son transformados en compuestos solubles por acción de bacterias proteolíticas, celulolíticas y lipolíticas, respectivamente. Es una etapa fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes: acidogénesis y acetogénesis (Toala, 2013).

b) Acidogénesis

Los compuestos solubles resultantes de la primera etapa (hidrólisis), son transformados por acción bacteriana en ácidos orgánicos simples volátiles, acetatos, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaeróbicas o facultativas (Toala, 2013).

c) Acetogénesis

En esta etapa las bacterias acetogénicas interactúan con las Archaeas metanogénicas colaborando entre sí para transformar los ácidos grasos resultantes en los sustratos propios de la metanogénesis (Toala, 2013).

d) Metanogénesis

Finalmente mediante la acción de las bacterias metanogénicas, el hidrógeno y parte de los acetatos, son transformados en metano y dióxido de carbono. El amoníaco se estabiliza en forma de sales de amonio, permaneciendo en esta forma todo el nitrógeno original de la materia orgánica, que se está biodegradando anaeróbicamente. El metabolismo de estas bacterias es más lento, y son más sensibles a distintas condiciones ambientales (Toala, 2013).

Tiempo de retención hidráulico: TRH

Es el tiempo en días transcurrido desde que el biodigestor fue cargado a su volumen de trabajo con la mezcla estiércol:agua, hasta que se lo observe completamente inflado por el biogas producido. En los lugares donde hace frío el TRH será mayor que en los lugares donde hace calor. La relación entre el TRH y la temperatura ambiente del lugar donde se instala un biodigestor es representada por la ecuación: $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,394$ con un $R^2 = 0,924$ (Barrena, Taramona, Gamarra, & Choy, 2013).

Alimentación del biodigestor

Una vez que el biodigestor se observa completamente inflado por el biogas producido por la descomposición de la materia orgánica con que fue cargado, se puede comenzar a usar el biogas. Para mantener constante la producción de biogas y de bioabonos, de aquí para adelante se debe alimentar todos los días el biodigestor. Si el biodigestor es de 8 a 12 m³,

se lo debe alimentar con 200 L de mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5, luego de esto se debe retirar 200 L de biol del biodigestor para emplearlo como abono orgánico para los cultivos. De esta manera, el biodigestor producirá continuamente biogas y bioabonos y para mantener esta operación sin problemas, se recomienda extraer lodos de fondo (biosol) del biodigestor, es decir purgarlo cada seis meses (Barrena, Taramona , Gamarra, & Choy, 2013).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

El diseño de la presente investigación está dado por la relación entre las variables independientes y variables dependientes: la temperatura ambiente influye sobre el tiempo de retención hidráulico (TRH), y en función de esto se produce biogas y bioabonos (biol y biosol). El biogas se emplea como combustible para preparar alimentos, actividad en la que se determinó su rendimiento. Los bioabonos se aplicaron en parcelas experimentales de pastos en las que se determinó su efecto sobre el incremento de la producción de pastos.

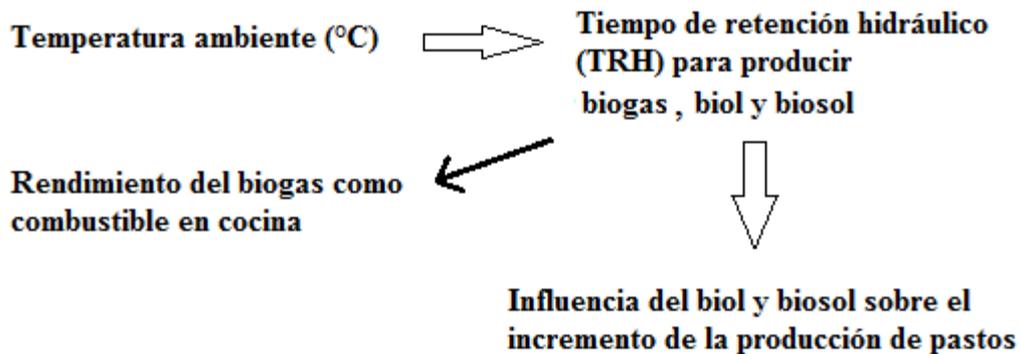


Figura 2. Diseño de la investigación.

4.1. Infraestructura para instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos

La presente investigación se realizó en el Fundo Palmeras, ubicado en el Sector Puma Hermana del Distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas, propiedad del Sr. Pepe Goñas Galoc y de la Ing. Marilú Chávez Guadalupe; en base al Convenio que tienen con el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM). Para hacer la infraestructura donde se instaló el sistema de producción de biogas y bioabonos, se empleó el esquema que se muestra en la Figura 4 y los criterios establecidos por Barrena *et al.* (2013). Se empleó materiales disponibles en el fundo para reducir costos, como el uso de postes y tablas de pino para hacer la poza para el biodigestor.

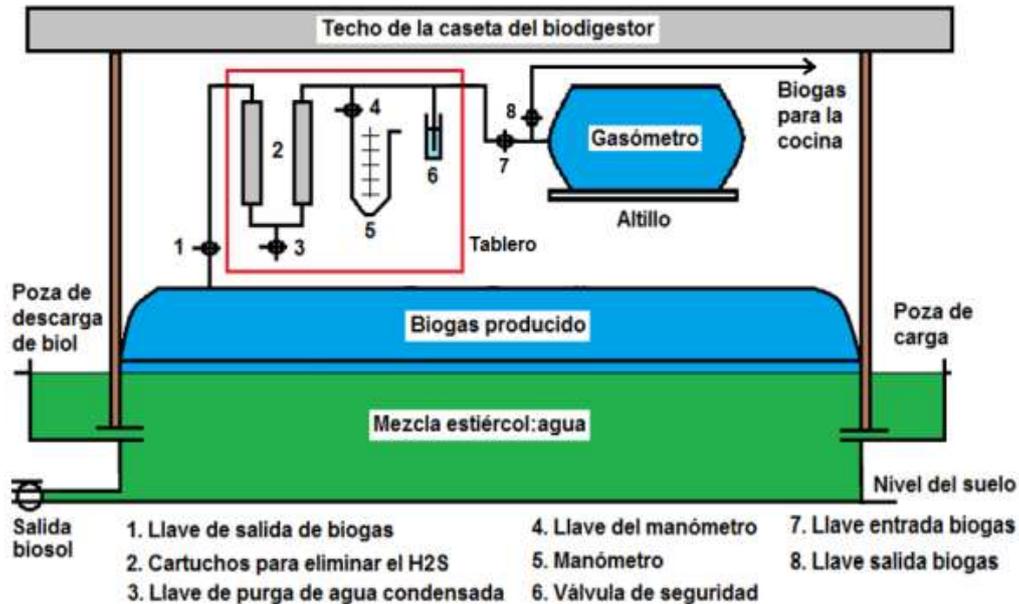


Figura 3. Esquema de instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos con biodigestor tubular. Fuente: Barrena *et al.*, 2013.

