

**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**

**EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE  
BIOGÁS CON FILTROS A BASE DE PELLETS DE  
RESIDUOS LEÑOSOS**

**Autora:**

**Bach. Marilin del Aguila Saboya**

**Asesores:**

**Ing. Wildor Gosgot Ángeles**

**Mg. Elí Pariente Mondragón**

**Registro: (.....)**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser el forjador de mi camino al éxito, el que me acompaña y siempre me brinda las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mis padres, ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño para lograr cada meta que me proponga.

A mis hermanos (Richard, Giannina y Mónica), por todo el apoyo que me brindaron y al mismo tiempo han sido mi ejemplo y lucha para alcanzar mis metas.

Al asesor de tesis Ing. Wildor Gasgot Ángeles por la colaboración técnica y moral que me brindó durante el desarrollo de la investigación.

**Marilyn**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dios todopoderoso, quien me brindó su protección en cada momento y me dio las fuerzas necesarias para perseverar hasta finalizar el objetivo trazado.

A mis padres, hermanos y familia en general por su entera confianza y apoyo incondicional.

Al ingeniero Wildor Gasgot Ángeles, cuya asesoría ayudó a lograr la culminación del presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado por su orientación y apoyo durante el desarrollo de la investigación.

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

**Marilyn**

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

**Ph. D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA**  
**Rector**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES**  
**Vicerrector Académico**

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA**  
**Vicerrectora de investigación**

**Ph. D. RICARDO EDMUNDO. CAMPOS RAMOS**  
**Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental**

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL


### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X) / Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Eficiencia de los sistemas de purificación de Biogás con filtros a base de pellets de residuos leñosos; del egresado Marilín Del Aguila Saboya de la Facultad de Ingeniería civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 04 de Octubre de 2024

  
Firma y nombre completo del Asesor  
Ing. Wildor Gosgot Angeles Mg.

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



# UNTRM

### REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Eficiencia de los sistemas de purificación de Biogás con filtros a base de pellets de residuos Leñosos;

del egresado Marilyn Del Aguila Saboya  
de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 04 de Octubre de 2024

Firma y nombre completo del Asesor  
Mg. Eli Pariente Mondragón

**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**



---

**Dr. Erick Stevinson Arellanos Carrión  
PRESIDENTE**



---

**M. Sc. Gino Alfredo Vergara Medina  
SECRETARIO**



---

**Mg. Juan Carlos Altamirano Oporto  
VOCAL**



# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Eficiencia de los sistemas de purificación de Biogás con  
filtros a base de pellets de Residuos Leñosos

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Marilyn Del Águila Saboya

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 4808028841@utr-m.pe


después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 24 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 20 de Agosto del 2024

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:  
.....  
.....



## REPORTE TURNITIN

### EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE BIOGÁS CON FILTROS A BASE DE PELLETS DE RESIDUOS LEÑOSOS

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>24%</b>	<b>23%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.upeu.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.untrm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>www.dspace.uce.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>6</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

  
Dr. Erick Steumson  
Arellano Carrón

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-S

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

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de Septiembre del año 2024, siendo las 16:00 horas, el aspirante: Marlín Del Aguila Saboya, asesorado por Mg. Wildor Gosgot Angeles y Mg. Eli Pariente Nondragón defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: Eficiencia de los sistemas de purificación de Biogás con filtros a base de pellets de residuos leñosos, 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: Dr. Erick Stevinson Arellano Carnión

Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Vocal: Mg. Juan Carlos Altamirano Oporto

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, 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 de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

