



**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  
INGENIERA AMBIENTAL**

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOABONOS A PARTIR  
DE ESTIÉRCOL DE BOVINO EN BIODIGESTOR  
TUBULAR EN NARANJOS, BAGUA, AMAZONAS**

**Autora: Raquel Montenegro Díaz**

**Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón**

Registro: (.....)

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, quien es mi guía y fortaleza. Su mano de fidelidad y amor está conmigo, lo que me mantiene siempre.

A mis padres Rosa Díaz Santa Cruz y Mauro Montenegro Suarez, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos José y Alex, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

Agradecida de ellos, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

**Raquel.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a mis padres, por su confianza y apoyo incondicional para poder culminar mi carrera profesional.

A mis hermanos, con quienes puedo contar en situaciones difíciles.

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

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

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

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

**Raquel.**

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

**DR. POLICARPIO CHAUCA VALQUI**

*Rector*

**DR. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

*Vicerrector Académico*

**DRA. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN**

*Vicerrectora de Investigación*

**M.Sc. EDWIN ADOLFO DÍAZ ORTÍZ**

*Decano (e) de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*

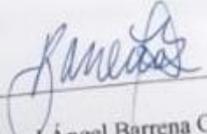
## **VISTO BUENO DEL ASESOR**

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, que suscribe, hace constar que ha asesorado en la ejecución de la tesis titulada “**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOABONOS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE BOVINO EN BIODIGESTOR TUBULAR EN NARANJOS, BAGUA, AMAZONAS**”, elaborada por la Bachiller en Ingeniería Ambiental:

### **RAQUEL MONTENEGRO DÍAZ**

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

Chachapoyas, 20 de noviembre del 2019.



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

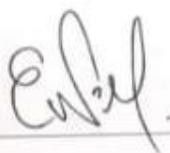
JURADO EVALUADOR



---

M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

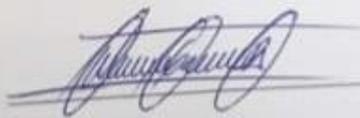
*Presidente*



---

M.Sc. Eli Pariente Mondragón

*Secretario*



---

Ing. Wildor Gosgot Angeles

*Vocal*

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

N.º Rosal Montesino Díaz

Identificación UNTRM N.º 71260997

Estudiante - Expediente N.º de la Escuela Profesional N.º

ING. Ambiental

de la Facultad N.º

ING. Civil y Ambiental

de la Universidad Nacional Tarma, Facultad de Ingeniería de Tarma.

**DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:**

1. Soy autor de la Tesis titulada: Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en bioreactor tubular en Nanayo, Bagua, Amazonas.

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 autenticidad, 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 los que en cualquier caso en el contenido de la Tesis.

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

Cuchayocoma, 22 de agosto de 2019

Firma del(a) estudiante

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

En la ciudad de Chachapoya, el día 31 de enero del año 2020, siendo las 8:00 pm horas, se aprueba Mantenegro Diaz Raquel, defendiendo en sesión pública la tesis titulada Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigeritor tubular en Navanjas, Bagua, Amazonas.

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

Presidente: Ing. M.Sc. Gina Alfredo Vergara Medina  
 Secretario: Ing. M.Sc. Eli Pariente Mondragón  
 vocal: Ing. Widor Gasgot Angeles

Precedió al 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.

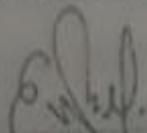
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para otorgar el Título Profesional, en términos de:

Aprobado ( X )

Desaprobado ( )

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

Siendo las 9:06 am horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

## INDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA .....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS .....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	vii
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	14
II. MATERIAL Y MÉTODOS .....	17
2.1. Área de estudio.....	17
2.2. Sistema de producción de biogás y bioabonos.....	18
2.2.1. Poza para el biodigestor .....	19
2.2.2. Biodigestor tubular de 12 m <sup>3</sup> .....	19
2.2.3. Poza de carga del biodigestor.....	20
2.2.4. Poza de descarga del biodigestor .....	20
2.2.5. Carga del biodigestor .....	21
2.3. Gasómetro .....	22
2.4. Tablero de purificación y control del biogás.....	22
2.5. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos.....	23
2.6. Efecto del biol y del biosol sobre la producción de alfalfa .....	24
III. RESULTADOS .....	26
3.1. Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	26
3.2. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos .....	28
3.3. Efecto del biol y del biosol sobre la producción de alfalfa.....	30
3.3.1. Altura de plantas.....	30
3.3.2. Peso fresco .....	34
3.3.3. peso seco.....	37
IV. DISCUSIÓN .....	39
IV. CONCLUSIONES .....	41
V. RECOMENDACIONES.....	42
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
VII. ANEXOS .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del lugar de ejecución de la investigación.....	17
Figura 2. Cobertizo y parcelas experimentales de alfalfa.....	18
Figura 3. Esquema de instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos..	18
Figura 4. Poza de sección trapezoidal para el biodigestor.....	19
Figura 5. Biodigestor tubular colocado en la poza.....	20
Figura 6. Poza de carga y poza de descarga del biodigestor.....	21
Figura 7. Ganado que aporta el estiércol que se procesa en el biodigestor.....	21
Figura 8. Gasómetro sujetado a las vigas del cobertizo, junto al biodigestor.....	22
Figura 9. Cartuchos para purificación del biogás.....	23
Figura 10. Cocina adaptada para funcionar a biogás.....	24
Figura 11. Carteles y parcelas experimentales de alfalfa.....	25
Figura 12. Biodigestor y gasómetro inflado por el biogás producido.....	27
Figura 13. Cartel informativo de la investigación y cartuchos con clavos de fierro que eliminan el H <sub>2</sub> S del biogás para dejarlo inodoro.....	27
Figura 14. Llama azul de la combustión del biogás en la cocina.....	28
Figura 15. Alimentos preparados en la cocina a biogás.....	29
Figura 16. Medida de la altura de las plantas de alfalfa en las parcelas experimentales.	30
Figura 17. Intervalos de crecimiento de la alfalfa según los tratamientos aplicados...	32
Figura 18. Prueba de la comparación múltiple de Dunnett.....	33
Figura 19. Intervalos de comparación de los tratamientos por la prueba Tukey.....	34
Figura 20. Cuadro de madera para evaluar el peso fresco de alfalfa/m <sup>2</sup> .....	34
Figura 21. Peso de la alfalfa al momento del corte y secado a la sombra.....	35
Figura 22. Alfalfa secada a la sombra para evaluar el peso seco/m <sup>2</sup> .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura ambiente del lugar donde se instaló el biodigestor. ....	26
Tabla 2. Tiempo de cocción de alimentos en la cocina a biogás. ....	29
Tabla 3. Datos de crecimiento de la alfalfa según cada uno de los tratamientos aplicados. ....	31
Tabla 4. Prueba de comparaciones múltiples de Dunnett con un control a los datos de crecimiento de alfalfa. ....	32
Tabla 5. Prueba de Tukey. ....	33
Tabla 6. Peso fresco de alfalfa /m <sup>2</sup> al momento del corte. ....	35
Tabla 7. Prueba de comparaciones múltiples de Dunnett con un control a los datos de peso fresco de alfalfa al momento del corte. ....	36
Tabla 8. Comparaciones en parejas de Tukey. ....	36
Tabla 9. Peso seco de la alfalfa/m <sup>2</sup> de las parcelas experimentales. ....	37
Tabla 10. Comparaciones múltiples de Dunnett con un control, para el peso seco de la alfalfa. ....	38
Tabla 11. Comparaciones en parejas de Tukey en peso seco de la alfalfa. ....	38

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el predio M y D ubicado en Naranjos, distrito y provincia de Bagua – Amazonas. Para procesar el estiércol de bovino se instaló un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 12 m<sup>3</sup> de volumen total; los 9 m<sup>3</sup> de volumen de trabajo son ocupado por la mezcla estiércol: agua en la relación de 1:5, los 3 m<sup>3</sup> restantes fueron ocupados por el biogás producido, luego de un tiempo de retención hidráulica de 20 días, con una temperatura ambiente promedio de 21,9 °C. El biogás producido cada día en el biodigestor, es usado como combustible en la cocina para la preparación de alimentos de los 4 integrantes de la familia, con un rendimiento promedio de 4,30 h/día. Los bioabonos son utilizados como fertilizantes orgánicos en parcelas experimentales de alfalfa, la evaluación se realizó durante 6 semanas, evidenciándose que las que recibieron los bioabonos superaron a las parcelas sin tratamiento (testigo) en crecimiento y producción hasta en un 50 %. Los beneficios de este sistema de energías limpias favorecen considerablemente al medio ambiente, de esta forma se mitiga los gases de efecto invernadero que serían emanados a la atmósfera por la descomposición del estiércol del ganado al pastoreo libre; al mismo tiempo, se reduce la utilización de fertilizantes químicos en la agricultura ya que los abonos orgánicos producidos en el biodigestor son muy eficaces para los cultivos de alfalfa.