Biodigestor

El biodigestor hecho de geomembrana de PVC de 1,0 mm de espesor, de forma cilíndrica horizontal, con aditivo anti UV, tiene las siguientes características: 1,27 m de diámetro x 10 m de largo, lo que hace un volumen total de 12 m³, su volumen de trabajo es de 9 m³ ocupado por la mezcla estiércol:agua y los 3 m³ restantes son ocupados por el biogas producido. En el centro de la tapa de uno de los extremos del biodigestor tiene una manga de 4" x 30 cm de largo para conectar con un tubo de PVC de 4" a la poza de carga o alimentación; en el centro de la tapa del otro extremo tiene una manga similar para conectar con un tubo de PVC de 4" a la poza de salida de biol y en el borde inferior de esta misma tapa tiene otra manga similar para conectar con la tubería de salida de biosol (lodos de fondo). Las tres mangas se aseguraron a los tubos con abrazaderas regulables de tornillo de 4" de diámetro. En el centro del lomo del biodigestor tiene un accesorio tipo niple de PVC de 1" x 15 cm de largo para salida de biogas colocado, sellado y reforzado con dos contratueras y anillos planos de PVC de 10 cm de diámetro.

Poza para el biodigestor

El Fundo Palmeras tiene un cobertizo para ordeño hecho con paredes de ladrillo de cemento, por lo que sus propietarios decidieron que la poza para el biodigestor se construya sobre el nivel del suelo (Figura 4), afuera del cobertizo y se emplee una de sus paredes como parte de la infraestructura para la instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos. A 1 m de distancia de esta pared se construyó otra pared de 1 m de altura x 10 m de largo, con tablas de pino de 1” de espesor clavadas en postes de pino fijados en el suelo. Todo el interior se cubrió con planchas de tecnopor de 1” de espesor como aislante térmico.



Figura 4. Lugar donde se construyó la infraestructura para la instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos en el Fundo Palmeras.



Figura 5. Infraestructura para instalar el biodigestor constituida por la poza de descarga de biol, tubería de fondo para salida de biosol, poza de 10 m de largo hecha de madera para el biodigestor y poza de carga o alimentación del biodigestor.



Figura 6. Colocación de tecnopor como aislante térmico y protector del biodigestor.

Poza de carga o alimentación

En un extremo de la poza para el biodigestor, como se muestra en la Figura 5 y 6, sobre una losa de concreto se construyó la poza de carga o de alimentación, con concreto vaciado de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. A ras del fondo de esta poza se instaló un tubo de PVC de 4" (Figura 5) al que se conectó la manga de alimentación del biodigestor. El interior está tarrajado con cemento para impermeabilizarla. Por esta poza se carga el biodigestor al inicio y se lo alimenta diariamente a partir de su TRH con la mezcla estiércol-agua en la relación de uno a cinco.

Poza de descarga

En el otro extremo de la poza para el biodigestor, como se muestra en la Figura 5, se construyó una poza similar a la de carga. A ras del fondo de esta poza se instaló un tubo de PVC de 4" al que se conectó la manga de salida de biol del biodigestor. A ras del fondo de la poza del biodigestor y debajo de la poza de descarga (Figura 5) se instaló un tubo de PVC de 4" al que se conectó la manga de salida de biosol, y en el otro extremo se colocó una llave de paso de 2" para facilitar el retiro de biosol como purgas cada 6 meses.

Gasómetro

Tiene como función almacenar el biogas producido en el biodigestor y tenerlo disponible para su uso como combustible en la cocina de dos hornillas. Tiene las siguientes características: forma de almohada, hecho de geomembrana de PVC de 1,0 mm de

espesor, 1,5 m de ancho x 2,2 m de largo. En el centro tiene un accesorio tipo niple de PVC de 1" x 15 cm de largo para entrada/salida de biogas, fijado con empaquetaduras de jebe y dos arandelas de PVC de 10 cm de diámetro.

4.2. Tablero de purificación y control del biogas

Como se muestra en la Figura 3, este tablero está constituido por dos cartuchos rellenos con clavos de fierro para eliminar el H₂S, ambos cartuchos están conectados por un puente que tiene una válvula para eliminar el agua condensada. A continuación está un manómetro para medir la presión del sistema de producción de biogas y bioabonos en cualquier momento y finalmente está la válvula de seguridad que se emplea para prefijar la presión máxima de trabajo del sistema.

4.3. Carga del biodigestor

Siguiendo lo recomendado por Barrena *et al.* (2013), el biodigestor se cargó hasta su volumen de trabajo de 9000 litros, con la mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5, preparada en un cilindro de polietileno de 140 litros. Esta mezcla se agitó para homogenizarla y enseguida se vertió en la poza de carga del biodigestor.

4.4. Rendimiento del biogas como combustible para cocina

Siguiendo el esquema de la Figura 7, se construyó una cocina adaptada para funcionar a biogas, con estructura de varilla de fierro de 3/8", con 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 1/2" y en el otro extremo se enrroscó un codo de PVC al que se conectó la llave de paso y el resto de las conexiones (Barrena *et al.*, 2013). En esta cocina se preparan los alimentos típicos de la familia. Se midió el tiempo requerido para preparar cada alimento y el volumen de biogas consumido.

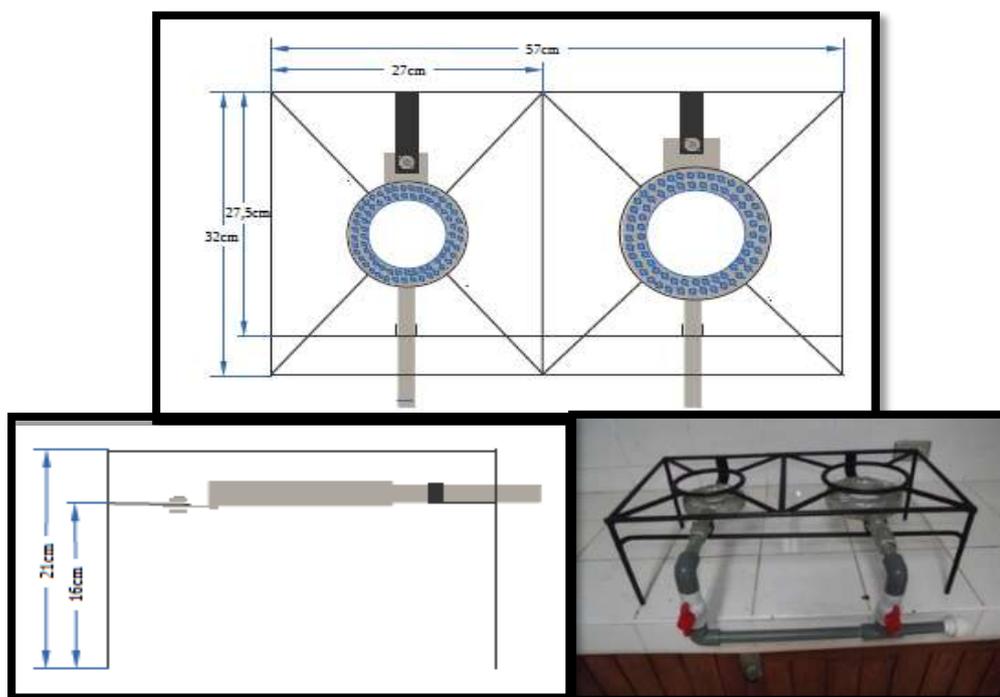


Figura 7. Esquema para construir la cocina de dos hornillas a biogas. Fuente: Barrena *et al.*, 2013.