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

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

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

Siendo las 17:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS .....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
REPORTE TURNITIN.....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
INDICE GENERAL .....	xi
INDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
2.1 Descripción del Área de estudio .....	19
2.2 Métodos de la investigación.....	19
2.2.1 Descripción de las etapas de producción de biogás.....	19
2.2.2 Descripción de las etapas para la elaboración de pellets de ciprés y eucalipto .....	21
2.2.3 Descripción del procedimiento de purificación de los componentes químicos presentes en el biogás .....	26
2.3 Análisis de Datos.....	27
III. RESULTADOS .....	28
2.4 Resultados del análisis de las propiedades físicas del pellet de ciprés y eucalipto. ....	28
2.5 Resultados de la determinación de la eficiencia de los filtros pellets en la purificación de CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S.....	28
2.6 Resultados de eficiencia de los filtros a base de residuos leñosos comparados con los filtros de clavos de hierro .....	34
IV. DISCUSIÓN.....	38
V. CONCLUSIONES.....	41

VI. RECOMENDACIONES.....	42
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
ANEXOS .....	48

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ubicación política del lugar de estudio .....	19
<b>Tabla 2.</b> Resultados de las propiedades físicas del pellet a base de ciprés y eucalipto ....	28
<b>Tabla 3.</b> Resultados del tratamiento al biogás con el uso de filtros de pellet de residuos leñosos y filtros de clavos.....	28
<b>Tabla 4.</b> Resultados de análisis descriptivo para la purificación porcentual (%) de los parámetros del biogás obtenido, haciendo uso de filtros de pellet de residuos leñosos y filtros de clavo. ....	29
<b>Tabla 5.</b> Resultados de análisis de varianza respecto de % Vol de CH <sub>4</sub> .....	30
<b>Tabla 6.</b> Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados de % Vol de CH <sub>4</sub> . 30	
<b>Tabla 7.</b> Resultados de análisis de varianza respecto de % Vol de CO <sub>2</sub> .....	31
<b>Tabla 8.</b> Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados de % Vol de CO <sub>2</sub> . 31	
<b>Tabla 9.</b> Resultados de análisis de varianza respecto de % Vol de O <sub>2</sub> .....	32
<b>Tabla 10.</b> Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados de % Vol de O <sub>2</sub> . 32	
<b>Tabla 11.</b> Resultados de análisis de varianza respecto a resultados del H <sub>2</sub> S.....	32
<b>Tabla 12.</b> Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados del H <sub>2</sub> S .....	33
<b>Tabla 13.</b> Resultados de análisis de varianza respecto a resultados de CO.....	33
<b>Tabla 14.</b> Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados del CO.....	34



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del lugar de estudio .....	19
<b>Figura 2.</b> Proceso de recolección y almacenamiento de las especies de estudio .....	21
<b>Figura 3.</b> Determinación del porcentaje de humedad .....	22
<b>Figura 4.</b> Determinación de la densidad aparente.....	23
<b>Figura 5.</b> Determinación del contenido de cenizas .....	24
<b>Figura 6.</b> Proceso para la implementación del sistema de filtros .....	26
<b>Figura 7.</b> Resultados de purificación de CH <sub>4</sub> .....	34
<b>Figura 8.</b> Resultados de purificación de CO <sub>2</sub> .....	35
<b>Figura 9.</b> Resultados de purificación de O <sub>2</sub> .....	35
<b>Figura 10.</b> Resultados de purificación de H <sub>2</sub> S .....	36
<b>Figura 11.</b> Resultados de purificación de CO .....	37
<b>Figura 12.</b> Diseño de los filtros utilizados .....	53