**Palabras claves:** energía de la biomasa, adaptación al cambio climático.

## ABSTRACT

This research was carried out at the M and D farm located in Naranjos, district and province of Bagua - Amazonas. To process bovine manure, a tubular biodigester of PVC geomembrane with a total volume of 12 m<sup>3</sup> was installed; the 9 m<sup>3</sup> of work volume is occupied by the manure mixture: water in the ratio of 1: 5, the remaining 3 m<sup>3</sup> were occupied by the biogas produced, after a hydraulic retention time of 20 days, with an average ambient temperature of 21.9 ° C. The biogas produced every day in the biodigester is used as fuel in the kitchen for the preparation of food for the 4 members of the family, with an average yield of 4.30 h / day. The bioabonos are used as organic fertilizers in experimental alfalfa plots, the evaluation was carried out for 6 weeks, evidencing that those who received the bioabonos surpassed the plots without treatment (control) in growth and production up to 50% . The benefits of this clean energy system favor the environment considerably, thus mitigating the greenhouse gases that would be emitted into the atmosphere by the decomposition of cattle manure to free grazing; at the same time, the use of chemical fertilizers in agriculture is reduced since organic fertilizers produced in the biodigester are very effective for alfalfa crops.

**Keywords:** biomass energy, adaptation to climate change

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la preocupación por el cambio climático, está siendo un tema prioritario por atender, está enfocado en el desarrollo de las actividades económicas insostenibles las cuales generan grandes impactos ambientales y la ganadería es una de ellas (Qian *et al.*, 2018). Según la FAO, el sector ganadero es responsable del 9% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, del 35 - 40% de CH<sub>4</sub> y del 65% de N<sub>2</sub>O (Steinfeld *et al.*, 2006), gases causantes del cambio climático y el metano es uno de los principales, emitido en cantidades significativas durante el almacenamiento de estiércol de ganado dentro del sistema ganadero, generado a partir de su fermentación anaeróbica (Silva *et al.*, 2013), se podría aprovechar a través de una valorización energética para producir energía limpia como el biogás, que sustituya a los combustibles fósiles y junto a ello reduzca la deforestación para la obtención de leña, especialmente en zonas rurales, aportando en su desarrollo social y económico (Zareei, 2018; Kinyua *et al.*, 2016).

El biogás es un combustible ecológico porque permite reciclar o cerrar el ciclo del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido en su combustión. Para su obtención, el estiércol del ganado, se procesan en un sistema cerrado en condiciones anaeróbicas, el cual se denomina biodigestor. El sistema anaeróbico, aparte de producir biogás, se obtiene, subproductos denominados de manera general como bioabonos (biol y biosol) que sirven para regresar nutrientes al suelo, de manera que la producción de los cultivos sea mayor y se fomente la agricultura orgánica (Barrena *et al.*, 2019).

Para producir biogás se debe tomar en cuenta la temperatura y el tiempo de retención hidráulico (TRH) del estiércol en el biodigestor. Se debe considerar además la proporción de la mezcla estiércol:agua que va a ser procesada en el biodigestor, pues una mala relación del mismo podría no producir la cantidad de biogás deseada en el sistema, o incluso la pérdida de la generación del mismo (Ramírez, 2012).

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; 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 biogás suficiente para preparar diariamente los alimentos de una familia de 6 miembros;

así como también da las bases para un manejo orgánico y sostenible del cultivo del café empleando los bioabonos para fertilización orgánica, siendo además este sistema una alternativa viable para reducir la contaminación ambiental producida por el estiércol del ganado.

Barrena *et al.* (2019), determinaron que el TRH de un sistema de producción de biogás 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 biogás en función de la temperatura (T: °C) ambiente, con un ajuste  $R^2 = 0,924$ .

Según Chauca (2010), 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 la proporción 1:5, conectado a un gasómetro del mismo material de 2 m, de largo por 1,27 m, de diámetro; permite producir y almacenar biogás suficiente para preparar los alimentos de cada día de una familia de 6 miembros, lo que requirió un tiempo promedio de 4 horas con 27 minutos. Concluyó que el biol y el biosol aplicados a parcelas experimentales de alfalfa favorecieron el enraizamiento e incrementaron su macollamiento, en consecuencia, mayor cantidad de alimento para el Ganado.

Cubas (2018), concluyó que las parcelas experimentales de pasto nicarion que fueron abonadas con biol y biosol, mostraron mayor crecimiento de este pasto superando en casi el doble del tamaño al testigo. Además, el biosol promovió la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco del pasto nicarion.

Por su parte, Broncano (2019), empleó el bioabono como fertilizante orgánico para el pasto elefante en parcelas experimentales de 10 m<sup>2</sup>; aquellas que se les aplicó 6 L de biol, 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.

Por lo tanto, evaluar la contribución de la producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular para mejorar la calidad de vida de la familia usuaria en Naranjos, Bagua, Amazonas. En tal sentido implementar un biodigestor tubular de acuerdo a la cantidad de estiércol disponible para su procesamiento, y producir biogás y fertilizantes orgánicos (bioabonos), asimismo determinar el tiempo necesario

para preparar los alimentos usuales diarios de la familia, por ende, los beneficios del biogás y de los bioabonos para mejorar la calidad de vida de la familia usuaria en Naranjos, Bagua, Amazonas.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en Naranjos, ubicado en el distrito y provincia de Bagua, Región Amazonas, propiedad del Sr. Mauro Mariano Montenegro Suarez.