4.5. Influencia del biol y biosol sobre la producción de los pastos

El propietario del Fundo Palmeras deseaba evaluar si los bioabonos incrementaban la producción del pasto ya establecido. Por ello, se empleó un lote de terreno sembrado con pasto Nicarion, de donde recién se retiró el ganado para que el pasto rebrote; para uniformizar las parcelas, se cortó el pasto con motoguadaña a ras del suelo. Se demarcaron 12 parcelas experimentales de 2 m x 4 m, para evaluar la influencia del biol y del biosol sobre la producción del pasto nicarion, en bloques al azar, por triplicado con testigo. A tres parcelas se aplicó biol puro (A1, A2 y A3), a otras tres parcelas se aplicó biosol puro (B1, B2 y B3) y al otro grupo de tres parcelas se aplicó una mezcla 1:1 de biol y biosol (A1B1, A2B2 y A3B3); una vez por semana, durante siete semanas, desde el inicio en que se cortó el remanente del pasto a ras de suelo, hasta una semana antes del corte. A cada parcela se aplicó 2 litros de bioabono; el biol se aplicó con mochila de fumigar; mientras que el biosol y la mezcla biol+biosol se aplicó regando la parcela con una jarra.

V. RESULTADOS

5.1. Instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos

Se empleó el esquema mostrado en la Figura 3, para instalar el sistema de producción de biogas y bioabonos, en la infraestructura construida en el Fundo Palmeras. La secuencia de instalación se muestra en las Figuras 8 a la 12.



Figura 8. Instalación del biodigestor a la poza de carga o alimentación y fijación del tubo con “diablo” (mezcla 1:1 de cemento con yeso) que fragua rápidamente.



Figura 9. Colocación de la llave de paso de 2” con reducción de 4” a 2” para salida de biosol y fijación del tubo con “diablo”.



Figura 10. Biodigestor en la poza y colocación de la llave para salida de biogas.



Figura 11. Instalación del biodigestor a la tubería de fondo para salida de biosol y a la poza para salida de biol. Los tubos se fijaron con “diablo”.



Figura 12. Tarima cubierta con tecnopor sobre la que se instaló el gasómetro.

5.2. Tablero de purificación y control del biogas

Cartucho para eliminar el H₂S

El biogas contiene sulfuro de hidrógeno (H₂S) que le da olor a desagüe, por lo que se lo elimina haciendo pasar el flujo de biogas por un cartucho relleno con viruta, esponja o clavos de hierro. La reacción química que se produce es: $\text{H}_2\text{S} + \text{Fe} \longrightarrow \text{FeS} + \text{H}_2$. El sulfuro ferroso (FeS) queda adherido al hierro dentro del cartucho y el hidrógeno (H₂) producido se incorpora al flujo de biogas (Barrena *et al.*, 2013).

En base a lo propuesto por Barrena *et al.* (2013), cada cartucho 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 y se le pegó una reducción de PVC 2" a 1/2" con rosca, 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" con rosca. Se hicieron dos cartuchos de este tipo, que se conectaron con accesorios de PVC de 1/2" como se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Elaboración de componentes del tablero de purificación y control del biogas.

Válvula de seguridad

Se ubicó a continuación de los cartuchos para eliminar el H_2S . Sirve para prefijar la presión de todo el sistema de producción de biogas, que funciona también como una trampa para evitar que una posible llama se propague por la tubería de conducción. De la tubería que conduce el biogas, mediante una te de $\frac{1}{2}$ " se sacó una ramificación de 30 cm de largo, con ranuras cada centímetro hechas con una hoja de sierra, en un tramo de 15 cm desde su extremo libre. En una botella descartable de gaseosa de 1,5 L, con cuatro agujeros de 1 cm de diámetro a la altura de su hombro y $\frac{3}{4}$ de su volumen con agua, se introdujo la ramificación. La botella se amarró de su cuello y se colgó del techo que protege el biodigestor, de manera que quede 15 cm de la ramificación bajo el nivel del agua en la botella. Cuando la presión del biogas en todo el sistema supere los 15 cm de agua, empezará a burbujear en el agua de la botella y saldrá por los agujeros hechos en su parte superior hacia el medio ambiente, manteniendo como límite máximo 15 cm de agua de presión de operación del sistema.



Figura 14. El tesista Franklin Cubas, los propietarios del Fundo Palmeras Pepe Goñas y Marilú Chávez, los estudiantes Perci Salazar y Henry Carrasco, el Dr. Barrena; al pie del tablero de purificación y control de biogas conectado al biodigestor (a la izquierda) y al gasómetro (a la derecha).

Manómetro

Se ubicó a continuación de la válvula de seguridad. Se emplea para medir la presión del sistema de producción de biogas en cualquier momento. De la tubería que conduce el biogas, mediante una te de $\frac{1}{2}$ " se sacó una ramificación, se colocó una llave de paso de $\frac{1}{2}$ " con una reducción a $\frac{1}{4}$ " para conectar a una manguera de plástico de $\frac{1}{4}$ " x 1 m doblada en U, fijada sobre el tablero como se muestra en la Figura 14. Las ramas del manómetro se llenaron hasta la mitad de su altura con agua, por lo que la presión del sistema se expresa en cm de agua.

Conducción del biogas

El biogas producido en el biodigestor se conduce por tubería pesada de PVC de $\frac{1}{2}$ ", hasta el tablero de purificación y control y de allí al gasómetro para su almacenamiento, desde donde se conduce a la cocina también con tubería y accesorios del mismo tipo.

5.3. Carga del biodigestor

El biodigestor se cargó hasta su volumen de trabajo de 9000 litros, con la mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5, preparada por lotes en un cilindro de polietileno de 140 litros, por lo que se requirieron 75 cilindros de esta mezcla. Cada lote se preparó en el cilindro empleando un balde de 20 litros lleno de estiércol fresco, recolectado del piso del cobertizo de ordeño, añadiendo cinco baldes de agua de 20 L cada uno. Esta mezcla se agitó bien para uniformizarla y enseguida se vertió en la poza de carga del biodigestor.



