



**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**

**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
MIGUEL NARANJOS, RIOJA, SAN MARTÍN.**

Autor: Bach. EBER BRONCANO GUEVARA

Asesor: Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por brindarme vida, salud y fuerzas para lograr mis metas trazadas.

A mis padres Esteban Broncano Jamanca y Carolina Guevara Samamé, que a través de estos años de formación profesional me brindaron apoyo incondicional e indesmayable, además de inculcarme valores y enseñanzas que casi nunca se fugan de mi rutina diaria.

A mis hermanos y familiares que siempre confiaron en mí y estuvieron ahí para alentarme y seguir adelante y hacer que mi sueño de ser profesional se haga realidad.

Eber.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme vida, salud y por darme suficiente sabiduría para hacer realidad un sueño infantil, que nació en busca de mejorar la calidad de vida personal y familiar.

A mi casa de estudios superiores, la UNTRM, que, a pesar de ser una Universidad joven, promueve la investigación en los futuros profesionales en busca del desarrollo sostenible a nivel local, nacional y mundial.

Al Proyecto “Creación 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 la asistencia técnica para la instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos empleado en 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.

A todos los Maestros, compañeros y amigos que de alguna u otra forma me ayudaron y formaron parte de mi formación profesional.

Eber.

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

**Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
RECTOR**

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**M.Sc. EDWIN ADOLFO DÍAZ ORTIZ
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El docente de la UNTRM, Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, que suscribe hace constar que ha asesorado la tesis titulada:

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 MIGUEL NARANJOS, RIOJA, SAN MARTÍN.

Realizada por el Bachiller en Ingeniería Ambiental: Eber Broncano Guevara. Habiendo revisado el informe final de la tesis mencionada doy la conformidad y el visto bueno para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndome a apoyar y supervisar el levantamiento de las observaciones correspondientes y en su sustentación.

Chachapoyas, 11 de octubre de 2019



Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

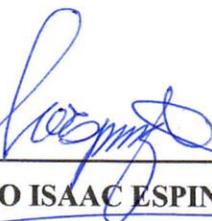
Asesor

JURADO EVALUADOR



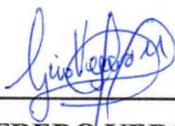
M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

Presidente



M.Sc. FERNANDO ISAAC ESPINOZA CANAZA

Secretario



M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA

Vocal



ANEXO 3-K

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

Yo EBER BRONCANO GUEVARA
identificado con DNI N° 45235208 Estudiante()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
INGENIERÍA AMBIENTAL de la Facultad de:
INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: BENEFICIOS DE LA PRODUCCION DE BIODIGÁS Y BIODABONOS USANDO ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO, PULPA DE CAFÉ Y AGUAS MIELES EN EL CENTRO POBLADO DE AGUAS VERDES, PARDO MIGUEL NARANJOS, RÍOSA, SAN MARTIN 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, 11 de OCTUBRE de 2019

Firma del(a) tesista



ANEXO 3-N

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

En la ciudad de Chachapoyas, el día 25 de OCTUBRE del año 2019, siendo las 9:00 horas, el aspirante BACH. EBER BRONCANO SUEVARA defiende en sesión pública la Tesis titulada: BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOABONOS USANDO ESTIÉRCOL DE SANADO VACUNO, PULPA DE CAFÉ Y AGUAS MIELES EN EL CENTRO POBLADO DE AGUAS VERDES, PARDO MIGUEL NARANJOS, RIOJA, SAN MARTÍN.

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 : M. SC. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ
Secretario : M. SC. FERNANDO ISAAC ESPINOZA CANAZA
Vocal : M. SC. BINO ALFREDO VERGARA MEDINA

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 10:55 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

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
DECLARACION JURADA DE NO PLAGIO.....	viii
ACTA DE EVALUACION DE SUSTENTACION DE TESIS.....	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS	21
2.1. Ubicación del lugar.....	21
2.2. Diseño de la investigación.....	22
2.3. Construcción del biodigestor	22
2.3.1. Poza para el biodigestor.....	23
2.3.2. Biodigestor	23
2.3.3. Gasómetro.....	25
2.3.4. Sistema de purificación del biogás	26
2.3.5. Sistema de control de presión de biogás.....	27
2.4. Carga del biodigestor.....	28
2.5. Tiempo de retención hidráulica (TRH) y volumen de biogás producido	29
2.6. Rendimiento del biogás como combustible para cocinar alimentos.....	30

2.7. Influencia del bioabono en la producción del pasto elefante (<i>Pennisetum flexispica</i> K. Schum).....	31
III. RESULTADOS	34
3.1. Tiempo de retención hidráulica y volumen de biogás producido.....	34
3.2. Rendimiento del biogás como combustible para cocinar alimentos.....	35
3.3. Influencia del bioabono en la producción de pasto elefante (<i>Pennisetum flexispica</i> K. Schum.).....	37
IV. DISCUSIÓN.....	41
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. RECOMENDACIONES.....	44
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura ambiente promedio en el Fundo Broncafé.....	34
Tabla 2. Rendimiento del biogás como combustible en cocina.....	36
Tabla 3. Promedio de altura del pasto elefante cada 21 días.	38
Tabla 4. Muestras de peso fresco y peso seco de pasto elefante.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Biogás: combustible ecológico.....	17
Figura 2. Mapa de ubicación del Fundo Broncafé donde se instaló el biodigestor.	21
Figura 3. Diseño de la investigación.....	22
Figura 4. Esquema de instalación del biodigestor	22
Figura 5. Poza para el biodigestor	23
Figura 6. Instalación del biodigestor en la poza	24
Figura 7. Tubo de carga o alimentación del biodigestor.....	24
Figura 8. Tubo de descarga del biodigestor (Salida de bioabonos).	25
Figura 9. Elaboración del gasómetro para biogás.....	25
Figura 10. Sistema para la purificación del biogás.....	26
Figura 11. Sistema de control de presión de biogás.	27
Figura 12. Preparación de la mezcla para cargar el biodigestor.	28
Figura 13. Carga de la mezcla al biodigestor	28
Figura 14. Biodigestor con cúpula llena de biogás y trasvase al gasómetro.	29
Figura 15. Biodigestor lleno de biogás en su cúpula y en el gasómetro.....	29
Figura 16. Alimentación del biodigestor.	30
Figura 17. Cocina de dos hornillas adaptada a biogás.	30
Figura 18. Corte del remanente de pasto elefante (<i>Pennisetum flexispica</i> K. Schum)..	31
Figura 19. Letreros para las parcelas experimentales.....	31
Figura 20. Retiro de bioabono del biodigestor.	32
Figura 21. Dosificación y aplicación del bioabono a las parcelas experimentales.....	32
Figura 22. Prueba de combustión del biogás en la cocina para preparar leche de soja.	35
Figura 23. Preparación de alimentos en la cocina a biogás.	36
Figura 24. Altura de pasto a las 3 semanas de tratamiento.....	37
Figura 25. Altura de planta a las 9 semanas de tratamiento.	37
Figura 26. Pesado del peso fresco de cada parcela experimental.	38
Figura 27. Secado del pasto bajo sombra.	39

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Fundo Broncafé, Centro Poblado Aguas Verdes, distrito Pardo Miguel, región San Martín. Se construyó un biodigestor de manga de polietileno de 5,67 m³, con 4,25 m³ de volumen de trabajo, para producir biogás y bioabonos y evaluar el rendimiento del biogás como combustible y la influencia de los bioabonos en la producción del pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K.Schum). El biodigestor procesó en anaerobiosis estiércol de bovino-agua en la proporción 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 carga del biodigestor. El tiempo de retención hidráulico fue de 20 días a temperatura ambiente promedio de 20,2 °C. El biogás producido satisface la demanda de combustible para la preparación diaria de los alimentos de los cinco integrantes de la familia. El bioabono se empleó como fertilizante orgánico para el pasto elefante en parcelas experimentales; aquellas que se les aplicó 6 L de bioabono (T4) tuvieron mayor crecimiento superando en 42,5 % al testigo, favoreciendo la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco del pasto evaluado. Este sistema permite reducir el impacto ambiental de la agricultura y la ganadería, ya que al producir biogás y emplearlo como combustible se reducirá los GEI emitidos a la atmósfera por la fermentación no controlada del estiércol, además de reducir la dependencia de abonos químicos al usar el bioabono como fertilizante orgánico para los suelos.