## RESUMEN

En la actualidad uno de los desafíos en la producción de biogás es la purificación del mismo, por ello, la investigación evaluó la eficiencia de purificación de biogás empleando filtros a base de pellets de residuos leñosos comparando su eficiencia con los filtros a base de clavos de hierro. El biodigestor utilizado fue de PVC con volumen total de 12m<sup>3</sup>, alimentado con mezcla de estiércol de ganado vacuno y agua, con proporción de 1:5, el tiempo de retención hidráulica fue de 25 días. Se realizó 3 tres tratamientos: 1) Tres filtros de pellet de eucalipto, 2) Tres filtros de pellet de ciprés, 3) Tres filtros con clavos de hierro, se realizaron 10 mediciones por cada parámetro y cada filtro, adicional se consideró las mediciones del testigo. Para el análisis de los resultados se utilizó la prueba ANOVA. Como resultado se obtuvo que los filtros de clavos de hierro lograron una purificación de CH<sub>4</sub> de 10,6%, CO<sub>2</sub> de 81,09%, H<sub>2</sub>S de 83,02%, O<sub>2</sub> de 84,97% y CO de 5,77%. Seguidamente los filtros de pellet de eucalipto tuvieron una purificación de CH<sub>4</sub> de 6,34%, CO<sub>2</sub> de 72,70%, H<sub>2</sub>S de 76,41%, O<sub>2</sub> de 77,38% y CO de 30,88%. Finalmente, los filtros de pellet de ciprés lograron una purificación de CH<sub>4</sub> de 6,61%, CO<sub>2</sub> de 58,28%, H<sub>2</sub>S de 72,70%, O<sub>2</sub> de 74,44% y CO de 66,35%. Se concluye que, los filtros de pellet tienen una mayor eficiencia en comparación con los filtros de clavo.

**Palabras claves:** Biogás, purificación, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, residuos leñosos.

## ABSTRACT

Currently, one of the challenges in biogas production is its purification, therefore, the research evaluated the efficiency of biogas purification using filters based on woody waste pellets, comparing their efficiency with filters based on nails. iron. The biodigester used was made of PVC with a total volume of 12 m<sup>3</sup>, it was fed with a mixture of cattle manure and water, with a ratio of 1:5, with a hydraulic retention time of 25 days. Three treatments were constructed: 1) Three eucalyptus pellet filters, 2) Three cypress pellet filters, 3) Three filters with iron nails, 10 measurements were made for each parameter and each filter, additional measurements of the Witness. The ANOVA test was used to analyze the results. As a result, it was obtained that the iron nail filters achieved a purification of CH<sub>4</sub> of 10,6%, CO<sub>2</sub> of 81,09%, H<sub>2</sub>S of 83,02%, O<sub>2</sub> of 84,97% and CO of 5,77%. Next, the eucalyptus pellet filters had a purification of CH<sub>4</sub> of 6,34%, CO<sub>2</sub> of 72,70%, H<sub>2</sub>S of 76,41%, O<sub>2</sub> of 77,38% and CO of 30,88%. Finally, the cypress pellet filters achieved a purification of CH<sub>4</sub> of 6,61%, CO<sub>2</sub> of 58,28%, H<sub>2</sub>S of 72,70%, O<sub>2</sub> of 74,44% and CO of 66,35%. It is concluded that pellet filters have greater efficiency compared to clove filters.

**Keywords:** Biogas, purification, Hydrogen sulfide, carbon dioxide, woody waste.

## I. INTRODUCCIÓN

Un biodigestor es un dispositivo diseñado con entradas y salidas controladas para prevenir la entrada de oxígeno, permitiendo así un proceso de anaerobiosis (ausencia de oxígeno). Este ambiente anaeróbico es donde ocurre el proceso de descomposición bacteriana, utilizando estiércol de ganado vacuno como sustrato. Las bacterias presentes en este entorno transforman el estiércol en biogás y bioabonos, aprovechando así los recursos de forma sostenible (Montenegro, 2020). La producción de biogás es importante, ya que hoy en día, se evidencia un crecimiento en la utilidad de combustibles fósiles, cuyo impacto ambiental negativo que ocasionan, son de efecto no renovable (López, 2017). Es por ello que surge la necesidad de reemplazar el uso de combustibles fósiles por energías limpias, tal es el caso del biogás, un gas que es generado con metodologías naturales, por acciones de biodegradación de la materia orgánica, en un ambiente anaeróbico ( Morero, 2018).

El biogás está compuesto por un 60% de metano, 35% de anhídrido carbónico, 4% de vapor de agua y un máximo estimado de 1% de ácido sulfhídrico (Marin, 2016). Dichos componentes a excepción del metano generan problemas de corrosión en los equipos que emplean biogás; reduciendo su vida útil de los equipos (Hernández, 2018). En consecuencia, existen diferentes sistemas de purificación, encargados de eliminar los compuestos corrosivos, específicamente los compuestos de azufre y dióxido de carbono que en términos de combustión disminuye el contenido energético del biogás ( Álvarez , 2016).