Figura 15. Mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5 (1 balde de estiércol de 20 L con 5 baldes iguales de agua), preparada en un cilindro de 140 L; para cargar el biodigestor.



Figura 16. El nivel hasta donde se cargó el biodigestor debe cubrir la boca del tubo en ambas pozas (de carga y descarga). Conforme se va cargando el biodigestor, se lo debe ir jalando hacia arriba y a todo lo largo para que se despliegue y se llene uniforme.

5.4. Tiempo de retención hidráulico

Al cabo de 29 días de haber sido cargado el biodigestor hasta su volumen de trabajo con la mezcla estiércol:agua en la proporción de 1:5, tuvo su cúpula llena de biogas, por lo que su tiempo de retención hidráulico (TRH) ha sido de 29 días a una temperatura ambiente promedio de 14,4 °C (Tabla 1). Se procedió a trasvasar el biogas del biodigestor al gasómetro que tiene forma de almohada y enseguida se midió la presión del sistema empleando la válvula de seguridad, siendo su valor de 12 cm de agua. Con la válvula de seguridad se estableció como presión máxima del sistema 15 cm de agua debido a que la geomembrana de la cual está hecho el biodigestor es de 1,00 mm de espesor.

Tabla 1. Datos diarios de temperatura ambiente registrados tres veces al día en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Región Amazonas.

Día	Temperatura °C		
	06:00 am	12:00 m	06:00 pm
1	12	16	14
2	11	16	14
3	12	16	15
4	11	18	16
5	12	16	14
6	12	20	16
7	12	18	15
8	12	20	14
9	11	20	15
10	11	22	16
11	11	20	14
12	10	16	14
13	10	18	16
14	11	17	16
15	11	17	15
16	11	19	16
17	10	16	15
18	10	18	15
19	11	17	16
20	10	15	15
21	11	16	15
22	10	17	15
23	10	17	14
24	11	16	13
25	11	17	14
26	11	18	15
27	10	17	14
28	11	18	14
29	10	16	15
29 días	promedio 10,9°C	promedio 17,5°C	promedio 14,8°C



Figura 17. Trasvase de biogas del biodigestor al gasómetro.

Según lo recomendado por Barrena *et al.* (2013), para que el biol sean de calidad, debe estar dentro del biodigestor un mínimo de 25 días. Para la presente investigación se estableció una retención hidráulica de 35 días, entonces $9000 \text{ L}/35 \text{ días} = 257 \text{ L}$ de alimentación diaria para mantener la producción de biogas. Se preparó la alimentación del biodigestor que es la mezcla estiércol:agua en la proporción de 1:5, empleando un balde de 20 L de estiércol fresco mezclado con 5 baldes de 20 L de agua, en un cilindro de 140 L, la que se agitó bien con una vara para uniformizarla y enseguida se vertió a la poza de carga del biodigestor. Son necesarios dos cilindros iguales para completar la alimentación diaria (240 L) del biodigestor.



Figura 18. Alimentación del biodigestor.

5.5. Rendimiento del biogas como combustible para cocina

Se procedió a realizar la prueba de combustión del biogas en la cocina, para lo que se desconectó el gasómetro de la tubería de conducción de biogas y se lo trasladó a la vivienda del Fundo Palmeras, donde se lo conectó con una manguera a la cocina. Para la evaluación se mezcló 5 L de leche con 1 kg de azúcar, se lo colocó en una olla de acero inoxidable y se lo puso sobre la hornilla de la cocina para que hierva. Se apreció que la llama del biogas al combustionar en la hornilla fue azul claro, no produce tizne, humos ni olores. La leche endulzada requirió de 45 minutos para empezar a hervir.



Figura 19. Prueba de combustión del biogas en la cocina para hervir leche endulzada.



Figura 20. Instalación de gasómetro adicional en el ambiente de la cocina.

Se determinó el tiempo promedio para la preparación de los alimentos usuales diarios de la familia del Fundo Palmeras, y el volumen de biogas promedio necesario; lo que se reporta en la Tabla 2. Se tuvo un consumo promedio de 2820 L de biogas en un tiempo de 4,13 horas de funcionamiento de la cocina a biogas.

Tabla 2. Rendimiento del biogas como combustible para preparar alimentos en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Región Amazonas.

Tipos de alimento	Cantidad de alimento	Biogas necesario (litros)	Tiempo (minutos)
Mermelada de pepino	2 kg de pulpa con 700 g de azúcar	1260	105
Guiso de pollo con olluco	700 g de pollo con 1kg de olluco	670	50
Arroz	½ kg de arroz	290	30
Leche	5 litros se pasteurizó a 75°C	280	30
Agua	3 litros	170	18
Camotes fritos	½ kg de camote	90	11
Huevos fritos	4 huevos	60	4
Total		2820	248 = 4,13 h



Figura 21. Preparación de mermelada de pepino en la cocina a biogas.



Figura 22. Alimentos preparados en la cocina a biogas.

5.6. Influencia del biol y biosol sobre la producción de los pastos

Luego de alimentar el biodigestor cada día, se retiró igual volumen (240 L) de biol con un balde de la poza de salida de biol para aplicarlo al suelo de los cultivos como abono orgánico, o a su follaje como abono foliar.



Figura 23. Retiro de biol de la poza de salida de biol del biodigestor.

Se retiró biosol a través de la llave de paso de 2" para salida de lodos de fondo del biodigestor. Este bioabono se aplicó directamente al suelo de los cultivos. La influencia de los bioabonos, producidos junto con el biogas, se evaluó en el Fundo Palmeras, en 12 parcelas de 2 m x 4 m de pasto nicarion para el ganado.



Figura 24. Retiro de biosol del biodigestor.



Figura 25. Letreros para cada una de las parcelas experimentales. A: biol, B: biosol y AB: mezcla de biol y biosol, T: testigo.



Figura 26. Extracción, dosificación y aplicación de biol a las parcelas tipo A.



Figura 27. Extracción, dosificación y aplicación con jarra de biosol a las parcelas tipo B.



Figura 28. Mezcla, dosificación y aplicación con jarra de la mezcla biol+biosol a las parcelas tipo AB.



Figura 29. Parcelas de pasto al inicio y a las tres semanas del tratamiento.



Figura 30. Altura del pasto a las cinco semanas de aplicación de biol, biosol y mezcla biol+biosol, a las parcelas de pastos.

Una vez por semana, durante siete semanas, desde el inicio en que se cortó el remanente del pasto a ras de suelo, hasta una semana antes del corte, a cada parcela se aplicó 2 litros de bioabono. El biol se aplicó con mochila de fumigar; mientras que el biosol y la mezcla biol+biosol se aplicó regándolos en la parcela con una jarra. La primera aplicación se hizo el 07 de julio y la primera medición de altura del pasto se hizo el 19 de julio de 2017.