Palabras claves: fertilización orgánica, energía de la biomasa, captura de carbono.

ABSTRACT

This research was carried out in the Fundo Broncafé, Aguas Verdes Town Center, Pardo Miguel district, San Martín region. A 5.67 m³ polyethylene sleeve biodigester was built, with 4.25 m³ of work volume, to produce biogas and bioabonos and evaluate biogas performance as fuel and the influence of bioabonos on elephant grass production (*Pennisetum flexispica* K. Schum). The biodigester processed bovine manure-water in anaerobiosis in the proportion 1: 4, 3% weight / volume of coffee pulp in relation to the volume of manure and 8% volume / volume of honey water in relation to the loading volume of the biodigester. The hydraulic retention time was 20 days at an average ambient temperature of 20.2 ° C. The biogas produced satisfies the demand for fuel for the daily preparation of the food of the five members of the family. The bioabono was used as an organic fertilizer for elephant grass in experimental plots; those that were applied 6 L of bioabono (T4) had greater growth exceeding the control by 42.5%, favoring the greater production of fresh weight and consequently of dry weight of the grass evaluated. This system allows reducing the environmental impact of agriculture and livestock, since producing biogas and using it as fuel will reduce the GHG emitted into the atmosphere by uncontrolled fermentation of manure, as well as reducing the dependence of chemical fertilizers when using the bioabono as organic fertilizer for soils.

Keywords: organic fertilization, biomass energy, carbon capture.

I. INTRODUCCIÓN

La mayor preocupación en el mundo es la influencia que tiene el calentamiento global y el cambio climático en los diversos sectores de la población debido a las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), producto del inadecuado uso de los recursos naturales. Las actividades agropecuarias contribuyen en gran manera con los principales GEI: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O). El efecto invernadero se genera porque una parte de radiación infrarroja difundida por la Tierra, pasa a través de la atmósfera, pero la mayor parte de esta es absorbida y reemitida a la Tierra por las moléculas de GEI y las nubes, provocando el recalentamiento de la Tierra y deterioro de la capa de ozono (Costantini *et al.*, 2016). La capacidad que tiene un GEI para contribuir al calentamiento global se denomina potencial de calentamiento global (PCG), el cual se expresa comparándolo con los otros GEI, teniendo en cuenta que posean igual volumen durante el mismo periodo de tiempo, por lo que el PCG del CO₂ siempre es 1. El metano tiene un PCG 25 veces mayor que el CO₂, su tiempo de vida es de 9 a 15 años y su tasa anual de crecimiento es de 7% (Silva *et al.*, 2013).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la ganadería es responsable del 9% de las emisiones globales de CO₂, del 35-40% de las de CH₄ y del 65% de las de N₂O (Steinfeld *et al.*, 2006).

La digestión anaeróbica, es una fermentación causada por microorganismos en ausencia de oxígeno, donde parte de la materia orgánica es transformada en una mezcla de gases (biogás) formado principalmente por metano (CH₄ = 50 a 70 %) y dióxido de carbono (CO₂ = 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 renovables (Lorenzo & Obaya, 2005). 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 y una molécula de agua: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (Barrena *et al.*, 2013).

El biogás es un combustible ecológico ya que mediante el proceso de combustión se permite reciclar el dióxido de carbono (CO₂) el cual es capturado por las plantas. Las plantas adquieren agua y nutrientes del suelo a través de sus raíces; con sus hojas a través de la clorofila captan el CO₂ 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 y producir biogás y bioabonos (biosol y biol). El biogás puede ser empleado como combustible para cocinas, lámparas, motores; produciendo CO₂ y vapor de agua liberados a la atmósfera, donde el CO₂ será captado por las plantas. Los bioabonos se utilizarán para enriquecer los suelos con nutrientes e incrementar la producción de los cultivos (Barrena *et al.*, 2013).

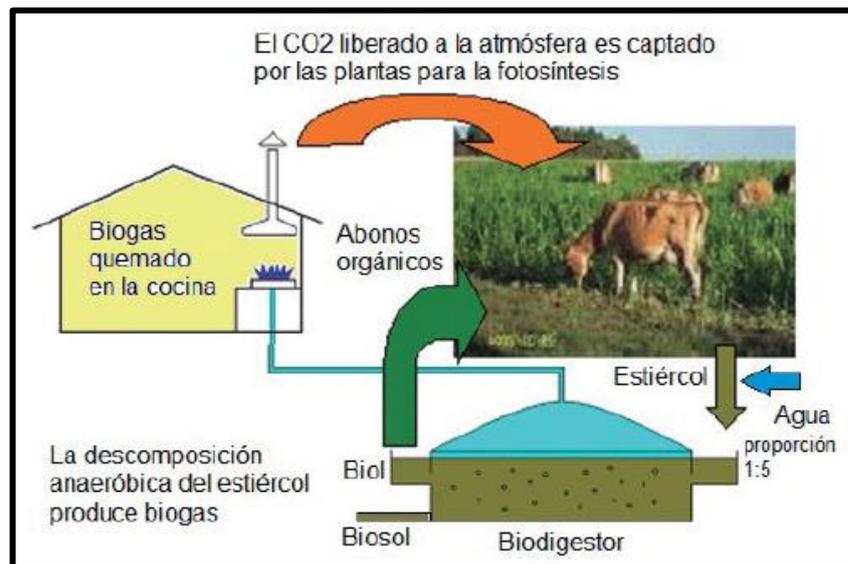


Figura 1. Biogás: combustible ecológico. Fuente: Barrena *et al.*, (2013).

Los biodigestores pequeños de 6 a 10 m³ de capacidad se promovieron en los años 1970 y 1980 en Asia y América Latina con la finalidad de mejorar las condiciones sanitarias y proporcionar energía a viviendas unifamiliares en países en vías de desarrollo; funcionaban con estiércol de pocos animales (dos a cinco cerdos, cinco a 10 vacas 100 pollos o una combinación de estos) junto con desechos orgánicos de la vivienda. Estos biodigestores dependiendo su estado, el apoyo técnico y la habilidad del operario minimizan las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) entre un 23 y 53 % en comparación con las viviendas que emplean leña para cocinar sus alimentos (Hristov *et al.*, 2013).

Teniendo en cuenta la propuesta de varios investigadores e instituciones de prestigio como el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Bogotá, Colombia, así como el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación de Panamá; en la costa de Ecuador emplearon la proporción para la mezcla: 3 partes de agua/2 partes de estiércol/1 parte de pulpa de café; es decir 66 kg, 44 kg y 22 kg, respectivamente. Por cada carga de mezcla

al digester de 132 kg, se produjo 104 litros de biogás en 40 días (tiempo de residencia total en el biodigester). Teniendo una relación biogás producido/días de 2,62 litros, destacando la calidad del biogás obtenido al realizar pruebas de combustibilidad (Fajardo & Paez, 2015).

En Honduras, se produjo biogás usando estiércol de bovino, pulpa de café, aguas mieles y agua, en biodigestores de 18,92 L de capacidad, con 3 tratamientos en 4 repeticiones. Los tratamientos tuvieron las siguientes composiciones: T1 = 40 % estiércol, 40 % pulpa de café y 20 % de aguas mieles; T2 = 40 % estiércol, 40 % pulpa de café y 20 % agua; T3 = 70 % estiércol y 30 % agua. Después de 47 días de haber llenado los biodigestores al 70 % de su capacidad, se obtuvo los siguientes resultados: T1 = 0,03 m³ de biogás/día, T2 = 0,04 m³ de biogás/día y T3 = 0,03 m³ de biogás/día (Balseca & Cabrera, 2011).

Tejedo & Yopán (2014), demostraron que en un biodigester tubular de 12m³ y un volumen de trabajo de 9 m³ cargado con la mezcla estiércol-agua en la proporción 1:5, se produce 5m³ de biogás durante 25 días que fue el tiempo de retención hidráulica (TRH), que se almacenaron en la cúpula del biodigester y el gasómetro a 4 cm de presión de agua; este biodigester fue alimentado diariamente con 200 L de mezcla estiércol:agua para producir en promedio 2 m³ de biogás/día.