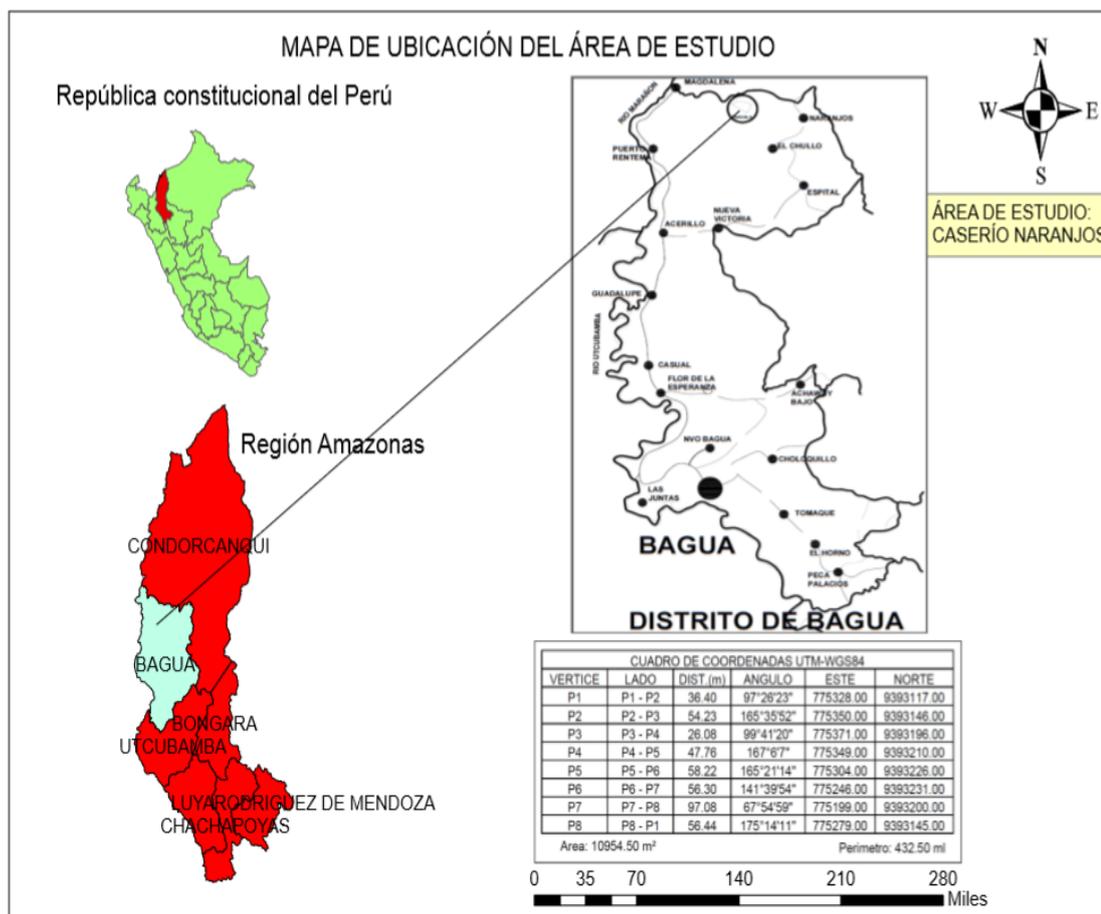


Figura 1. Mapa de ubicación del lugar de ejecución de la investigación

## 2.2. Sistema de producción de biogás y bioabonos

Para proteger el sistema de producción de biogás y bioabonos de la radiación solar directa y de las lluvias, se construyó un cobertizo de 15 m de largo por 4 m, de ancho, con seis muros de 2 m de altura, hechos de adobe, para soportar la estructura de madera para el techo de calamina (Figura 2). Este sistema se instaló siguiendo lo establecido por Barrena *et al.* (2019), cuyo esquema se muestra en la Figura 3.



Figura 2. Cobertizo y parcelas experimentales de alfalfa.

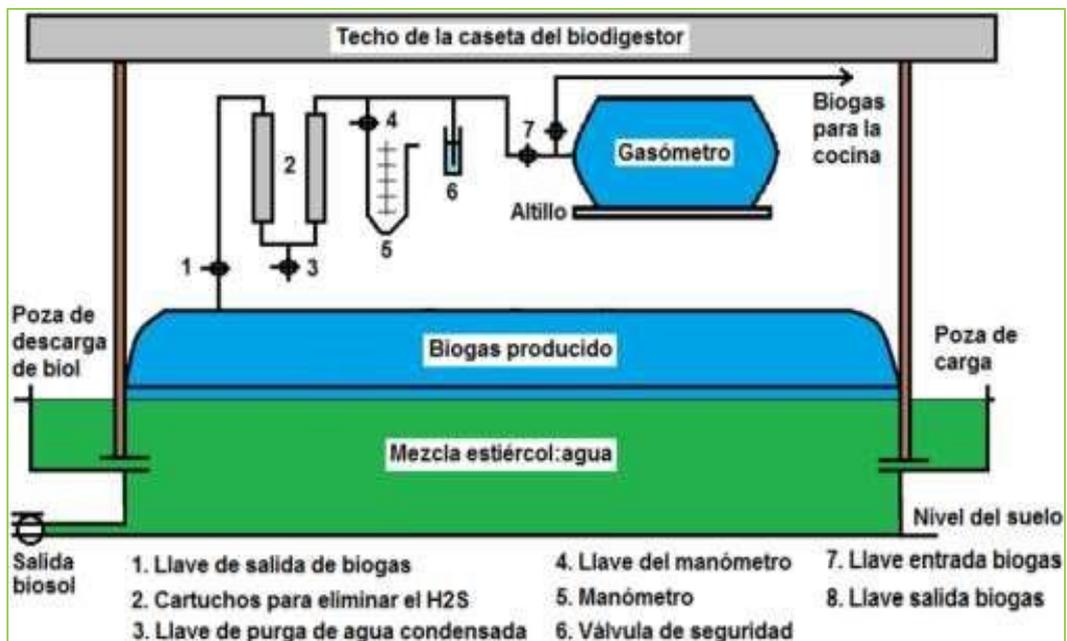


Figura 3. Esquema de instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos.

Fuente: Barrena *et al.* (2019).

### 2.2.1. Poza para el biodigestor

Se hizo una zanja excavada en el suelo, de sección trapezoidal, de 10 m de largo por 0,90 m de ancho a nivel del suelo, de 0,90 m de profundidad y 0,70 m de ancho en el fondo. Se le colocó arena fina para proteger la geomembrana de algunos elementos punzo cortantes, y a todo lo largo, en ambos lados de la zanja, se colocó planchas de Tecnopor de 1" para ayudar a proteger de cualquier elemento cortante y actuar como aislante térmico para evitar la disipación del calor producido en la fermentación de la mezcla estiércol:agua contenida en el biodigestor. Sobre el tecnopor se colocó una manta de polietileno.



Figura 4. Poza de sección trapezoidal para el biodigestor.

### 2.2.2. Biodigestor tubular de 12 m<sup>3</sup>

Un biodigestor tubular, es un recipiente cilíndrico con entradas y salidas controladas para evitar el ingreso de aire, donde se realiza la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) del estiércol, realizada por las bacterias que habitan en este, transformándolo en biogás y bioabonos.

El biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 1 mm de espesor empleado en la presente investigación, tiene las siguientes medidas: 1,27 m de diámetro x 10,0 m de largo, resultando un volumen total de 12 m<sup>3</sup>, del que 9 m<sup>3</sup> son ocupadas por la mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5, los 3 m<sup>3</sup> remanentes son ocupados por el biogás producido por la digestión anaerobia. La tapa en un extremo del biodigestor tiene en su centro una manga de entrada de 4" de diámetro que lo conecta a la poza de carga; y en el otro extremo, tiene una manga en su centro del

mismo diámetro para salida del biol y a ras del fondo tiene otra manga similar para salida de lodos de fondo (biosol). El biodigestor tiene un niple de 1” para salida de biogás fijada en el lomo del biodigestor con accesorios de PVC. Las mangas están reforzadas y selladas por calor.



Figura 5. Biodigestor tubular colocado en la poza.

### **2.2.3. Poza de carga del biodigestor**

La poza de carga o boca de alimentación, se construyó de cemento de 0,5 m de largo; 0,5 m de ancho y 1 m de profundidad la misma que tiene la finalidad de facilitar la carga del biodigestor hasta su volumen de trabajo y posteriormente su alimentación. Esta poza se conecta a la manga de alimentación o entrada del biodigestor con tubo de PVC de 4” ubicado a ras del piso de esta poza.

### **2.2.4. Poza de descarga del biodigestor**

La poza o boca de descarga, se encuentra en el otro extremo de la zanja para el biodigestor. Es de las mismas dimensiones, material y forma que la poza de carga. Se conecta a la manga de salida de biol del biodigestor con tubo de PVC de 4” ubicado a ras del piso de esta poza. Por debajo de esta poza pasa un tubo de PVC de 4” que sale a ras de la zanja del biodigestor; la manga de salida de biosol se conecta a este tubo y el otro extremo del tubo queda expuesto y se cierra con una reducción de PVC de 4” a 2” y una llave de paso de plástico de 2” para facilitar y regular la extracción del biosol o lodos sedimentados.



Figura 6. Poza de carga y poza de descarga del biodigestor.