En base a los datos mostrados en la Tabla 3, los pastos que fueron abonados con biosol han crecido casi el doble que el testigo; y de manera general, los bioabonos han favorecido el desarrollo de los pastos un 50% más comparado con los testigos que no recibieron tratamiento con bioabonos.

Tabla 3. Altura de plantas de pasto *Nicarion* medidas cada 15 días hasta completar dos meses. T: testigo, A: Biol, B: Biosol, AB: biol + biosol.

Tratamiento	Parcela	Altura 1 (cm) (19/07/17)	Altura 2 (cm) (02/08/17)	Altura 3 (cm) (17/08/17)	Altura 4 (cm) (01/09/17)
Testigo	T1	16	25	32	40
	T2	17	25	30	40
	T3	14	18	26	31
	Promedio	15,67	22,67	29,33	37,00
Biol	A1	33	45	60	70
	A2	45	57	65	70
	A3	40	55	67	69
	Promedio	39,33	52,33	64,00	69,67
Biosol	B1	33	40	50	58
	B2	44	54	67	80
	B3	40	47	66	73
	Promedio	39,00	47,00	61,00	70,33
Biol + Biosol (1:1)	A1B1	45	54	62	70
	A2B2	25	38	45	52
	A3B3	27	40	50	58
	Promedio	32,33	44,00	52,33	60,00

De cada parcela se cortó el pasto contenido en 1 m². El pasto recién cortado fue pesado para determinar el peso fresco y se puso a secar a la sombra durante una semana (Figura 31), en que se determinó su peso seco, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.



Figura 31. Secado del pasto a la sombra.



Figura 32. Pesado del pasto seco de cada parcela experimental.

Tabla 4. Altura final del pasto Nicarion, peso fresco al momento del corte y peso seco.

T: testigo, A: Biol, B: Biosol, AB: biol + biosol.

Tratamiento	Parcela	Altura final al momento del corte a los dos meses (cm)	Peso fresco primera muestra (g)	Peso seco primera muestra (g)	Peso fresco segunda muestra (g)	Peso seco segunda muestra (g)
Testigo	T1	40	250	60	550	130
	T2	40	700	125	900	200
	T3	31	100	25	550	150
	Promedio	37,00	350,00	70,00	666,67	160,00
Biol	A1	70	1000	200	2000	450
	A2	70	1750	400	1900	500
	A3	69	1300	400	1400	300
	Promedio	69,67	1350,0	333,33	1766,67	416,67
Biosol	B1	58	1300	250	1500	300
	B2	80	3700	900	2100	400
	B3	73	1900	500	2900	700
	Promedio	70,33	2300,0	550,00	2166,67	466,67
Biol + Biosol (1:1)	A1B1	70	1400	300	1900	200
	A2B2	52	1450	500	1650	500
	A3B3	58	1400	350	1400	350
	Promedio	60,00	1416,7	383,33	1650,00	350,00

Las variaciones del peso fresco en parcelas cuyas plantas de pasto alcanzaron alturas iguales o similares se debe a que hubo mayor número de plantas, porque las parcelas de

pasto ya estaban instaladas y no fueron resembradas. Debido a la variación de la cobertura vegetal en cada parcela experimental, se tomaron dos muestras de pasto, cada una contenida en 1 m² de cada parcela. La evaluación se hizo en esas condiciones porque los propietarios del Fundo Palmeras tenían interés en verificar si los bioabonos podían incrementar la producción de los pastos que ya tenían instalados.

De la Tabla 4, el biosol además de favorecer el mayor crecimiento de los pastos también incrementa el peso seco, en consecuencia mayor cantidad de alimento para el ganado. El análisis estadístico con Statistix 8.0 de los datos experimentales del crecimiento del pasto, del peso fresco y del peso seco se presenta en el Anexo 1 de la presente investigación.

En la primera evaluación de altura de planta, los tratamientos presentan diferencias significativas, siendo los tratamientos 2 (biol) y 3 (biosol) los que generan una mayor altura y son mayores al testigo. En la segunda, tercera y cuarta evaluación de altura de planta, los tratamientos presentan diferencias altamente significativas, observándose que todos los tratamientos se comportan de la misma manera y superan al testigo.

Para el Peso Fresco 1 (PF1: primera muestra) no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos a un nivel de significancia de 0,05, aunque es conveniente hacer notar, que la probabilidad encontrada es aproximadamente igual a 0,05, lo que conduce a pensar que los tratamientos presentan alguna diferencia, en este sentido, se observa que el tratamiento 3 (biosol) es el que genera valores mayores de peso fresco. Para el Peso Fresco 2 (PF2: segunda muestra) hay diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 3 (biosol) el que conduce a mayores valores de peso fresco.

El coeficiente de variación obtenido para los valores de altura 1, 2, 3 y 4; y para el peso fresco 2, son inferiores a 35 %, por lo que los resultados arrojados por las pruebas estadísticas son confiables. El análisis de varianza evidencia la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos estudiados, con respecto a la primera evaluación de peso seco (g) y al aplicar la prueba de comparaciones múltiples para la discriminación de medias, encontramos que el tratamiento 3 (biosol) presenta un valor promedio de peso seco (g) que supera con significancia del 5 % a los valores arrojados por los otros tratamientos. En cuanto a la segunda evaluación de peso seco (g) no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, por lo que se concluye que se comportan de la misma manera.

VI. DISCUSIÓN

Se implementó un sistema de producción de biogas y bioabonos en el Fundo Palmeras, Sector Puma Hermana, Distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas; en el que se procesa el estiércol de las vacas ordeñadas en el cobertizo, convirtiéndose este sistema en un centro de captura de carbono en forma de metano que es un gas de efecto invernadero (GEI), con lo que se evita que se emita al medio ambiente. El biogas contiene entre 40 a 70%(v/v) de metano (Cepero *et al.*, 2013) por lo que al usarse el biogas como combustible en la cocina, el metano se combustiona y cada una de sus moléculas produce una sola molécula de CO₂, con lo que se reduce en 25 veces su poder de GEI, en base a lo mencionado por Silva *et al.* (2013). De otro lado, los bioabonos (biol y biosol) al ser aplicados a los cultivos y al suelo permiten hacer reciclaje de nutrientes. Esto contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria del Fundo Palmeras, pues ya no requerirán de gas propano ni de leña para preparar los alimentos de la familia y los bioabonos incrementarán la producción de los pastos, que a su vez permitirá incrementar el número de cabezas de ganado por hectárea.