Broncano (2019) en su investigación, de producción de biogás y bioabonos, en el distrito de Rioja, eliminó los compuestos corrosivos tales como  $H_2S$  haciendo uso de cartuchos con limaduras de hierro. Salazar (2017), instaló un biodigestor tipo laguna cubierta (BTLC) para el procesamiento de estiércol de ganado vacuno, en las instalaciones del establo de la UNTRM - Chachapoyas, cuyas dimensiones del biodigestor fue de  $170\text{ m}^3$ , con tiempo de retención hidráulica de 35 días. Asimismo, incorporó el sistema de filtros cubiertos con clavos de hierro de 2" para eliminar el  $H_2S$  presente en el biogás.

Barrena *et al.* (2019), instalaron un biodigestor tubular de geomembrana en el distrito de Molinopampa, Chachapoyas. Este biodigestor, tuvo un espesor de 1,0 mm y una capacidad total de  $12\text{ m}^3$ . Asimismo, tuvo un periodo de retención hidráulica de 29 días a una temperatura de  $14,4\text{ }^\circ\text{C}$ . Por otro lado, utilizó un tablero de purificación, incorporando un sistema de filtros de dos cartuchos de 0,50 m de largo elaborado a partir de tubo PVC

de 2", rellenos con clavos de hierro para eliminar el H<sub>2</sub>S. En ese sentido, (Luque, 2016) menciona que, los compuestos de azufre presentes en el biogás quedan retenido en las limaduras y/o clavos de hierro, dejando al Hidrógeno (H<sub>2</sub>) retornar al proceso de obtención de biogás purificado.

Ortega (2015), investigó diversos métodos de purificación de los componentes tóxicos presentes en el biogás. Se centro en el H<sub>2</sub>S, un gas que contiene un gran porcentaje de características tóxicas y corrosivas para los quipos, lo que restringe su uso. Las metodologías utilizadas para la purificación de H<sub>2</sub>S se clasifican basándose en sus características físico-químicas, como: absorción -haciendo uso de componentes químicos inorgánicos y orgánicos-, adsorción -por métodos físicos, métodos biotecnológicos- y filtración -por membranas-. (Carú, 2021).

Gonzales (2018), precisa que los pellets de madera es un producto que tiene como componente principal y peculiar, residuos de los procesos industriales en el rubro forestal tal es el caso del aserrín, las virutas y astillas, las cuáles poseen una forma cilíndrica cuya dimensión va de 6 a 12 mm de diámetro y unos 10 a 30 mm de largo, siendo comprimidos a través de una maquina peletizadora, logrando un producto uniforme. Mediante el tamizado se separa los polvos que no estén de acuerdo a las estimaciones de granulometría (Atuesta, 2015).

El objetivo principal del estudio fue evaluar la eficiencia de purificación de biogás con filtros a base de pellets de residuos leñosos. Analizando las propiedades físicas de los residuos leñosos de ciprés (*Cupressus sempervirens*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la elaboración de pellets.

Se investigó la eficiencia de los filtros de pellets en la purificación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) presentes en el biogás. Además, se llevó a cabo una comparación entre la eficiencia de los filtros elaborados con pellets de residuos leñosos de ciprés (*Cupressus sempervirens*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*), con los filtros de hierro.