### 2.2.5. Carga del biodigestor

El biodigestor se cargó hasta su volumen de trabajo ( $9 \text{ m}^3$ ) con la mezcla estiércol:agua en la proporción de 1:5, empleando estiércol fresco del ganado de la familia Montenegro. La mezcla se preparó en un cilindro de 200 L, por lo que para llegar al volumen de trabajo se requirieron  $9000 \text{ L} / 200 \text{ L} = 45$  cilindros. La cantidad necesaria de estiércol fresco de ganado vacuno fue de  $9000 \text{ L} / 6 = 1500 \text{ kg}$ . Para cada cilindro se necesitó  $200/6 = 33,3 \text{ kg}$  de estiércol, lo que equivale a 1 balde de 20 L más  $\frac{3}{4}$  de ese mismo balde. La mezcla se fue preparando cada día empleando el estiércol disponible, lográndose preparar un promedio de 10 cilindros por día, completándose la carga del biodigestor en 5 días. Luego, se dejó que ocurra la descomposición anaeróbica de la mezcla estiércol:agua para que produzca biogás y bioabonos.



Figura 7. Ganado que aporta el estiércol que se procesa en el biodigestor.

### 2.3. Gasómetro

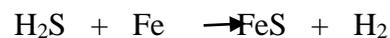
Está hecho de geomembrana de PVC de 1 mm de espesor, con forma de almohada de 1,40 m por 3,0 m, con un volumen de 2,70 m<sup>3</sup>; tiene ojajillos en su perímetro para asegurarlo a su soporte y un niple de PVC roscado de 1" de diámetro en uno de sus extremos para la entrada y salida del biogás. La función del gasómetro es almacenar el biogás para la cocción de alimentos entre otros usos.



Figura 8. Gasómetro sujetado a las vigas del cobertizo, junto al biodigestor.

### 2.4. Tablero de purificación y control del biogás

Se utilizó dos cartuchos de PVC de 2" de 0,50 m de largo con reducciones de 2" a 1/2" en ambos extremos, rellenos con clavos de fierro de 2" (2,5 kg por cartucho), que sirven para eliminar el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) contenido en el biogás, mediante la reacción química:



El sulfuro ferroso (FeS) queda adherido a la superficie de los clavos y el hidrógeno (H<sub>2</sub>), que también es combustible, se incorpora al flujo de biogás. Ambos cartuchos están conectados en su base por un puente en U de tubo y accesorios de PVC de 1/2", con una llave de paso para eliminar el agua que condense que forma parte del biogás.



Figura 9. Cartuchos para purificación del biogás.

A continuación de estos cartuchos se añadió una válvula de seguridad que permite prefijar la presión de operación del sistema de producción de biogás, que consiste de una botella de plástico de 3 litros, colgada de una viga, con agua hasta  $\frac{3}{4}$  de su volumen, donde se introduce 10 cm de la rama de la tubería de conducción del biogás hecha de tubo y accesorios de PVC de  $\frac{1}{2}$ " que tiene en su parte final ranuras cada centímetro para facilitar la lectura, cuando la presión del biogás en el sistema supere los 10 cm, de presión de agua, el biogás saldrá por la boca de esta rama burbujeando en el agua de la botella y se disipará al medio ambiente, con esta válvula de seguridad se evitará que la presión del sistema sea mayor a 10 cm, de agua con lo que se prolongará la vida útil del biodigestor y del gasómetro.

## 2.5. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos

Se tomó en cuenta la investigación de Barrena *et al.* (2019) para determinar el rendimiento del biogás en la cocción de alimentos (arroz, yuca, lenteja, pollo, camote, agua), para lo que se adaptó una cocina comercial de dos hornillas a gas propano para que funcione a biogás; para ello, se conectó directamente los quemadores a la tubería de conducción del biogás, cuyo flujo se controla con llave de paso de  $\frac{1}{2}$ " de plástico debido a que la presión del biogás es menor a la presión comercial del gas propano.



Figura 10. Cocina adaptada para funcionar a biogás.

## 2.6. Efecto del biol y del biosol sobre la producción de alfalfa

Para determinar el efecto de los bioabonos (biol y biosol) sobre el cultivo de alfalfa, se instaló 12 parcelas experimentales de 2 m por 4 m. Para sembrar cada parcela se empleó 41 gramos de semilla de alfalfa. Los tratamientos empleados fueron: Tratamiento testigo: no se aplicó bioabonos. Tratamiento B: se aplicó 4 L de biol diluido con 4 L de agua, proporción 1:1. Tratamiento BS: se aplicó 4 L de biosol diluido con 4 L de agua, proporción 1:1. Tratamiento X: se aplicó en la proporción 2 L de Biol + 2 L de Biosol diluido en cuatro litros de agua, proporción 1:1. Los bioabonos se aplicaron una vez por semana, durante seis semanas, desde el inicio en que se cortó el remanente de alfalfa a ras de suelo, hasta una semana antes del corte. La aplicación del biol diluido al suelo y al follaje (como abono foliar) se hizo con motopulverizador. El biosol diluido y la mezcla biol + biosol, se aplicaron como riego al suelo, con una jarra.

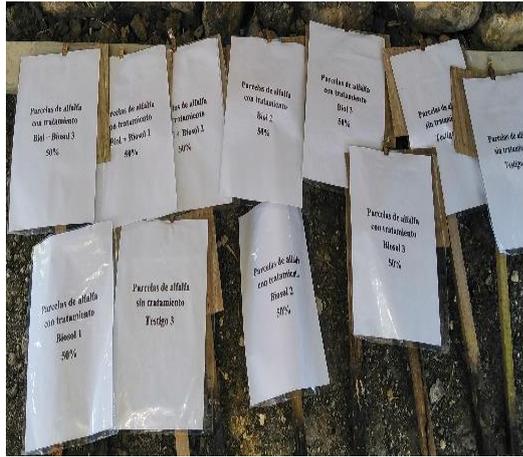


Figura 11. Carteles y parcelas experimentales de alfalfa.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Es el tiempo, en días, que requiere la descomposición anaeróbica de la mezcla estiércol:agua en el biodigestor, para inflar completamente su cúpula con el biogás producido, contados desde que el biodigestor fue cargado a su volumen de trabajo. Este tiempo está relacionado directamente a la temperatura ambiente (Barrena et al., 2019).

Tabla 1. Temperatura ambiente del lugar donde se instaló el biodigestor.

Día	Temperatura (°C)		
	06:00 am	12:00 m	06:00 pm
1	18	25	22
3	16	24	21
4	24	24	23
5	24	25	20
6	20	26	19
7	22	25	20
8	19	26	22
9	16	25	23
10	17	25	22
11	18	25	25
12	18	23	23
13	21	23	22
14	19	24	20
15	20	23	21
16	19	26	26
17	17	25	23
18	18	24	26
19	18	26	20
20	19	25	19
Promedio de 20 días	19.0	24.7	22.0
<b>Promedio de temperatura ambiente 21,9 °C</b>			

Desde que el biodigestor se cargó con la mezcla estiércol:agua en la relación 1:5 hasta su volumen de trabajo, tardó 20 días para llenar con biogás la cúpula del biodigestor y su gasómetro. Entonces, 20 días fue el TRH, a una temperatura ambiente promedio de 21,9 °C. El sistema alcanzó una presión de 10 cm de agua. A partir de este día se inicia el uso del biogás como combustible y se debe alimentar el biodigestor cada día con 200 L de mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5 para mantener la producción y se cosecha 200 L de biol para los cultivos.



Figura 12. Biodigestor y gasómetro inflado por el biogás producido.



Figura 13. Cartel informativo de la investigación y cartuchos con clavos de hierro que eliminan el  $H_2S$  del biogás para dejarlo inodoro.

### 3.2. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos

Una vez llena de biogás la cúpula del biodigestor y el gasómetro, se hizo una prueba demostrativa con una olla de aluminio con 3 litros de agua, que tardó 14 minutos en hervir. El biogás se combustiona produciendo una llama azul, indicadora de combustión total, que no produce tizne, manteniendo limpia la parte externa de las ollas. A 10 cm de presión de agua del sistema, la llama del biogás en la hornilla o quemador de la cocina con la llave completamente abierta, puede alcanzar 60 cm de altura.