El tiempo de retención hidráulico del sistema de producción de biogas y bioabonos instalado en el Fundo Palmeras fue de 29 días, habiéndose registrado una temperatura promedio en el día de 14,4 °C, con algunos picos de 22 °C y un promedio de 17,5°C al medio día. A las paredes interiores de la poza del biodigestor se les puso plancha de tecnopor de 1” como aislante térmico y el biodigestor se cubrió con una manta de polipropileno para que no pierda el calor generado por la fermentación. En la ecuación $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,394$; que modela el tiempo de retención hidráulico (TRH: días) para la producción de biogas en función de la temperatura (T: °C) ambiente, con un ajuste $R^2 = 0,924$, establecida por Barrena *et al.* (2013); con la temperatura promedio del día de 17,5 °C se tendrá un TRH de 32,44 días y con la temperatura promedio de 14,4 °C de tendrá un TRH de 41,15 días. En consecuencia, los picos de temperatura, el aislamiento térmico de la poza del biodigestor y su cobertura han ayudado para que el TRH sea menor al que se puede predecir con la ecuación mencionada.

El biogas contiene 0,1 %(v/v) de H₂S (Cepero *et al.*, 2013), suficiente para que en el ambiente se detecte rápidamente su característico olor a huevos podridos; además, este ácido causa corrosión en los componentes metálicos de la cocina a biogas. Por ambos motivos, se lo debe retirar del biogas. El tablero de purificación y control de biogas

cumple adecuadamente su función, puesto que el biogas que llega a la cocina carece de olor, evidenciando que el H₂S ha sido eliminado por reacción con los clavos de fierro contenidos en los dos cartuchos de este tablero.

Para mantener la producción diaria de biogas, se debe alimentar el biodigestor con un promedio de 200 litros de mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5, puesto que el biodigestor es de 12 m³ de volumen total y tiene 9 m³ de volumen de trabajo que es ocupado por la mezcla estiércol:agua, de esta manera se incrementa el tiempo de retención hidráulico a 45 días para asegurar que el biol será de mejor calidad fertilizante como la manifiesta Barrena *et al.* (2013). Con ello también se garantiza que se dispondrá diariamente de biogas suficiente para la preparación de los alimentos de la familia como se ha demostrado en la presente investigación puesto que de los 5 mil litros de biogas almacenados en la cúpula del biodigestor y en el gasómetro se ha empleado aproximadamente 2820 L, para que la cocina a biogas de dos hornillas funcione durante 4,13 h para la preparación de los alimentos, y en simultáneo se producen los bioabonos para aplicar a los cultivos, tiempo de funcionamiento similar a los obtenidos en la evaluación de biogas como combustible por Chauca (2010) y Julca (2013). La aplicación de la tecnología del biogas evita la deforestación para leña y permite la captura del metano producido por la descomposición del estiércol del ganado (Steinfeld *et al.*, 2006) que al ser combustionado en la cocina se reduce su poder de gas de efecto invernadero. El biogas y los bioabonos contribuyen a reducir la dependencia de insumos externos y propician la sostenibilidad de la actividad agropecuaria. Además, como lo manifiesta Hristov (2013), este tipo de biodigestor contribuye a reducir las emisiones de GEI cuando se comparan con las viviendas que no cuentan con biodigestores para producir biogas.

Con respecto a la primera evaluación de altura de planta del pasto nicarion los tratamientos presentan diferencias significativas, siendo los tratamientos 2 (biol) y 3 (biosol) los que generaron una mayor altura y por ende las alturas alcanzadas son mayores al testigo. En la segunda, tercera y cuarta evaluación de altura de planta, los tratamientos presentan diferencias altamente significativas, observándose que todos los tratamientos se comportan de la misma manera y superan al testigo.

En cuanto al Peso Fresco 1 (PF1: primera muestra) no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos a un nivel de significancia de 0,05, aunque es conveniente hacer notar, que la probabilidad encontrada es aproximadamente igual a 0,05,

lo que conduce a pensar que los tratamientos presentan alguna diferencia, en este sentido, se observa que el tratamiento 3 (biosol) es el que genera valores mayores de peso fresco. Para el Peso Fresco 2 (PF2: segunda muestra) se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 3 (biosol) el que conduce a mayores valores de peso fresco.

El coeficiente de variación obtenido para los valores de altura 1, 2, 3 y 4; y para el peso fresco 2, son inferiores a 35 %, por lo que los resultados arrojados por las pruebas estadísticas son confiables. El análisis de varianza evidencia la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos estudiados, con respecto a la primera evaluación de peso seco (g) y al aplicar la prueba de comparaciones múltiples para la discriminación de medias, encontramos que el tratamiento 3 (biosol) presenta un valor promedio de peso seco (g) que supera con significancia del 5 % a los valores arrojados por los otros tratamientos. En cuanto a la segunda evaluación de peso seco (g) no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, por lo que se concluye que se comportan de la misma manera.

Se ha evidenciado que los bioabonos (biol y biosol) aportan nutrientes al suelo de los cultivos para incrementar su rendimiento, siendo los resultados similares a los obtenidos por Chauca (2010) en parcelas experimentales de alfalfa a las que aplicó biol y biosol por separado o en mezcla, en Santo Tomás, Región Amazonas; cuyo tratamiento 2 (T2: sólo aplicó biosol) favoreció el crecimiento del tallo de la alfalfa, superando al testigo (T); además, encontró que el biol ha propiciado la producción de más follaje en la alfalfa, en base a que el T3 (biol + biosol) y el T1 (biol) han producido más peso de alfalfa al momento del corte (más tallos/m²) que el T2 (biosol) que es el tratamiento que produjo los tallos más altos; concluyendo que el biol también ha influido en la mayor producción de materia seca en la alfalfa y en el mayor desarrollo de su raíz, lo cual le permitirá una mayor absorción de nutrientes para un mejor desarrollo vegetativo.

VII. CONCLUSIONES

- ✓ El biodigestor tubular de geomembrana de PVC, tiene 10 m de largo y 1,27 m de diámetro, que hacen un volumen total de 12 m³, con 9 m³ de volumen de trabajo, es del tipo adecuado para procesar el estiércol de las vacas criadas al pastoreo pero que son ordeñadas en un cobertizo, de donde se recolecta el estiércol.
- ✓ El biodigestor tubular de 12 m³ produce suficiente biogas (2 800 L/día) para la preparación de los alimentos de la familia, evitando que deforesten para leña; además, captura metano que al ser empleado como combustible se reduce en 25 veces su poder de gas de efecto invernadero.
- ✓ El aislamiento térmico de la poza del biodigestor evita que se enfríe, lo cual favorece la actividad microbiana para convertir la materia orgánica (estiércol) en biogas.
- ✓ Las parcelas experimentales a las que se aplicó biol (T2) y biosol (T3) son las que tuvieron mayor crecimiento del tallo de sus pastos superando en casi el doble del tamaño al testigo. El biosol favoreció la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco de los pastos evaluados.
- ✓ La alimentación diaria del biodigestor con 200 litros de mezcla estiércol:agua en la proporción de 1:5, garantiza la producción diaria de biogas y de 200 litros de bioabonos. Estos dos productos justifican la inversión realizada y con el ahorro por no comprar gas propano para cocinar y fertilizantes minerales, se puede recuperar la inversión que se realice para contar con un sistema de producción de biogas y bioabonos.