En Ancash – Perú, Reyes (2015), instaló un biodigester de 10,13 m³ y un volumen de trabajo de 7,6 m³, utilizando mezcla de estiércol:agua en la proporción 1:5, a una temperatura ambiente promedio de 14 °C; obtuvo una producción de biogás de 5 m³ en un TRH de 42 días. La alimentación diaria fue de 200 L de mezcla estiércol:agua, para una producción de 4,41 m³ de biogás/día.

En Amazonas – Perú, Cubas (2018), mediante un biodigester de 12 m³ y un volumen de trabajo de 9 m³, determinó el rendimiento del biogás como combustible para cocinar alimentos y la influencia de los bioabonos en el desarrollo de pasto nicarión. El biodigester fue alimentado con estiércol - agua en la proporción de 1:5, con un tiempo de retención hidráulica de 29 días a una temperatura ambiente promedio de 14,4 °C, el cual produjo 5 m³ de biogás almacenados en la cúpula del biodigester y en el gasómetro; los bioabonos producidos fueron aplicados a 12 parcelas experimentales para evaluar la influencia de biol y biosol sobre la producción del pasto, en bloques al azar por triplicado con testigo, el pasto al que se aplicó biol y biosol creció casi el doble del testigo.

En Amazonas-Perú, García (2014), evaluó la producción de biogás en biodigestores de 1750 mL, usando mezclas de la siguiente manera: carga del biodigestor con mezcla estiércol - agua 1:1 (875 g), 1:2 (583 g) y 1:3 (438 g); pulpa de café 3 % (13 g), 6 % (35 g) y 9 % (79 g) de peso con respecto al volumen de estiércol y agua miel 2 % (35 mL), 4 % (70 mL) y 6 % (105 mL) de volumen con respecto al volumen del biodigestor. Después de 35 días de haber cargado los biodigestores, la mayor producción de biogás, fue de 375 mL, utilizando la relación estiércol-agua de 1:1 (875 g), 4% volumen/volumen de agua miel (70 mL) y 3% peso/volumen de pulpa de café (13 g).

Barrena *et al.* (2013), determinaron que el TRH para biodigestores cargados con estiércol de bovino-agua en proporción 1:5 depende solo de la temperatura ambiente donde está instalado, más no de la altitud ni del volumen de carga del biodigestor; es decir si la temperatura es mayor, el TRH será menor, mientras que si la temperatura es menor, el TRH será mayor; estableciendo la ecuación logarítmica $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,39$; que relaciona el TRH en días, para la producción de biogás en función de la temperatura ambiente (T) en °C, con un ajuste de $R^2 = 0,924$.

El café es un producto principal de agroexportación del Perú. La producción de café pergamino del 2017 fue de 341 300 toneladas, mayor en 21 % en comparación al año 2016 (MINAGRI, 2017), la mayor producción se dio en San Martín (41,5%), Junín (34,2%) y Cajamarca (13,6%), siendo el 77,1 % de la producción del país (INEI, 2017). El proceso de beneficiado húmedo del café genera contaminación orgánica por la cáscara, aguas mieles y aguas residuales, que afectan las fuentes de agua de la siguiente manera: cambio en el pH (acidificación), disminuye el oxígeno disuelto, oxidación de la materia orgánica, cambio del color, generación de mal olor (muerte de la fauna), incremento de la temperatura, muerte de la microfauna, muerte de la vegetación de los ríos e intoxicación y a veces muerte de la fauna terrestre (Romero & Mamani, 2013).

El ganado vacuno en la región San Martín en el año 1994 fué de 112 586 cabezas, incrementándose en un 97,0 % para el año 2012 con un total de 221 785 cabezas (INEI, 2012). El incremento de estiércol, crea impactos ambientales negativos ya que no existe ningún control en su disposición, causando: contaminación de la atmósfera por la emisión de GEI, contaminación del suelo por acumulación de micro y macro nutrientes y contaminación en las aguas superficiales (Pinos *et al.*, 2012).

Con el avance del tiempo y la tecnología, se hace necesario emplear energías renovables, que son de bajo costo y de fácil aplicación, además de ser amigables con el medio ambiente ya que contribuyen a la conservación de los recursos naturales; por ello se requiere optar por alternativas que permitan minimizar los impactos ambientales negativos causados por las actividades industriales, agropecuarias y domésticas que cada vez más están afectando el aire, suelo y agua (Roldán, 2013). El cultivo de café y la ganadería son las principales actividades económicas del Centro Poblado Aguas Verdes, San Martín; que traen consigo una problemática ambiental ya que al estiércol del ganado no le dan ningún uso y/o tratamiento y la pulpa y aguas mieles de café son arrojados a botaderos a cielo abierto, cerca de las zonas de beneficio provocando contaminación del suelo y fuentes de agua.

Por lo mencionado, en la presente investigación se consideró como objetivo general: Determinar los 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 Miguel Naranjos, Rioja, San Martín.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del lugar

La presente investigación se realizó en el Fundo Broncafé, propiedad del Sr. Esteban Broncano Jamanca y la Sra. Carolina Guevara Samamé, ubicado en las coordenadas $5^{\circ}42'14.50''\text{S}$ y $77^{\circ}37'35.62''\text{O}$, situado en el Centro Poblado Aguas Verdes, Distrito de Pardo Miguel Naranjos, Provincia de Rioja, Región San Martín. El fundo se encuentra a 1 320 msnm, presenta un clima moderadamente húmedo y templado cálido y una temperatura promedio anual de $19,5^{\circ}\text{C}$.

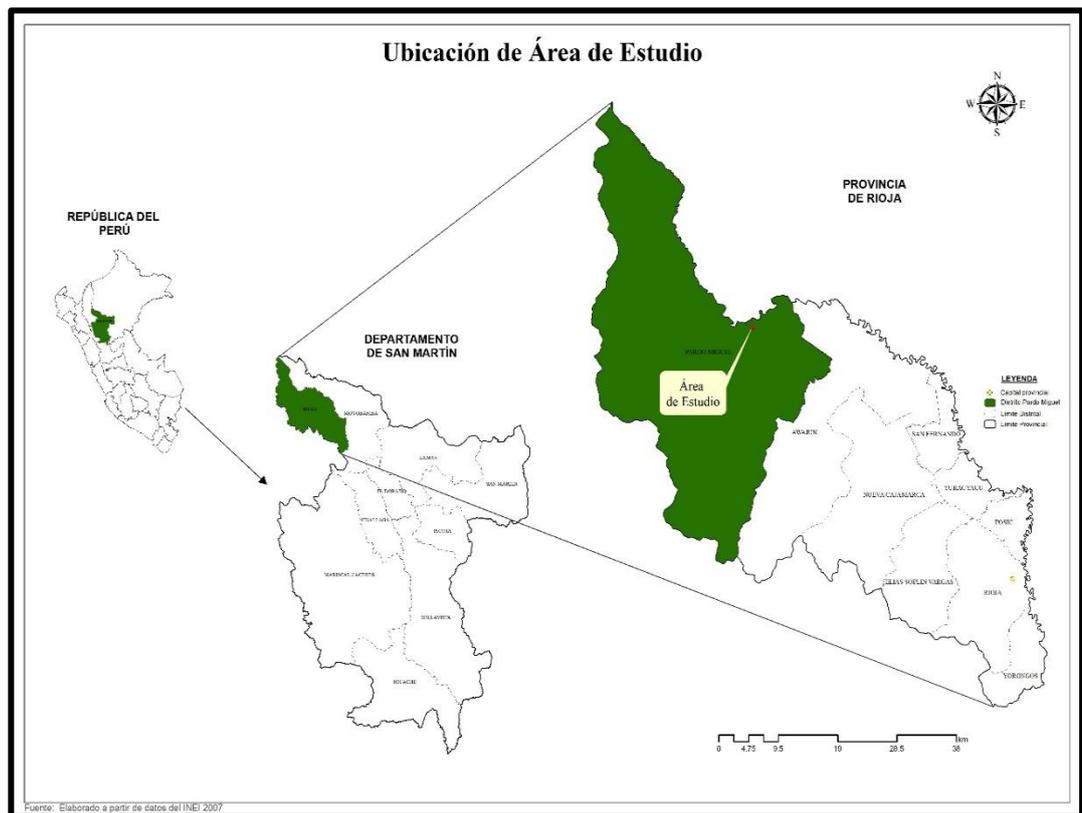


Figura 2. Mapa de ubicación del Fundo Broncafé donde se instaló el biodigestor.