Figura 14. Llama azul de la combustión del biogás en la cocina.

Posteriormente, se condujo el biogás desde el gasómetro por tubería de PVC de ½” hasta la cocina de la vivienda de la familia del predio M & D, para ser utilizado en la cocción diaria de los alimentos, actividad en la que se evaluó por un periodo de 5 días sucesivos el tiempo necesario para la preparación de cada uno de los alimentos más utilizados en la zona, lo que finalmente permitirá conocer la cantidad de horas que se requieren para la preparación diaria de los alimentos de la familia (Tabla 2).



Figura 15. Alimentos preparados en la cocina a biogás.

Tabla 2. Tiempo de cocción de alimentos en la cocina a biogás.

<b>Alimentos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo promedio (minutos)</b>
Arroz	0.5 kg	33.2
Agua	4 L	19.6
Yuca	1 kg	43.4
Lenteja	1 kg	48.0
Pollo	1 kg	62.6
Camote	1 kg	51.4
<b>Total</b>		<b>258.2 = 4.30 h</b>

### 3.3. Efecto del biol y del biosol sobre la producción de alfalfa

#### 3.3.1. Altura de planta

Cada semana, antes de la aplicación de los bioabonos a las parcelas experimentales de alfalfa, se realizó la medición de la altura de planta con wincha. Esta actividad se realizó hasta la semana siete en que se cosechó la alfalfa cortándola a ras del suelo.



Figura 16. Medida de la altura de las plantas de alfalfa en las parcelas experimentales.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del crecimiento de la alfalfa durante los días evaluados (del 01 de setiembre al 06 de octubre del 2019) y de acuerdo a los tratamientos aplicados (testigo, biol, biosol y biol + biosol), así como los promedios de altura obtenida con cada una de los tratamientos. El 01 de setiembre, las plantas de alfalfa en las parcelas experimentales estaban cortadas a ras del suelo, por lo que el primer dato de altura de planta se reportó el 08 de setiembre de 2019.

Tabla 3. Datos de crecimiento de la alfalfa según cada uno de los tratamientos aplicados.

Tratamientos		08/09/19	15/09/2019	22/09/19	29/09/2019	06/10/2019
Testigo	T1	20	24	28	31	33
	T2	21	27	30	32	38
	T3	17	25	32	34	40
	Promedio	19	25	30	32	37
Biol	B1	32	75	82	90	104
	B2	29	65	85	100	110
	B3	25	62	82	98	108
	Promedio	29	67	83	96	107
Biosol	BS1	22	70	75	84	96
	BS2	27	60	80	92	102
	BS3	23	60	80	97	107
	Promedio	24	63	78	91	102
Biol + Biosol	X1	30	69	74	97	105
	X2	25	63	78	85	100
	X3	23	61	70	99	105
	Promedio	26	64	74	94	103

En la Figura 17, se muestran los intervalos de crecimiento de la alfalfa según los tratamientos aplicados. El testigo se encuentra en un rango inferior que los otros tres tratamientos.

A

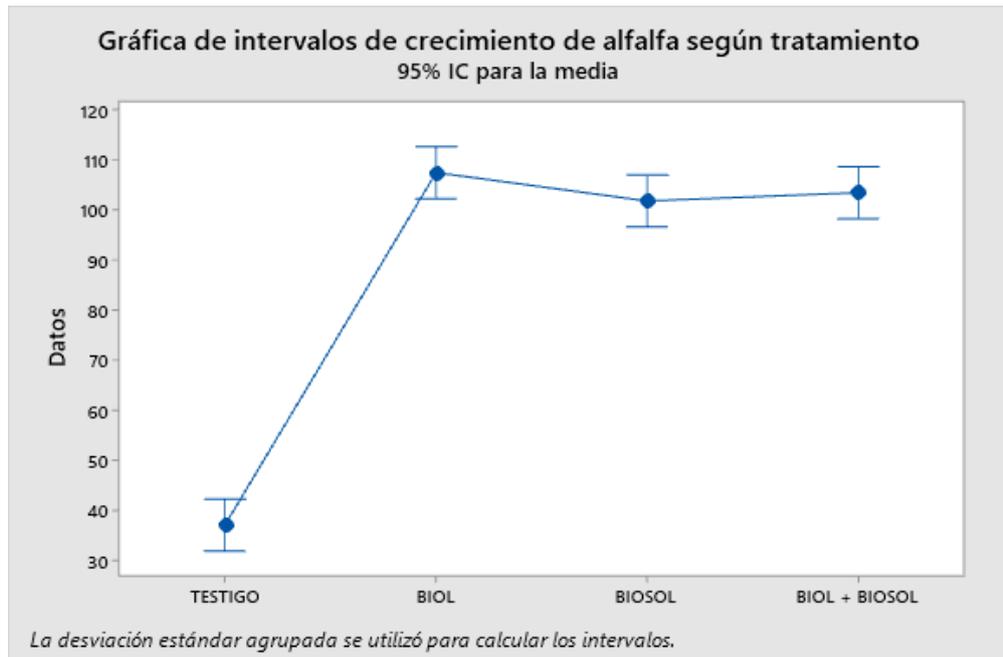


Figura 17. Intervalos de crecimiento de la alfalfa según los tratamientos aplicados.

Con los datos obtenidos se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Dunnett con un control, donde los tratamientos de Biol, Biosol y Biol + Biosol son significativamente diferentes al testigo, lo cual se muestra en la Tabla 4 y Figura 18.

Tabla 4. Prueba de comparaciones múltiples de Dunnett con un control a los datos de crecimiento de alfalfa.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Testigo (control)	3	37.00	A
Biol	3	107.33	
Biol + Biosol	3	103.33	
Biosol	3	101.67	

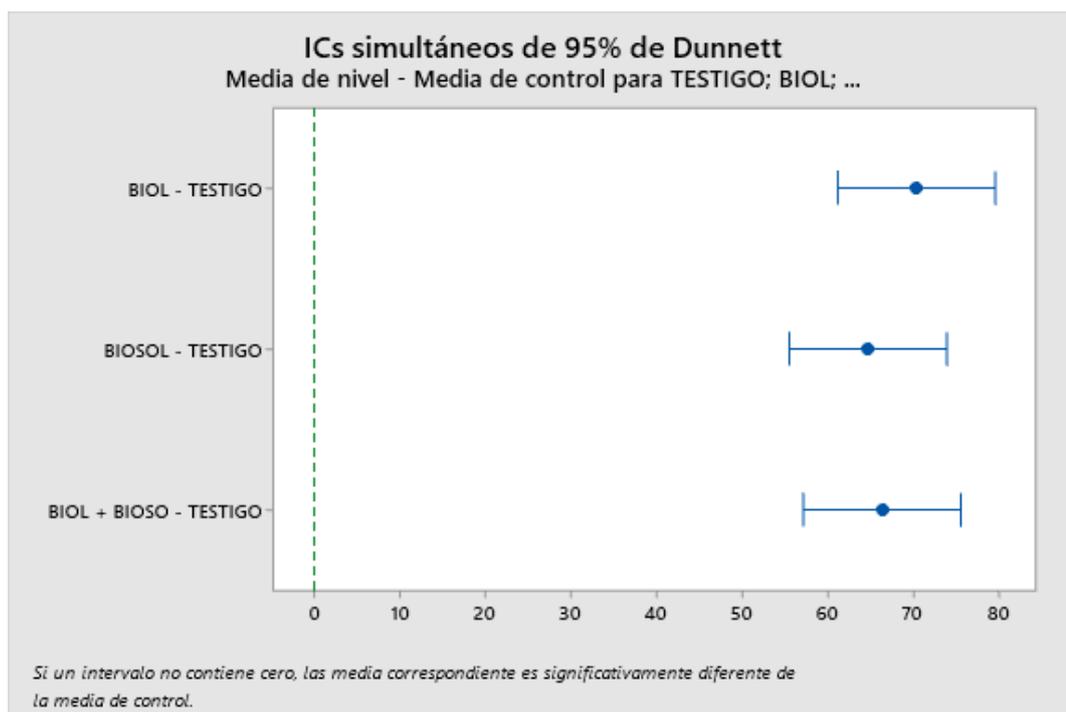


Figura 18. Prueba de la comparación múltiple de Dunnett.