VIII.RECOMENDACIONES

- ✓ Coordinar con los propietarios del Fundo Palmeras para realizar la difusión de la tecnología del biogas y los bioabonos, empleando el sistema instalado como una escuela de campo.
- ✓ Emplear materiales disponibles en la zona para reducir los gastos de instalación de un sistema de producción de biogas y bioabonos.
- ✓ Realizar otros trabajos de investigación con equipos multidisciplinarios para incrementar los conocimientos sobre la producción, caracterización y las aplicaciones del biogas y los bioabonos, para generar tecnologías adecuadas para la Región Amazonas.

XI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arce, J. (2011). *Diseño de un biodigestor para generar biogas y bioabono a partir de desechos organicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral*. Tesis para obtener título de Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil . Guayaquil, Ecuador.

Barrena, M.; Taramona, L.; Gamarra, O. & Choy, M. (2013). *Biodigestores tubulares para la producción de biogas*. Lima, Perú: Gráfica DAVISIA E.I.R.L.

Cepero, L.; Savran, Valentina; Blanco, D.; Díaz Piñón, M.R.; Suárez, J. y Palacios, A. (2012). Producción de biogas y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 35(2) Matanzas abr.-jun. 2012. Versión ISSN 0864-0394. Recuperado el 05 marzo 2016, desde http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200009&lng=es&nrm=iso.

Chauca, N. (2010). *Propuesta para manejo sustentable de la ganadería en Santo Tomás - Región Amazonas*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Amazonas, Perú.

Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013). *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂*. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177. FAO, Roma, Italia.

INEI. (2007). *Censos Nacionales del Perú. XI de población y VI de vivienda*. Lima: INEI.

Julca, J. (2013). *Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en el distrito de providencia, Luya - Amazonas*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Amazonas, Perú.

Martínez, M. (2015). Producción potencial de biogas empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 7(3), 96-115.

MINAGRI. (2011). *Biodigestores en el Perú*. Lima: MINAGRI.

Oliva, M.; Collazos, R.; Goñas, M.; Bacalla, E.; Vigo, C.; Vásquez, H. y Maicelo, J. (2014). Efecto de los sistemas de producción sobre las características físico-químicas de los suelos del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas. *INDES*, 2(1), 44-52.

Salazar, J.; Amusquivar, C.; Llave, J. & Rivasplata, C. (2012). Producción de biogas y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad de Tacna. *XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XIX SPES)*, 11(2012), 14-17.

Silva, A.; Gómez, A.; Landazuri, B. & Preciado, B. (2013). Evaluación de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas ganaderos asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 6(1), 36-43.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan Cees, D.E. (2006). *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, 493 p.

Toala, E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el Rancho Verónica*. Tesis para obtener título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DE ALTURA, PESO FRESCO Y PESO SECO DEL PASTO

ALTURA (4) Y PESO FRESCO (2) MATRIZ DE DATOS

1	1	14	18	26	31	100	550
1	2	16	25	32	40	250	550
1	3	17	25	30	40	700	900
2	1	33	45	60	70	1000	2000
2	2	45	57	65	70	1750	1900
2	3	40	55	67	69	1300	1400
3	1	40	47	66	73	1900	2900
3	2	44	54	67	80	3700	2100
3	3	33	40	50	58	1300	1500
4	1	25	38	45	52	1450	1650
4	2	27	40	50	58	1400	1400
4	3	45	54	62	70	1400	1900

Tratamiento 1: Testigo

Tratamiento 2: Biol

Tratamiento 3: Biosol

Tratamiento 4: Biol + Biosol

ANÁLISIS DE VARIANZA DE ALTURA DE PLANTA

Statistix 8.0

Randomized Complete Block AOV Table for ALTURA1

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	78.17	39.083		
TRAT	3	1106.92	368.972	7.29	0.0200
Error	6	303.83	50.639		
Total	11	1488.92			

Grand Mean 31.583 CV 22.53

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0.584	0.5842	0.01	0.9256
Remainder	5	303.249	60.6498		

Relative Efficiency, RCB 0.91

Means of ALTURA1 for TRAT

TRAT Mean

- 1 15.667
- 2 39.333
- 3 39.000
- 4 32.333

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 4.1085
Std Error (Diff of 2 Means) 5.8103

Randomized Complete Block AOV Table for ALTURA2

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	122.00	61.000		
TRAT	3	1525.67	508.556	12.54	0.0054
Error	6	243.33	40.556		
Total	11	1891.00			

Grand Mean 41.500 CV 15.35

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0.233	0.2334	0.00	0.9474
Remainder	5	243.100	48.6200		

Relative Efficiency, RCB 1.04

Means of ALTURA2 for TRAT

TRAT Mean

1 22.667
2 52.333
3 47.000
4 44.000

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 3.6768
Std Error (Diff of 2 Means) 5.1997

Randomized Complete Block AOV Table for ALTURA3

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	38.17	19.083		
TRAT	3	2215.33	738.444	12.99	0.0049
Error	6	341.17	56.861		
Total	11	2594.67			

Grand Mean 51.667 CV 14.59

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	5.212	5.2122	0.08	0.7918
Remainder	5	335.954	67.1909		

Relative Efficiency, RCB 0.84

Means of ALTURA3 for TRAT

TRAT Mean

1 29.333
2 64.000
3 61.000
4 52.333

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 4.3536
Std Error (Diff of 2 Means) 6.1569

Randomized Complete Block AOV Table for ALTURA4

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	60.50	30.250		
TRAT	3	2180.92	726.972	10.51	0.0084
Error	6	414.83	69.139		
Total	11	2656.25			

Grand Mean 59.250 CV 14.03

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	9.604	9.6038	0.12	0.7447
Remainder	5	405.230	81.0459		

Relative Efficiency, RCB 0.85

Means of ALTURA4 for TRAT

TRAT Mean

- 1 37.000
- 2 69.667
- 3 70.333
- 4 60.000

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 4.8007
Std Error (Diff of 2 Means) 6.7892

ANÁLISIS DE VARIANZA DE PESO FRESCO DEL PASTO

Randomized Complete Block AOV Table for PF1

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1070417	535208		
TRAT	3	5720625	1906875	4.52	0.0554
Error	6	2531250	421875		
Total	11	9322292			

Grand Mean 1354.2 CV 47.96

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	1452277	1452277	6.73	0.0486
Remainder	5	1078973	215795		

Relative Efficiency, RCB 1.00

Means of PF1 for TRAT

TRAT Mean

- 1 350.0
- 2 1350.0
- 3 2300.0
- 4 1416.7

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 375.00
Std Error (Diff of 2 Means) 530.33