2.2. Diseño de la investigación

El diseño experimental está dado por la relación entre las variables independientes y las variables dependientes: la mezcla de estiércol, aguas mieles y pulpa de café y la temperatura ambiente influyen en el tiempo de retención hidráulica (TRH), y en función de esto se produce biogás y bioabonos (biol y biosol), para determinar el rendimiento del biogás como combustible para cocinar alimentos y evaluar la influencia de los bioabonos en la producción del pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K. Schum).

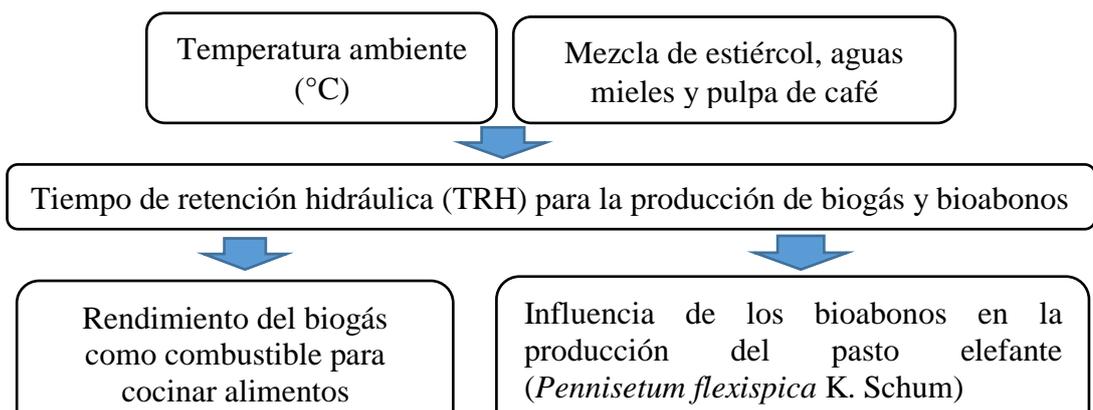


Figura 3. Diseño de la investigación

2.3. Construcción del biodigestor

Para construir el biodigestor, se empleó el esquema mostrado en la Figura 4 y se tuvo como referencia los criterios establecidos por Barrena *et al.* (2013).

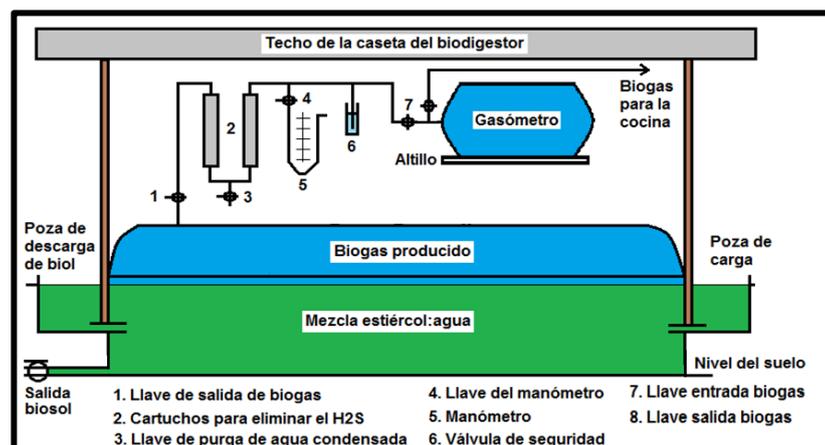


Figura 4. Esquema de instalación del biodigestor. Fuente: Barrena *et al.*, 2013

2.3.1. Poza para el biodigestor

La poza para el biodigestor se construyó con listones y tablas de madera, de las siguientes dimensiones: 8,5 m de largo x 0,75 m de ancho x 0,75 m de alto (Figura 5). Todo el interior fue cubierto con doble manta de polietileno para proteger el biodigestor, además sirvió como aislante térmico.



Figura 5. Poza para el biodigestor

2.3.2. Biodigestor

Para la construcción del biodigestor de 8 m de largo y 0,95 m de diámetro se empleó manga de polietileno de 1,5 m de ancho y 20 m de largo, el cual se dobló y se cortó en dos partes iguales y se metió una dentro de la otra, evitando que se formen pliegues o arrugas. En la parte superior y en el centro de la manga doble se hizo un agujero donde se colocó un tubo de $\frac{1}{2}$ " para la salida del biogás el cual tuvo empaquetaduras de 8 cm x 8 cm hechas de plancha de PVC y jebe microporoso (sandalia hawaiana), los cuales fueron presionadas con roscas de plástico. Se cortó fajas de cámara de llanta de 5 cm de ancho. En uno de los extremos y dentro de la manga doble se colocó un tubo de PVC de 4" de 80 cm de largo, dejando 30 cm fuera, luego se plegó la boca de la manga hacia el tubo y se la sujetó firmemente con faja de cámara de llanta de 5 cm de ancho, el mismo procedimiento se empleó en el otro extremo de la manga de polietileno para que quede conformado el biodigestor con un tubo como boca de alimentación y el otro como boca de descarga de bioabonos; luego se colocó en la poza el biodigestor.



Figura 6. Instalación del biodigestor en la poza

El tubo del extremo izquierdo del biodigestor, como se muestra en la Figura 7, se adecuó para cargar el biodigestor, para ello se cortó 30 cm de dicho tubo y se añadió dos reducciones de PVC de 4" a 2" para conectar una llave de paso de PVC de 2", luego se incorporó la otra mitad del tubo unido a un embudo, elaborado de un envase de galón cortado por la mitad, para facilitar la carga y/o alimentación del biodigestor.



Figura 7. Tubo de carga o alimentación del biodigestor.

Al tubo del extremo derecho del biodigestor se añadió una reducción de PVC de 4" a 2" para unir a una llave de paso de PVC de 2" (Figura 8) y así controlar la salida de bioabonos.



Figura 8. Tubo de descarga del biodigestor (Salida de bioabonos).

2.3.3. Gasómetro

Tiene como finalidad el almacenamiento del biogás y tenerlo disponible para su uso como combustible para cocina. Se instaló en un altillo sobre el biodigestor. Como se muestra en la Figura 9, se hizo con manga de polietileno del mismo tipo que el que se empleó para el biodigestor. Para un gasómetro de 3 m de largo se empleó una manga de polietileno de 1,5 m de ancho y 10 m de largo, que se dobló y cortó en 2 partes iguales, luego se metió una dentro de la otra evitando los pliegues. En uno de los extremos y dentro de la manga doble se colocó un tubo de PVC de 1/2" y 1 m de largo, luego se plegó la boca de la manga quedando 50 cm de este tubo fuera de la manga y se lo fijó firmemente con una faja de cámara de llanta de 5 cm de ancho y se colocó una llave de control de PVC de 1/2" en el extremo libre del tubo, el mismo procedimiento se realizó con el otro extremo de la manga, quedando un balón o gasómetro con una entrada y una salida de biogás listo para su uso.



Figura 9. Elaboración del gasómetro para biogás.

2.3.4. Sistema de purificación del biogás

El biogás es una mezcla de gases, de los cuales el ácido sulfhídrico (H_2S) es el que causa corrosión además de tener olor desagradable a desagüe. Para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S), el biogás se hizo pasar por cartuchos llenos con clavos de hierro. La reacción química que se producirá es la siguiente: $H_2S + Fe \longrightarrow FeS + H_2$, el sulfuro ferroso (FeS) queda adherido al hierro dentro del cartucho y el hidrógeno (H_2) producido se integra a la corriente de biogás (Barrena *et al.*, 2013).