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Además, se aplicó la prueba de Tukey, para encontrar las diferencias significativas entre todos los tratamientos aplicados en el crecimiento de alfalfa. El único tratamiento significativamente diferente es el testigo comparado con los demás tratamientos, como se muestra en la Tabla 5 y Figura 19.

Tabla 5. Prueba de Tukey

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Biol	3	107.33	A
Biol + biosol	3	103.33	A
Biosol	3	101.67	A
Testigo	3	37.00	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

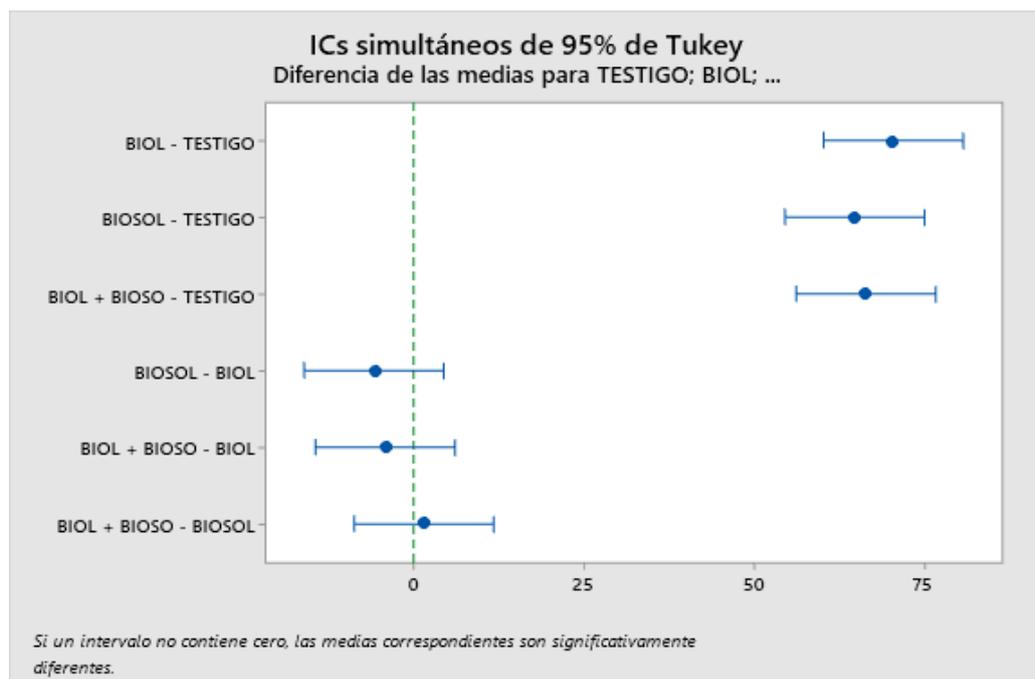


Figura 19. Intervalos de comparación de los tratamientos por la prueba Tukey.

### 3.3.2. Peso fresco

A la séptima semana de crecimiento de la alfalfa, después de haber realizado la última medición de la altura de planta, se procedió a la cosecha de la alfalfa. Para ello, se arrojó dentro de cada una de las parcelas un cuadro de madera de 1 m por lado y se cortó toda la alfalfa contenida en éste, para pesarla enseguida y consignar el dato como peso de alfalfa al momento del corte por metro cuadrado (peso fresco/m<sup>2</sup>).



Figura 20. Cuadro de madera para evaluar el peso fresco de alfalfa/m<sup>2</sup>.



Figura 21. Peso de la alfalfa al momento del corte y secado a la sombra.

Después de haber pesado la alfalfa cortada de cada una de las parcelas experimentales, se puso a secar en el cobertizo del sistema de producción de biogás y bioabonos, con su letrero respectivo para evaluar el peso seco/m<sup>2</sup>. Los datos de peso fresco de la alfalfa al momento del corte de cada una de las parcelas experimentales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Peso fresco de alfalfa/m<sup>2</sup> al momento del corte.

Tratamientos		Peso al momento del corte kg/m <sup>2</sup>
Testigo	T1	0,50
	T2	0,60
	T3	0,65
	Promedio	0,58
Biol	B1	2,70
	B2	2,80
	B3	2,60
	Promedio	2,70
Biosol	BS1	8,10
	BS2	2,30
	BS3	2,50
	Promedio	4,30
Biol + Biosol	X1	2,60
	X2	2,00
	X3	1,90
	Promedio	2,17

Se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Dunnett con un control, al peso fresco de la alfalfa al momento del corte, donde los tratamientos de Biol, Biosol y Biol + Biosol son significativamente diferentes al testigo (Tabla 7).

Tabla 7. Prueba de comparaciones múltiples de Dunnett con un control a los datos de peso fresco de alfalfa al momento del corte.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Testigo (control)	3	0.5833	A
Biol	3	2.867	
Biosol	3	2.267	
Biol + Biosol	3	2.167	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Además, se aplicó la prueba de Tukey, para encontrar las diferencias significativas entre todos los tratamientos aplicados. Para el peso de alfalfa, el único tratamiento significativamente diferente es el testigo, comparado con los demás tratamientos, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparaciones en parejas de Tukey.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>	
Biol	3	2.867	A	
Biosol	3	2.267	A	B
Biol + Biosol	3	2.167	B	
Testigo	3	0.5833	C	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### 3.3.3 Peso seco

Después de haber secado a la sombra, durante una semana, la alfalfa recién cortada de cada parcela experimental, se procedió a pesar cada paquete correspondiente a la evaluación de peso fresco al momento del corte, para esta vez expresar el resultado como peso seco/m<sup>2</sup>.



Figura 22. Alfalfa secada a la sombra para evaluar el peso seco/m<sup>2</sup>.

Tabla 9. Peso seco de la alfalfa/m<sup>2</sup> de las parcelas experimentales.

	Tratamientos	Peso seco (kg/m <sup>2</sup> )
Testigo	T1	0,10
	T2	0,15
	T3	0,18
	<b>Promedio</b>	<b>0,14</b>
Biol	B1	0,70
	B2	0,80
	B3	0,60
	<b>Promedio</b>	<b>0,70</b>
Biosol	BS1	0,40
	BS2	0,60
	BS3	0,50
	<b>Promedio</b>	<b>0,50</b>
Biol + biosol	X1	0,60
	X2	0,40
	X3	0,30
	<b>Promedio</b>	<b>0,43</b>

Tabla 10. Comparaciones múltiples de Dunnett con un control, para el peso seco de la alfalfa.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Testigo (control)	3	0.1433	A
Biol	3	0.7000	
Biosol	3	0.5000	
Biol + Biosol	3	0.4333	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Tabla 11. Comparaciones en parejas de Tukey en peso seco de la alfalfa.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Biol	3	0.7000	A
Biosol	3	0.5000	A
Biol + Biosol	3	0.4333	A
Testigo	3	0.1433	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### IV. DISCUSIÓN

Debido al agotamiento de los combustibles fósiles, estos suben de precio; además, su combustión genera un aumento de los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global. Por tal motivo, es de suma importancia tener en cuenta las fuentes de energías renovables, que son completamente amigables con el medio ambiente y ayudan a minimizar el uso de combustibles fósiles, contribuyendo a la adaptación al cambio climático (Salazar, 2017).