Randomized Complete Block AOV Table for PF2

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	278750	139375		
TRAT	3	3650625	1216875	6.51	0.0257
Error	6	1121250	186875		
Total	11	5050625			

Grand Mean 1562.5 CV 27.67

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	533359	533359	4.54	0.0864
Remainder	5	587891	117578		

Relative Efficiency, RCB 0.91

Means of PF2 for TRAT

TRAT Mean

- 1 666.7
- 2 1766.7
- 3 2166.7
- 4 1650.0

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 249.58
Std Error (Diff of 2 Means) 352.96

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS PARA LA ALTURA DE PLANTA

Statistix 8.0

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALTURA1 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

- 2 39.333 A
- 3 39.000 A
- 4 32.333 AB
- 1 15.667 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.8103
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 20.121
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALTURA2 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

2 52.333 A
3 47.000 A
4 44.000 A
1 22.667 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.1997
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 18.007
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALTURA3 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

2 64.000 A
3 61.000 A
4 52.333 A
1 29.333 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.1569
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 21.321
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALTURA4 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

3 70.333 A
2 69.667 A
4 60.000 AB
1 37.000 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.7892
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 23.511
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

**PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS PARA
PESO FRESCO DEL PASTO**

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PF1 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

3 2300.0 A
4 1416.7 AB
2 1350.0 AB
1 350.0 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 530.33
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 1836.5
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PF2 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

3 2166.7 A
2 1766.7 AB
4 1650.0 AB
1 666.7 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 352.96
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 1222.3
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

RESUMEN RESULTADOS

VARIABLE	ANÁLISIS DE VARIANZA		COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV %)	PRUEBA DE MEDIAS (TRATAMIENTO (S) MAYOR PROMEDIO)
	<i>F</i>	<i>P</i>		
Altura 1	7.29 *	0.0200	22.53	2 y 3
Altura 2	12.54 **	0.0054	15.35	2, 3 y 4
Altura 3	12.99 **	0.0049	14.59	2, 3 y 4
Altura 4	10.51 **	0.0084	14.03	3 y 2
Peso fresco 1	4.52 ns	0.0554	47.96	3
Peso fresco 2	6.51 *	0.0257	27.67	3

ns: No significativo ($P > 0.05$)

*: Significativo ($P < 0.05$)

** : Altamente significativo ($P < 0.01$)

Tratamiento 1: Testigo

Tratamiento 2: Biol

Tratamiento 3: Biosol

Tratamiento 4: Biol + Biosol

COMENTARIOS con respecto a la altura de planta

Con respecto a la primera evaluación de altura de planta, los tratamientos presentan diferencias significativas, siendo los tratamientos 2 y 3 los que generan una mayor altura y por ende las alturas generadas son mayores al testigo.

Con respecto a la segunda, tercera y cuarta evaluación de altura de planta, los tratamientos presentan diferencias altamente significativas, observándose que todos los tratamientos se comportan de la misma manera y superan al testigo.

En cuanto al Peso Fresco 1 (PF 1) no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos a un nivel de significancia de 0.05, aunque es conveniente hacer notar, que la probabilidad encontrada es aproximadamente igual a 0.05, lo que conduce a pensar que los tratamientos presentan alguna diferencia, en este sentido, se observa que el tratamiento 3 es el que genera valores mayores de peso fresco.

En cuanto al Peso Fresco 2 (PF 2) se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 3 el que conduce a mayores valores de peso fresco.

El coeficiente de variación obtenido para los valores de altura 1, 2, 3 y 4; y para el peso fresco 2, son inferiores a 35 %, lo que conduce a pensar que los resultados arrojados por las pruebas estadísticas son confiables.

PESO SECO

MATRIZ DE DATOS

1	1	60
1	2	130
1	3	125
1	4	200
1	5	25
1	6	150
2	1	200
2	2	450
2	3	400
2	4	500
2	5	400
2	6	300
3	1	250
3	2	300
3	3	900
3	4	400
3	5	500
3	6	700
4	1	300
4	2	200
4	3	500
4	4	500
4	5	350
4	6	350

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO

Statistix 8.0

Randomized Complete Block AOV Table for PS1

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	156829	78415		
TRAT	3	356358	118786	6.38	0.0269
Error	6	111654	18609		
Total	11	624842			

Grand Mean 334.17 CV 40.82

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	73654.8	73654.8	9.69	0.0265
Remainder	5	37999.4	7599.9		

Relative Efficiency, RCB 1.51

Means of PS1 for TRAT

TRAT Mean

- 1 70.00
- 2 333.33
- 3 550.00
- 4 383.33

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 78.759
Std Error (Diff of 2 Means) 111.38

Randomized Complete Block AOV Table for PS2

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	38067	19033.3		
TRAT	3	162433	54144.4	2.76	0.1344
Error	6	117867	19644.4		
Total	11	318367			

Grand Mean 348.33 CV 40.24

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	2050	2049.8	0.09	0.7781
Remainder	5	115817	23163.4		

Relative Efficiency, RCB 0.95

Means of PS2 for TRAT

TRAT Mean

1 160.00
2 416.67
3 466.67
4 350.00

Observations per Mean 3
Standard Error of a Mean 80.921
Std Error (Diff of 2 Means) 114.44

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS DE PESO SECO DE PASTO

Statistix 8.0

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PS1 for TRAT

TRAT Mean Homogeneous Groups

3 550.00 A
4 383.33 AB
2 333.33 AB
1 70.00 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 111.38
Critical Q Value 4.897 Critical Value for Comparison 385.72
Error term used: REP*TRAT, 6 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

RESUMEN RESULTADOS

VARIABLE	ANÁLISIS DE VARIANZA		COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV %)	PRUEBA DE MEDIAS (TRATAMIENTO (S) MAYOR PROMEDIO)
	F	P		
Peso seco 1	6.38 *	0.0269	40.82	3
Peso seco 2	2.76 ns	0.1344	40.24	Igual

ns: No significativo ($P > 0.05$)

*: Significativo ($P < 0.05$)

** : Altamente significativo ($P < 0.01$)

Tratamiento 1: Testigo

Tratamiento 2: Biol

Tratamiento 3: Biosol

Tratamiento 4: Biol + Biosol

COMENTARIOS con respecto a peso seco del pasto

El análisis de varianza evidencia la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos estudiados, con respecto a la primera evaluación de peso seco (g) y al aplicar la prueba de comparaciones múltiples para la discriminación de medias, encontramos que el tratamiento 3 presenta un valor promedio de peso seco (g) que supera con significancia del 5 % a los valores arrojados por los otros tratamientos. En cuanto a la segunda evaluación de peso seco (g) no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, por lo que se concluye que se comportan de la misma manera.