De acuerdo a lo propuesto por Barrena *et al.* (2013), se hizo 2 cartuchos de PVC de 2" x 0,50 m de largo cada uno. En un extremo del tubo de 2" se colocó una esponja de hierro de lavar ollas y se pegó una reducción de PVC de 2" a 1/2" con rosca, luego por el otro extremo se procedió a llenar 2 kg de clavos de hierro de 2", se colocó otra esponja de hierro de lavar ollas y se tapó con otra reducción de PVC de 2" a 1/2" con rosca. El mismo procedimiento se hizo para hacer el segundo cartucho. Como se muestra en la Figura 10, ambos cartuchos fueron colocados en forma vertical y se conectaron con un puente de tubo de PVC de 1/2" que tiene una válvula para eliminar el agua condensada.



Figura 10. Sistema para la purificación del biogás.

2.3.5. Sistema de control de presión de biogás

Según lo propuesto por Barrena *et al.* (2013), para prefijar la presión de todo el biodigestor, a continuación del sistema de purificación de biogás se instaló el sistema para regular la presión del biogás hecho de una botella de plástico descartable de 1 750 mL, a la cual se hizo dos agujeros en la parte superior con un clavo caliente y se la llenó con agua a la mitad de su volumen. Luego, mediante una T se sacó una ramificación de 30 cm de largo, al cual se le marcó con ranuras cada un centímetro, en un tramo de 10 cm desde su extremo libre; esta ramificación se introdujo en la botella descartable con agua, luego se sujetó la botella de su cuello y se colgó de la misma T, de manera que quede 5 cm de la ramificación bajo el nivel del agua en la botella, es decir cuando la presión del biogás en todo el sistema supere los 5 cm de agua empezará a burbujear en el agua de la botella y saldrá por los agujeros de la parte superior de la botella hacia el medio ambiente, manteniendo como máximo 5 cm de agua de presión de operación del sistema ya que es la presión máxima que resisten las mangas de polietileno.



Figura 11. Sistema de control de presión de biogás.

2.4. Carga del biodigestor

Para la asignación de los porcentajes de sustrato para cargar el biodigestor se tuvo como referencia a García (2014), quien evaluó la influencia de la pulpa y agua miel en la producción de biogás con estiércol de bovino. El biodigestor de manga de polietileno de 5 670 L de capacidad, se cargó con 4 250 L de sustrato en las siguientes proporciones: mezcla de estiércol-agua en la proporción de 1:4; 4 250 L / 5 = 850 L de estiércol, 3 % peso/volumen de pulpa de café con relación al volumen de estiércol = 25,5 kg y 8 % volumen/volumen de agua miel con respecto al volumen de carga del biodigestor = 340 L. La mezcla se preparó en una poza cilíndrica enchapada con cerámica de 1 000 L. Para cargar el biodigestor se añadió a la poza 200 L de estiércol, 6 kg de pulpa de café y 80 L de agua miel; se llenó la poza con agua hasta el borde, se removió la mezcla con una pala para homogenizar y se procedió a trasvasar con baldes al biodigestor. Se requirió 4,25 pozas de la mezcla mencionada.



Figura 12. Preparación de la mezcla para cargar el biodigestor.



Figura 13. Carga de la mezcla al biodigestor

2.5. Tiempo de retención hidráulica (TRH) y volumen de biogás producido

Después de cargar el biodigestor a su volumen de trabajo con el sustrato (estiércol de bovino, pulpa y aguas mieles de café), mediante un termómetro se procedió a medir la temperatura ambiente (06:00 am, 12:00 m y 06:00 pm), hasta el día que la cúpula del biodigestor esté llena con biogás. El número de días transcurridos será el TRH, en ese día se midió el volumen del biogás y mediante el sistema de control de presión se midió la presión en centímetros de agua.



Figura 14. Biodigestor con cúpula llena de biogás y trasvase al gasómetro.

Según lo recomendado por Barrena *et al.* (2013), para que los bioabonos sean más ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), deben estar dentro del biodigestor por 25 días. Para la presente investigación el biogás producido se trasvasó al gasómetro (Figura 14) y se estableció un tiempo de retención hidráulica hasta el día en que la cúpula del biodigestor y el gasómetro estén llenos con biogás, luego se procedió a medir el biogás producido y la presión en centímetros de agua; enseguida, se procedió a calcular la alimentación diaria para mantener la producción de biogás.



Figura 15. Biodigestor lleno de biogás en su cúpula y en el gasómetro.



Figura 16. Alimentación del biodigestor.

2.6. Rendimiento del biogás como combustible para cocinar alimentos

Para evaluar el rendimiento del biogás como combustible, una cocina de dos hornillas que se usan a gas propano, fue adaptada para funcionar a biogás (Figura 17), se empleó los dos quemadores que tenía la cocina con dos tubos de fierro galvanizado doblados para hacer un codo largo, un extremo de cada codo fue conectado a un quemador y el otro extremo a un codo de PVC de $\frac{1}{2}$ " , ambos codos fueron conectados a llaves de control de PVC de $\frac{1}{2}$ " para regular el flujo del biogás. En esta cocina se cocinaron los alimentos típicos de la familia. Se midió el tiempo requerido para cocinar cada alimento y el volumen de biogás consumido.



Figura 17. Cocina de dos hornillas adaptada a biogás.

2.7. Influencia del bioabono en la producción del pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K. Schum).

Para evaluar si el bioabono incrementa la producción del pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K. Schum) en el Fundo Broncafé, se empleó un lote de pastizal de donde se retiró recién el ganado para que el pasto rebrote; para uniformizar las parcelas, se cortó el pasto con machete a ras del suelo (Figura 18). Se demarcaron 12 parcelas experimentales de 2 m x 6 m, con un distanciamiento de 0,5 m entre parcelas; los tratamientos fueron distribuidos al azar, por triplicado con testigo. Se retiró el bioabono del biodigestor (Figura 20) y se aplicó a las parcelas en diferentes dosis, a tres parcelas se le aplicó 2 litros (A1, A2, A3), a otras tres parcelas se le aplicó 4 litros (B1, B2, B3) y a otras tres parcelas se les aplicó 6 litros (C1, C2, C3); una vez por semana, durante 8 semanas, desde el inicio en que se cortó el remanente de pasto, hasta una semana antes del corte. El bioabono se diluyó en agua y se incorporó a las parcelas con mochila de fumigar. La primera aplicación se realizó el 07 de marzo y la primera medida de altura de pasto se hizo el 28 de marzo de 2019.



Figura 18. Corte del remanente de pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K. Schum).



Figura 19. Letreros para las parcelas experimentales.



Figura 20. Retiro de bioabono del biodigestor.



Figura 21. Dosificación y aplicación del bioabono a las parcelas experimentales.

Debido a que el terreno donde se instaló las parcelas presentaba leves pendientes y la implicancia de la escorrentía influye en el desarrollo de las plantas, cada parcela se dividió en 2 subparcelas de 2 m x 3 m, para evaluar la altura del pasto, peso fresco al momento del corte y peso seco/m².

Determinación de la altura del pasto

Para determinar la altura de plantas en cada parcela experimental se tuvo como referencia a Macedo (2015); por ello, se utilizó una wincha metálica y en 1 m² de pasto seleccionado al azar en cada una de las dos subparcelas; se consideró las dos plantas más altas y las dos plantas más bajas, de ellas se tomó el promedio de altura para cada subparcela, luego los dos resultados de las subparcelas fueron promediados. Esto se hizo cada 21 días.

Determinación del peso fresco del pasto

Para determinar la producción de pasto en peso fresco, se tomó el peso de pasto recién cortado contenido en 1 m² en cada subparcela; para ello, se colocó al azar un marco de madera de 1 m² en cada subparcela y con un machete se cortó el pasto contenido, se hizo un atado y se lo pesó con una romana (dinamómetro).

Determinación del peso seco del pasto

Para la obtención de peso seco de pasto, las muestras de pasto fresco se pusieron a secar bajo sombra durante una semana y mediante una romana (dinamómetro) se determinó el peso seco por metro cuadrado de cada subparcela.