Por ello, la implementación de un biodigestor tubular de geomembrana de PVC, de 12 m<sup>3</sup> de volumen total, con un volumen de trabajo de 9 m<sup>3</sup>, ubicado en el predio M & D en Naranjos, distrito y provincia de Bagua – Amazonas, donde se procesa cada día 40 kg de estiércol de ganado vacuno, con un tiempo de retención hidráulica de 20 días a la temperatura ambiente promedio de 21,9 °C, teniendo un valor muy significativo para la familia de manera que el aporte de 4,30 h/día de biogás es suficiente para la cocción de alimentos de los 4 integrantes de la familia, evitando la deforestación para leña y el consumo de gas propano. Además, los bioabonos (biol y biosol), aplicados en parcelas experimentales de alfalfa en dilución 1:1 con agua, produjeron un incremento de la producción expresado en altura de planta siendo 2,9 veces mayor que el testigo; con respecto al peso fresco al momento del corte, las parcelas que recibieron biosol produjeron mayor macollamiento (más tallos por planta) por lo que produjeron 7,5 veces más peso que el testigo y 1,6 veces más que las parcelas a las que se aplicó biol. Esto evidencia los beneficios que brindan los bioabonos, incrementando la producción de alimento para el ganado en cantidad y calidad, lo que repercutirá en mayores ingresos para los usuarios de esta tecnología amigable con el medio ambiente.

Similar a lo demostrado por Chauca, 2010; con un TRH de 42 días, a temperatura ambiente de 14 °C, el tiempo de uso del biogás para la cocción de alimentos para la familia de 6 miembros fue de 4,27 h/día; asimismo, los bioabonos utilizados en parcelas experimentales de alfalfa lograron incrementar el tamaño de la planta y el enraizamiento, el peso al momento del corte y la materia seca, significativamente con respecto al testigo. Mientras que, Cubas (2018); instaló un biodigestor similar con un TRH de 29 días, a temperatura ambiente menor de 14°C, satisfaciendo con 4,13 h/día de uso de biogás para la preparación de los alimentos diarios de la familia, por otro lado, los bioabonos aumentan la producción del pasto nicarion.

Broncano (2019), construyó un biodigestor de manga de polietileno de 5,67 m<sup>3</sup>, con un volumen de trabajo de 4,25 m<sup>3</sup>, siendo 20 días el TRH, a temperatura ambiente promedio de 20,2 °C, el biogás se emplea 4,18 h/día para la cocción de alimentos de la familia de 5 integrantes; y los bioabonos los aplicó en parcelas experimentales de pasto elefante utilizando 6 L de biol por parcela, superando su producción en un 42,5 % al testigo.

Julca (2013), instaló un biodigestor semejante, con TRH de 20 días; permite producir y almacenar biogás suficiente para preparar los alimentos de una familia de 6 miembros; además, los efluentes orgánicos (bioabonos), los utilizó en cultivos de café, con lo que incrementó su follaje y en consecuencia su producción constituyéndose en una alternativa viable y sostenible para la producción orgánica del café.

La tecnología del biogás disminuirá el impacto ambiental de la ganadería al confinar el metano contenido en el biogás para emplearlo como combustible en una cocina, que a su vez reduce el poder de efecto invernadero del metano en 25 veces debido a que la combustión de una molécula de metano produce una sola molécula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Barrena *et al.*, 2009). Estos resultados coinciden con lo reportado por Chauca (2010), Cubas (2018), Broncano (2019), Barrena *et al.* (2019) y Julca (2013), que aplicaron los bioabonos (biol y biosol) a diversos cultivos, con resultados que superaron grandemente al testigo, por lo que es recomendable su uso.

La presente investigación, a una temperatura ambiente de 21,9°C, se tuvo un TRH de 20 días, lo que está de acuerdo a lo mencionado por Barrena *et al.* (2019), que a mayor temperatura ambiente, menor TRH; sin embargo, recomienda que la mezcla estiércol:agua debe estar mínimo 25 días dentro del biodigestor para que los bioabonos sean de mejor calidad, lo que ha sido tenido en cuenta en los trabajos mencionados. Entonces, como lo demostrado en la investigación, el uso del biogás y de los bioabonos contribuyen a controlar la contaminación ambiental causada por la ganadería y generan beneficios sociales, económicos y ambientales.

#### IV. CONCLUSIONES

- Se instaló un sistema de producción de biogás y bioabonos constituido por un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 1 mm de espesor, de 1,27 m de diámetro x 10,0 m de largo, de un volumen total de 12 m<sup>3</sup>, del que 9 m<sup>3</sup> son ocupadas por la mezcla estiércol:agua en la proporción 1:1, los 3 m<sup>3</sup> restantes son ocupados por el biogás producido por la digestión anaerobia. Además, un gasómetro de 2 m<sup>3</sup> para almacenar biogás y tener más combustible disponible para la cocina.
- El biodigestor tuvo un tiempo de retención hidráulica de 20 días a temperatura ambiente promedio de 21,9 °C y produce biogás suficiente para la cocción de los alimentos que consume diariamente la familia, con lo que se evita el uso de leña o gas propano para esta actividad.
- Los bioabonos (biol y biosol) efluentes del biodigestor, al aplicarse a cultivos de alfalfa en dilución 1:1 con agua, propician un mayor desarrollo vegetativo con lo que se dispondrá de alimento para el ganado en mayor cantidad y calidad. El reemplazo de los fertilizantes sintéticos por los bioabonos aporta a la sostenibilidad de la actividad ganadera y a la recuperación de la fertilidad natural de los suelos agrícolas.
- La tecnología del biogás contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria, debido a que permite retener en el biodigestor el metano que, al ser usado como combustible en la cocina, reduce su poder de gas de efecto invernadero, generando beneficios ambientales y además económicos porque los usuarios ya no tendrán necesidad de comprar gas propano ni leña para cocinar. Asimismo, por ser un gas que combustiona con llama azul, indicador de combustión total por lo que no tizna ni genera humos tóxicos para la persona que prepara los alimentos, como si lo hace la leña, ampliamente usada en el sector rural.

## V. RECOMENDACIONES

- Emplear el sistema instalado para producir biogás y bioabonos, por consiguiente, las parcelas experimentales de alfalfa, como ejemplo, para difundir dicha tecnología.
- Difundir los biodigestores en zonas ganaderas ya que tiene múltiples beneficios como el beneficio económico, al no ser necesario el uso del gas propano ni de leña; además, el aprovechamiento de los bioabonos para venta o consumo. En consecuencia, los beneficios sociales y ambientales; a través de la reducción de gases de efecto invernadero, el no uso de combustibles fósiles, eliminación de vectores transmisores de enfermedades y la reducción de tala de bosques para leña.
- Usar materiales disponibles en la zona para hacer un sistema de producción de biogás y bioabonos, con la finalidad de reducir gastos de instalación.
- El biodigestor debe ser ubicado cerca de la zona donde se recoge las excretas del ganado y la zona de consumo del biogás.
- Proteger con un cerco perimétrico el sistema instalado, para evitar que sean afectados por los animales; además, hacer una canaleta de drenaje pluvial para evitar la inundación del mismo en épocas de lluvia intensa.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrena, M. A., Maicelo, J. L., Gamarra, O. A., Oliva, M., Leiva, S. T, Taramona, L. A, Huanes, M. A, Ordinola, C. M.. (2019). Biogás: producción y aplicaciones. Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez Mendoza.
- Barrena Gurbillón, Miguel Ángel; Cubas Alarcón, Franklin; Gosgot Angeles, Wildor; Ordinola Ramírez, Carla María; Rascón Barrios, Jesús & Huanes Mariños, Milton. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725-734. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214>
- Broncano, E. (2019). Beneficios de la producción de biogás y bioabonos usando estiércol de ganado vacuno, pulpa de café y aguas mieles en el centro poblado de Aguas Verdes, Pardo Miguel, Naranjos, Rioja, San Martín.
- Cepero, L.; Savran, Valentina; Blanco, D.; Díaz Piñón, M.R.; Suárez, J. y Palacios, A. (2012). Producción de biogás 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](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200009&lng=es&nrm=iso).
- Cubas, F. (2018). Implementación y rendimiento de un sistema de producción de biogas y bioabonos de 12m<sup>3</sup> a partir del estiércol de ganado bobino en el fundo palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas. Chachapoyas.
- Dong, L.; Cao, G.; Guo, X.; Liu, T.; Wu, J. y Ren, N. (2019). Producción eficiente de biogás a partir de estiércol de ganado en un reactor de flujo de tapón: un estudio a gran escala a largo plazo. *Tecnología de biorecurso*, 278, 450-455.
- Im, S.; Petersen, S.O.; Lee, D. y Kim, D.H. (2020). Efectos de la temperatura de almacenamiento en las emisiones de CH<sub>4</sub> del estiércol del ganado y el potencial de producción de biogás posterior. *Waste Management*, 101, 35-43.
- Kinyua, M.N.; Rowse, L.E. y Ergas, S.J. (2016). Revisión de digestores anaerobios tubulares a pequeña escala para el tratamiento de desechos de ganado en el mundo en desarrollo. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 896-910.