III. RESULTADOS

3.1. Tiempo de retención hidráulica y volumen de biogás producido

Después de 20 días de haber sido cargado el biodigestor de manga de polietileno hasta su volumen de trabajo con el sustrato (estiércol, pulpa de café y aguas mieles), tuvo la cúpula llena de biogás, por lo que su tiempo de retención hidráulica (TRH) para tener la cúpula llena con biogás fue de 20 días, habiéndose registrado una temperatura ambiente promedio de 20,2 °C, con algunos picos de 30 °C y un promedio de 24 °C al medio día y una presión de dos cm de agua.

Tabla 1. Temperatura ambiente promedio en el Fundo Broncafé.

Día	Temperatura (°C)		
	06:00 am	12:00 m	06:00 pm
1	17	25	22
2	17	30	23
3	16	26	23
4	17	25	23
5	16	20	17
6	17	26	20
7	16	20	17
8	18	23	20
9	15	24	21
10	18	24	20
11	17	23	21
12	16	22	17
13	16	20	19
14	17	22	19
15	16	20	17
16	16	24	20
17	16	25	22
18	17	25	23
19	18	26	21
20	16	30	17
20 días	16,6	24,0	20,1
Temperatura ambiente promedio 20,2 °C			

El tiempo de retención hidráulica (TRH) para que la cúpula del biodigestor y el gasómetro estén llenas con 3 550 L de biogás fue de 25 días con una presión de 2 cm de agua. La alimentación diaria del biodigestor para mantener la producción de biogás fue de $4\ 250/25$ días = 170 L; la mezcla se preparó en una poza cilíndrica enchapada con cerámica de 1 000 L de capacidad, para ello se añadió estiércol-agua en la proporción 1:4; $170/5 = 34$ L de estiércol; 3 % peso/volumen de pulpa de café con relación al volumen de estiércol = 1,02 Kg de pulpa de café y 8 % volumen/volumen de agua miel con relación al volumen de carga del biodigestor = 13,6 L de agua miel; luego se añadió agua hasta completar los 170 litros, se agitó con una pala para uniformizar la mezcla y enseguida se trasvasó al biodigestor.

3.2. Rendimiento del biogás como combustible para cocinar alimentos

Se procedió a realizar la prueba de combustión del biogás en la cocina, por lo que se instaló con tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ "', desde la salida del gasómetro hacia la cocina de dos hornillas adaptada a biogás. Para la evaluación se colocó en una olla de aluminio 1 kg de soja remojada y molida con 7 litros de agua y se lo puso sobre la hornilla de la cocina requiriendo de 55 minutos para empezar a hervir y 20 minutos más de ebullición para quedar preparada.



Figura 22. Prueba de combustión del biogás en la cocina para preparar leche de soja.

Luego, se procedió a cocinar los alimentos más usuales diarios de la familia del Fundo Broncafé (Figura 23), durante 7 días consecutivos, se determinó el tiempo promedio en la preparación de estos y se cuantificó el volumen de biogás necesario para cocinar cada uno de los alimentos (Tabla 2).



Figura 23. Preparación de alimentos en la cocina a biogás.

En la Tabla 2, se muestran los alimentos más usuales diarios de la familia del Fundo Broncafé, los cuales fueron cocinados en 7 días consecutivos y se determinó el tiempo promedio para su preparación, además se cuantificó el volumen de biogás necesario para cocinar cada uno de los alimentos. Se tuvo un consumo de 2 323 litros de biogás en un tiempo de 4,18 horas de funcionamiento de la cocina a biogás.

Tabla 2. Rendimiento del biogás como combustible en cocina.

Tipo de alimento	Cantidad de alimento	Biogás necesario (L)	Tiempo promedio (minutos)
Arroz	1 kg	370	40
	1 calabaza	518	56
Locro	(<i>Cucurbita ficifolia</i>) pequeña, 1/2 kg de frijol verde y 1/2 kg de papa		
Sopa	2 L de agua, 1/2 kg de papa y 1/4 kg de fideo	444	48
Yucas	2 kg	343	37
Plátanos verdes	12 unidades	417	45
Huevos fritos	2 unidades	46	5
Agua hervida	3 Litros	185	20
Total		2 323	251 = 4.18 h

3.3. Influencia del bioabono en la producción de pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K. Schum.)

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la altura de los pastos en cada parcela experimental realizados cada 21 días, a partir de las tres semanas después de haber aplicado el bioabono a las parcelas, hasta una semana antes del corte.



Figura 24. Altura de pasto a las 3 semanas de tratamiento.



Figura 25. Altura de planta a las 9 semanas de tratamiento.

Tabla 3. Promedio de altura del pasto elefante cada 21 días.

Tratamiento	Parcela	Altura 1	Altura 2	Altura 3
		(m) 28/03/19	(m) 18/04/19	(m) 09/05/19
1 (testigo)	T1	0,63	1,15	1,66
	T2	0,64	1,15	1,66
	T3	0,65	1,17	1,69
	Promedio	0,64	1,16	1,67
2 (2 L de bioabono)	T1	0,72	1,33	1,93
	T2	0,71	1,31	1,90
	T3	0,71	1,31	1,90
	Promedio	0,71	1,2	1,91
3 (4 L de bioabono)	T1	0,81	1,49	2,18
	T2	0,79	1,47	2,15
	T3	0,80	1,48	2,16
	Promedio	0,80	1,48	2,16
4 (6 L de bioabono)	T1	0,88	1,65	2,41
	T2	0,85	1,62	2,35
	T3	0,87	1,63	2,37
	Promedio	0,87	1,63	2,38



Figura 26. Pesado del peso fresco de cada parcela experimental.



Figura 27. Secado del pasto bajo sombra.

Tabla 4. Muestras de peso fresco y peso seco de pasto elefante

Tratamiento	Parcela	Peso fresco (kg/m ²) Primera muestra	Peso seco (kg/m ²) Primera muestra	Peso fresco (kg/m ²) Segunda muestra	Peso seco (kg/m ²) Segunda muestra
1 (Testigo)	T1	3,45	2,00	3,50	2,00
	T2	3,60	2,15	3,60	2,20
	T3	3,50	2,10	3,55	2,10
	Promedio	3,52	2,08	3,55	2,10
2 (2 L de bioabono)	A1	4,20	2,50	4,30	2,55
	A2	4,10	2,45	4,40	2,60
	A3	4,10	2,45	4,25	2,50
	Promedio	4,13	2,47	4,32	2,55
3 (4 L de bioabono)	B1	4,85	2,90	5,00	3,00
	B2	4,85	2,90	5,10	3,10
	B3	4,70	2,75	4,95	2,90
	Promedio	4,80	2,85	5,02	3,00
4 (6 L de bioabono)	C1	5,35	3,20	5,55	3,30
	C2	5,20	3,10	5,30	3,10
	C3	5,20	3,10	5,50	3,25
	Promedio	5,25	3,13	5,45	3,22

Las variaciones de peso fresco en parcelas cuyas plantas de pasto tienen igual o similar altura se debe a que la cobertura vegetal en algunas parcelas es un poco mayor que en otras, con respecto a la segunda muestra de cada parcela se muestran resultados más elevados que en las primeras muestras dado que fueron influenciados por la escorrentía de nutrientes ya que el terreno presentaba leves pendientes.

De la Tabla 3 y 4, el bioabono además de favorecer el mayor crecimiento de los pastos incrementa el peso fresco y por ende el peso seco. El análisis estadístico con Minitab 18 de los datos experimentales del crecimiento de pasto, peso fresco y peso seco se presenta en el Anexo 1 de la presente investigación.

En el cuadro ANOVA con un nivel de significancia del 0,05 y comparaciones en parejas de Tuckey se observa que todas las medias de los tratamientos presentan diferencias significativas, donde el tratamiento 4 (6 L de bioabono) influyó con mayor predominancia en su efecto para el crecimiento del pasto frente a los otros tratamientos, superando en 42,5 % al tratamiento 1 (testigo).

En el ANOVA y comparaciones en parejas de Tuckey, para el rendimiento de materia verde (kg/m^2) del pasto, se puede observar que el efecto de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas en el rendimiento de peso fresco del pasto, donde el tratamiento 4 (6 L de bioabono), a diferencia de los otros tratamientos es el que tiene mayor peso, superando al tratamiento 1 (testigo) en 51,1 % de su peso. En cuanto a peso seco, el tratamiento 4 (6 L de bioabono) fue también el que tuvo mayor peso de materia seca por m^2 superando en un 52,1 al tratamiento 1 (testigo).

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación se construyó un biodigestor para la producción de biogás y bioabonos en el fundo Broncafé, Aguas Verdes, Pardo Miguel Naranjos, San Martín, 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 62,61 % de biogás con respecto al volumen del biodigestor y 83,53 % de biogás con respecto al volumen de trabajo. Cubas (2018), instaló un biodigestor de 12 m³ y un volumen de trabajo de 9 m³; el cual fue cargado con estiércol - agua en la proporción de 1:5; al cabo de 35 días y una temperatura ambiente promedio de 14°C produjo 5 mil litros de biogás almacenados en la cúpula del digestor y en el gasómetro lo que equivale al 41,67 % de biogás en base al volumen del biodigestor y el 55,56 % de biogás en base al volumen de trabajo. Entonces, los resultados obtenidos en la presente investigación superan a los obtenidos por Cubas (2018), en 21 puntos porcentuales con respecto al volumen del biodigestor y en 28 puntos porcentuales con respecto al volumen de trabajo del biodigestor, lo que puede deberse a la mezcla estiércol - agua en la proporción 1:4, el uso de cofermentadores como pulpa y agua miel de café, además de la mayor temperatura ambiente promedio empleada.

Barrena *et al.* (2013), establecieron la ecuación $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,39$; para determinar el tiempo de retención hidráulica (TRH) en días, para la producción de biogás en función de la temperatura ambiente (T) en °C, con un ajuste de $R^2 = 0,924$ para biodigestores cargados con sustrato de estiércol – agua en proporción 1:5. En la presente investigación, con la temperatura promedio de 20,2 °C, el TRH para llenar con biogás la cúpula del biodigestor fue de 20 días y el TRH para llenar con biogas la cúpula y el gasómetro fue de 25 días, resultados próximos a los obtenidos con la ecuación que es de 26 días.

Según Cepero *et al.* (2012), el biogás contiene cantidades próximas al 1% de ácido sulfhídrico (H₂S) que le da olor desagradable a desagüe o huevos podridos; además, de ser perjudiciales a los equipos metálicos por ser corrosivo; por lo que debe ser eliminado antes de utilizar el biogás como combustible; para ello se hizo pasar la corriente de biogás

por dos cartuchos de tubo de PVC de 2" llenos con 4 kg de clavos de hierro; este metal reacciona con el H₂S y se produce FeS, eliminándose de esta manera el H₂S del biogás y con ello los olores desagradables que tiene dicho ácido, quedando un biogás inodoro y listo para ser usado como combustible para la cocción de alimentos.

Por su parte, Decara *et al.* (2004), establecen que, para garantizar el funcionamiento de una cocina durante cinco horas al día, se requieren 2,4 m³ de biogás/día. En la presente investigación se han obtenido resultados muy cercanos a los mencionados por lo que para mantener la producción diaria de biogás se debe alimentar con un promedio de 170 litros de mezcla estiércol- agua en la proporción 1:4, pulpa y aguas mieles de café, ya que con ello se dispondrá de biogás suficiente para la preparación de alimentos diarios de la familia de 5 integrantes, puesto que de los 3 550 L de biogás almacenados en la cúpula del digestor y en el gasómetro se ha empleado aproximadamente 2 323 L para que la cocina de dos hornillas funcione durante un tiempo de 251 min = 4,18 h, para la preparación de los alimentos y en simultaneo se produce 170 L diarios de bioabono para fertilizar los cultivos.

Según, Dhingra *et al.* (2011), los digestores pequeños de 6 a 10 m³ de capacidad minimizan las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) entre un 23 y 53 % a comparación con las viviendas que emplean leña para cocinar sus alimentos, dependiendo el estado del biodigestor, el apoyo técnico y la habilidad del operario. Por lo que la construcción del biodigestor de 5,67 m³ de capacidad contribuye en gran medida a minimizar las emisiones de GEI, además de propiciar la sostenibilidad de la actividad agrícola al usar los bioabonos y evitar las deforestaciones para la obtención de leña.

En Amazonas, Cubas (2018), aplicó una vez por semana 250 mL de bioabono/m² al pasto Nicarión, durante 7 semanas y lo cortó en la octava semana, obteniendo un incremento de crecimiento de 62 % con respecto a las parcelas testigo; en la presente investigación se aplicó bioabono al pasto elefante (*Pennisetum flexispica* K.Schum.) y se observó que con el tratamiento 4, aplicando 500 mL/m² durante 8 semanas, y el corte en la semana 9, se obtuvo un incremento de crecimiento de 42,5 % con respecto a las parcelas testigo, valor menor al obtenido por Cubas (2018), ya que se trata de otra variedad de pasto. Se ha evidenciado que al aumentar la dosis de bioabonos por m², además de incrementar la altura, incrementa el peso fresco y por ende el peso seco.

V. CONCLUSIONES

- ✓ El biodigestor fue construido de materiales de bajo costo y fáciles de conseguir como la manga de polietileno y accesorios de PVC; tiene 8 m de largo y 0,95 m de diámetro, que hacen un volumen de 5,67 m³ de capacidad, con un volumen de trabajo de 4,25 m³, para procesar estiércol de bovino, pulpa y aguas mieles de café.
- ✓ El tiempo de retención hidráulica (TRH) del biodigestor fue de 25 días a una temperatura ambiente de 20,2 °C, el cual produjo 3 550 L de biogás almacenados en la cúpula digestor y el gasómetro a 2 cm de presión de agua.
- ✓ El biodigestor es alimentado con 170 L de sustrato/día y produce 2 300 L de biogás/día, suficiente para preparar los alimentos de 5 integrantes de la familia del Fundo Broncafé.
- ✓ Las parcelas de 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..
- ✓ Hacer uso de la tecnología de la producción de biogás y bioabonos tiene beneficios sociales, ya que el biogás es un combustible que no tizna, ni emite humos irritantes por lo que mejorará la calidad de vida de la familia; beneficios económicos, porque no requerirá de combustibles fósiles ni leña para cocinar con lo que se tendrá un ahorro además de utilizar los bioabonos para sus cultivos; y beneficios ambientales, ya es una alternativa para procesar los efluentes del procesamiento del café y de la ganadería, con lo que se reducirá su impacto ambiental negativo.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Emplear materiales disponibles en la zona para reducir costos en la instalación del biodigestor.
- ✓ Cerciorarse de un buen armado del biodigestor, para evitar que haya fugas de biogás durante el funcionamiento.
- ✓ Utilizar como co-fermentadores pulpa y aguas mieles de café en la mezcla estiércol -agua 1: 4 para aumentar la producción de biogas.
- ✓ Debido a que el bioabono a partir de estiércol de bovino, pulpa de café y aguas mieles presenta buenas características de abono orgánico y se ha evidenciado que a mayor dosis por m² incrementa el rendimiento en cuanto a altura, peso fresco y peso seco, se debe realizar más ensayos para encontrar la dosis de aplicación adecuada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balseca, D., & Cabrera, J. (2011). Producción de biogás a partir de aguas mieles y pupa de café. Zamorano - Honduras -. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/454/1/IAD-2011-T004.pdf>
- 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., Savan, V., Blanco, D., Diaz, M., Suárez, J., & Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes. *Pastos y forrajes*.
- Costantini, A., Perez, G., Busto, M., Gonzáles, F., Cosentino, V., Romaniuk, R., & Taboada, M. (2016). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la producción Ganadera. Obtenido de <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/11/4-Costantini-cei68-5-5.pdf>
- Cubas, F. (2018). Implementación y rendimiento de un sistema de producción de biogas y bioabonos de 12m³ a partir del estiércol de ganado bobino en el fundo palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas. Chachapoyas.
- Decara, L., Funes, C., Sandoval, G., Issaly, C., & Freire, V. (2004). El uso de biodigestores en sistemas caprinos de la provincia de Córdoba. Córdoba. Obtenido de <https://docplayer.es/75085396-El-uso-de-biodigestores-en-sistemas-caprinos-de-la-provincia-de-cordoba.html>
- Dhingra, R., Christensen, E., Liu, Y., Zhong, B., Fu, C., Yost, M., & Remains, J. (2011). Greenhouse Gas Emission Reductions from Domestic Anaerobic Digesters Linked with Sustainable Sanitation in Rural China. *Environmental Science & Technology*.
- Fajardo, S., & Paez, J. (2015). Obtención de biogás a partir de la pulpa de café y estiércol de res. Obtenido de <http://letragrande.com.ec/EduQuil/index.php/edicion-121/18215-obtencion-de-biogas-a-partir-de-la-pulpa-de-cafe-y-estiércol-de-res>
- García, N. (2014). Influencia de la pulpa y agua de despulpado del café (coffea arabica) sobre la producción de biogás con estiércol de bovino. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas*. Amazonas, Perú. Obtenido de