- Qian, Y.; Song, K.; Hu, T. y Ying, T. (2018). Estado ambiental de los sectores ganadero y avícola en China en la etapa actual de transformación. *Science of the Total Environment*, 622, 702-709.
- Salazar, P. (2017). Diseño e instalación del biodigestor tipo laguna cubierta, del establo de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, Amazonas.
- 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>.
- Zareei, S. (2018). Evaluación del potencial de biogás de estiércol de ganado y desechos rurales utilizando SIG en Irán. *Energías renovables*, 118, 351-356.

## VII. ANEXOS

### ANEXO 1. Análisis de varianza de la altura de alfalfa ANOVA de un solo factor, Testigo vs Tratamientos.

HOJA DE TRABAJO 1

#### ANOVA de un solo factor: TESTIGO; BIOL; BIOSOL; BIOL + BIOSOL

##### Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupone igualdad de varianzas para el análisis.

##### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	TESTIGO; BIOL; BIOSOL; BIOL + BIOSOL

##### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	10184.7	3394.89	222.62	0.000
Error	8	122.0	15.25		
Total	11	10306.7			

##### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.90512	98.82%	98.37%	97.34%

##### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
TESTIGO	3	37.00	3.61	(31.80; 42.20)
BIOL	3	107.33	3.06	(102.13; 112.53)
BIOSOL	3	101.67	5.51	(96.47; 106.87)
BIOL + BIOSOL	3	103.33	2.89	(98.13; 108.53)

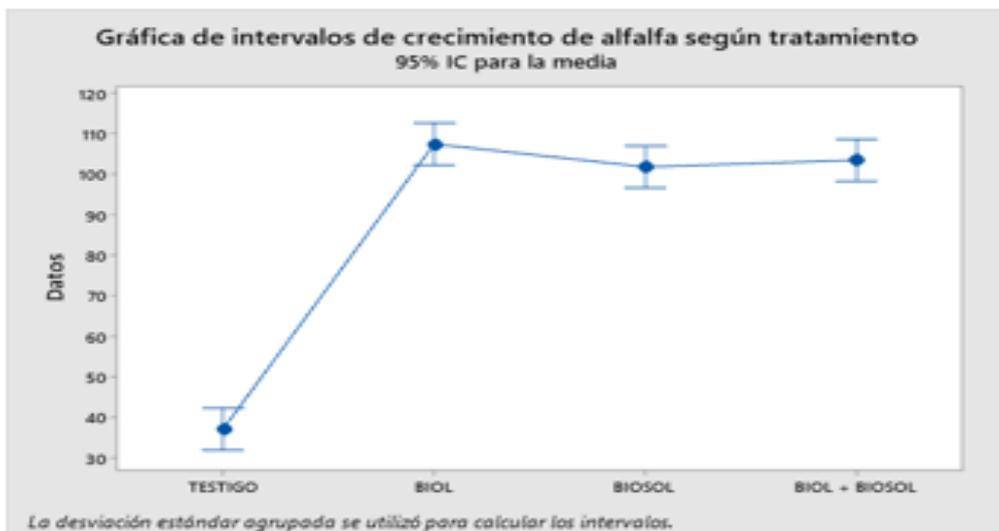
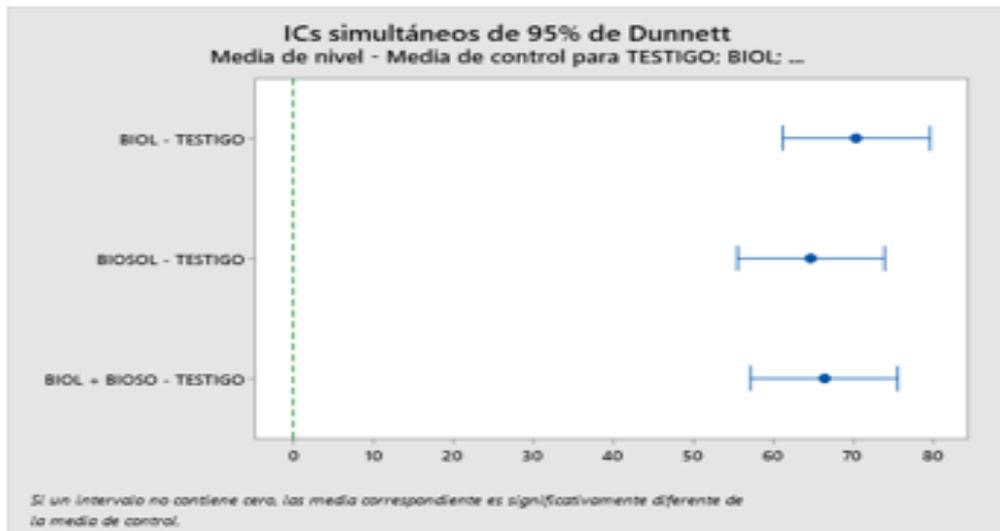
Desv.Est. agrupado = 3.90512

##### Comparaciones múltiples de Dunnett con un control

##### Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Factor	N	Media Agrupación
TESTIGO (control)	3	37.00 A
BIOL	3	107.33
BIOL + BIOSOL	3	103.33
BIOSOL	3	101.67

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.



**ANEXO 2.** Análisis de varianza de peso fresco y seco en la producción de alfalfa con ANOVA de un solo factor, TESTIGO vs TRATAMIENTOS.

HOLIA DE TRABAJO 1

**ANOVA de un solo factor: TESTIGO; BIOL; BIOSOL; BIOL + BIOSOL**

**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
Factor	4	TESTIGO; BIOL; BIOSOL; BIOL + BIOSOL

**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	10184.7	3394.89	222.62	0.000
Error	8	122.0	15.25		
Total	11	10306.7			

**Resumen del modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.90512	98.82%	98.37%	97.34%

**Medias**

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
TESTIGO	3	37.00	3.61	(31.80; 42.20)
BIOL	3	107.33	3.06	(102.13; 112.53)
BIOSOL	3	101.67	5.51	(96.47; 106.87)
BIOL + BIOSOL	3	103.33	2.89	(98.13; 108.53)

Desv.Est. agrupado = 3.90512

**Comparaciones en parejas de Tukey**

**Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de**

Factor	N	Media	Agrupación
BIOL	3	107.33	A
BIOL + BIOSOL	3	103.33	A
BIOSOL	3	101.67	A
TESTIGO	3	37.00	B

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
BIOL - TESTIGO	70.33	3.19	(60.12; 80.55)	22.06	0.000
BIOSOL - TESTIGO	64.67	3.19	(54.45; 74.88)	20.28	0.000
BIOL + BIOSO - TESTIGO	66.33	3.19	(56.12; 76.55)	20.80	0.000
BIOSOL - BIOL	-5.67	3.19	(-15.88; 4.55)	-1.78	0.349
BIOL + BIOSO - BIOL	-4.00	3.19	(-14.21; 6.21)	-1.25	0.613
BIOL + BIOSO - BIOSOL	1.67	3.19	(-8.55; 11.88)	0.52	0.951

Nivel de confianza individual = 98.74%