http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1006/FIA_150.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- 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*. producción y sanidad animal. Roma - Italia
- INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario. Lima, Perú. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/World_Census_Agriculture/Country_info_2010/Reports/Reports_4/PER_SPA_PRE_REP_2012.pdf
- INEI. (2017). Censo Nacional. Obtenido de <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n106-2017-inei.pdf>
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/223120659006.pdf>
- Macedo, D. (2015). Efecto de la Aplicación del Estiércol de Vaca Sobre la Producción de Forraje de la Especie Pennisetum sp (Mararalfalfa) en Condiciones del Valle del Alto Mayo. Trujillo, Perú. Obtenido de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/3058/1/RE_MED.VETE_DIANA.MACEDO_EFECTO.DE.LA.APLICACION.DEL.ESTIERCOL_DATOS.pdf
- MINAGRI. (2017). Boletín de Estadístico de producción Agrícola y ganadera. Obtenido de http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/produccion-agricola-ganadera-ivtrimestre2017_220318_0.pdf
- Pinos, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., González, C., & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. 46. México. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004
- Reyes, C. (2015). Producción de biogás en digestor tubular para la sostenibilidad energética y mejorar la calidad de vida en la Provincia de Yungay - Distrito de Huashao - Ancash 2015. Yungay, Perú. Obtenido de

http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Reyes-Carlos_Huashao-Ancash.pdf

- Roldán, J. (2013). *Energías Renovables*. España. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=yKh2AgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=energ%C3%ADas+renovables&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjWteHI2tbkAhWiuVkkHRIEC5YQ6AEIKDAA#v=onepage&q=energ%C3%ADas%20renovables&f=false>
- Romero, R., & Mamani, R. (2013). Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café. *15(2)*, 241 - 252. Obtenido de <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/7/7>
- 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*, 36 - 43. Obtenido de <http://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/423/361>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, 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.
- Tejedo, E., & Yopán, E. (2014). Rendimiento de biogás como combustible en un grupo electrógeno de 1 Kw. Fundo San Isidro, Colcamar. Obtenido de http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/647/FIA_164.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

ANEXO 1

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

Tratamientos	Parcelas	Altura de pasto a las 9 semanas (m)	Peso fresco (Promedio muestras 1 y 2) (kg)	Peso seco Promedio muestras 1 y 2) (Kg)
1	1	1,66	3,48	2,00
1	2	1,66	3,60	2,18
1	3	1,69	3,53	2,10
2	1	1,93	4,25	2,53
2	2	1,90	4,25	2,53
2	3	1,90	4,18	2,48
3	1	2,18	4,93	2,95
3	2	2,15	4,98	3,00
3	3	2,16	4,83	2,83
4	1	2,41	5,45	3,25
4	2	2,35	5,25	3,10
4	3	2,37	5,35	3,18

Tratamiento 1: Testigo

Tratamiento 2: 2 L de bioabono

Tratamiento 3: 4 L de bioabono

Tratamiento 4: 6 L de bioabono

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA DE LA PLANTA

ANOVA de un solo factor: ALTURA vs. TRATAMIENTO

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	1, 2, 3, 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	0.845867	0.281956	638.39	0.000
Error	8	0.003533	0.000442		
Total	11	0.849400			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0210159	99.58%	99.43%	99.06%

Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	1.6700	0.0173	(1.6420, 1.6980)
2	3	1.9100	0.0173	(1.8820, 1.9380)
3	3	2.16333	0.01528	(2.13535, 2.19131)
4	3	2.3767	0.0306	(2.3487, 2.4046)

Desv.Est. agrupada = 0.0210159

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

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
4	3	2.3767	A
3	3	2.16333	B
2	3	1.9100	C
1	3	1.6700	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	0.2400	0.0172	(0.1850, 0.2950)	13.99	0.000
3 - 1	0.4933	0.0172	(0.4384, 0.5483)	28.75	0.000
4 - 1	0.7067	0.0172	(0.6517, 0.7616)	41.18	0.000
3 - 2	0.2533	0.0172	(0.1984, 0.3083)	14.76	0.000
4 - 2	0.4667	0.0172	(0.4117, 0.5216)	27.20	0.000
4 - 3	0.2133	0.0172	(0.1584, 0.2683)	12.43	0.000

Nivel de confianza individual = 98.74%

ANÁLISIS DE VARIANZA DE PESO FRESCO DEL PASTO

ANOVA de un solo factor: PESO FRESCO vs. TRATAMIENTO

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	1, 2, 3, 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	5.69771	1.89924	350.63	0.000
Error	8	0.04333	0.00542		
Total	11	5.74104			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0735980	99.25%	98.96%	98.30%

Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	3.5333	0.0629	(3.4353, 3.6313)
2	3	4.2250	0.0433	(4.1270, 4.3230)
3	3	4.9083	0.0764	(4.8103, 5.0063)
4	3	5.3500	0.1000	(5.2520, 5.4480)

Desv.Est. agrupada = 0.0735980

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

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
4	3	5.3500	A
3	3	4.9083	B
2	3	4.2250	C
1	3	3.5333	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	0.6917	0.0601	(0.4992, 0.8842)	11.51	0.000
3 - 1	1.3750	0.0601	(1.1825, 1.5675)	22.88	0.000
4 - 1	1.8167	0.0601	(1.6242, 2.0092)	30.23	0.000
3 - 2	0.6833	0.0601	(0.4908, 0.8758)	11.37	0.000
4 - 2	1.1250	0.0601	(0.9325, 1.3175)	18.72	0.000
4 - 3	0.4417	0.0601	(0.2492, 0.6342)	7.35	0.000

Nivel de confianza individual = 98.74%

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DEL PASTO

ANOVA de un solo factor: PESO SECO vs. TRATAMIENTO

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	1, 2, 3, 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	2.04167	0.680556	122.12	0.000
Error	8	0.04458	0.005573		
Total	11	2.08625			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0746520	97.86%	97.06%	95.19%

Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	2.0917	0.0878	(1.9923, 2.1911)
2	3	2.5083	0.0289	(2.4089, 2.6077)
3	3	2.9250	0.0901	(2.8256, 3.0244)
4	3	3.1750	0.0750	(3.0756, 3.2744)

Desv.Est. agrupada = 0.0746520

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TRATAMIENTO PARA EL PESO SECO DEL PASTO

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
4	3	3.1750	A
3	3	2.9250	B
2	3	2.5083	C
1	3	2.0917	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	0.4167	0.0610	(0.2214, 0.6119)	6.84	0.001
3 - 1	0.8333	0.0610	(0.6381, 1.0286)	13.67	0.000
4 - 1	1.0833	0.0610	(0.8881, 1.2786)	17.77	0.000
3 - 2	0.4167	0.0610	(0.2214, 0.6119)	6.84	0.001
4 - 2	0.6667	0.0610	(0.4714, 0.8619)	10.94	0.000
4 - 3	0.2500	0.0610	(0.0548, 0.4452)	4.10	0.015

Nivel de confianza individual = 98.74%