## II. MATERIAL Y MÉTODOS

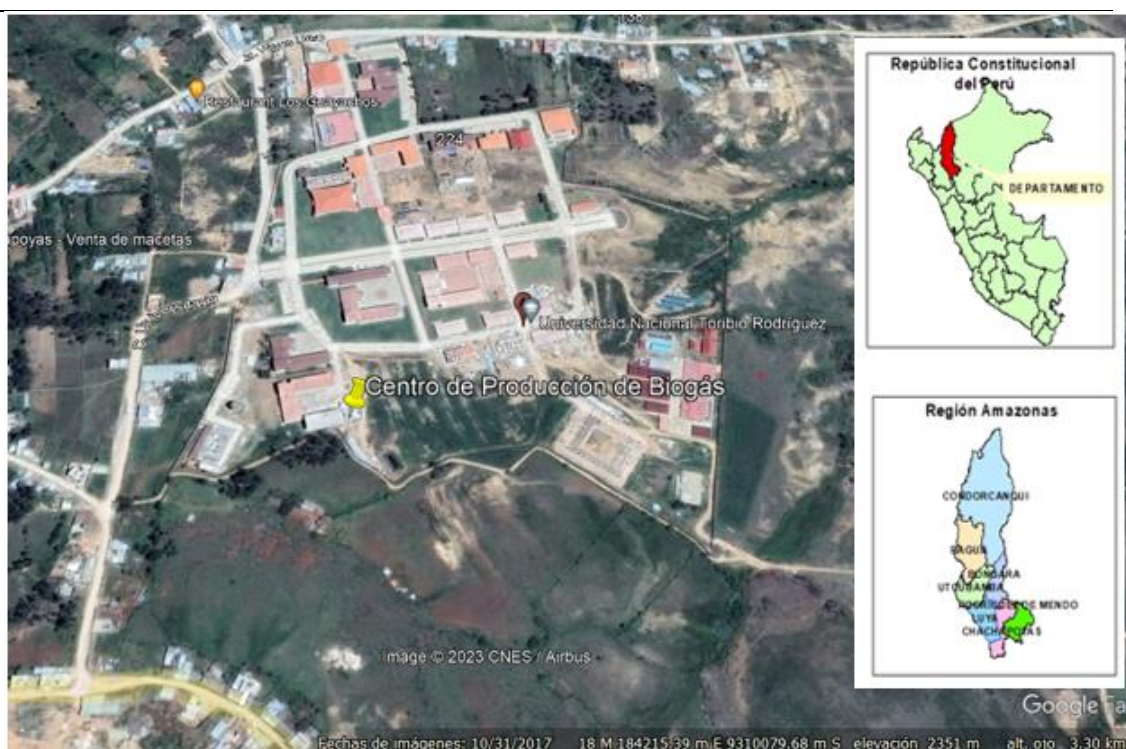
### 2.1 Descripción del Área de estudio

- **Ubicación política**

La producción de biogás y purificación de sus componentes químicos se llevó a cabo en el establo vacuno de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

**Tabla 1.** Ubicación política del lugar de estudio

País	Región	Provincia	Distrito
Perú	Amazonas	Chachapoyas	Chachapoyas



**Figura 1.** Ubicación del lugar de estudio

### 2.2 Métodos de la investigación

#### 2.2.1 Descripción de las etapas de producción de biogás.

##### 2.2.1.1 Componentes del sistema de producción de biogás

- Biodigestor de geomembrana de PVC

El biodigestor que se empleó en la presente investigación fue de geomembrana de PVC con las siguientes dimensiones: espesor de 1 mm, diámetro de 1,27 m, largo de 10,0 m, obteniendo un volumen total de 12 m<sup>3</sup>, del cual 9 m<sup>3</sup> fueron utilizados por la mezcla de estiércol: agua en la relación de 1:5, los 3 m<sup>3</sup> remanentes fueron usados por el biogás

obtenido. El biodigestor tuvo un niple de 1" para la salida del biogás colocada en la parte superior del biodigestor con accesorios de PVC.

- Poza para el biodigestor

Se construyó una poza para el biodigestor con las siguientes dimensiones: 1 m de altura, 10 m de largo, haciendo uso de madera de ciprés de 1" de espesor la cual fueron clavadas en postes de ciprés, a su vez estuvieron fijados en el suelo. Por otro lado, se colocaron planchas de Tecnopor de 3/4" en las partes internas y los bordes de la geomembrana.

- Poza de alimentación para el biodigestor

Se construyó una poza de carga con las siguientes medidas: 0,5 m de largo; 0,5 m de ancho y 0,5 m de profundidad, cuya función fue recepcionar la mezcla de estiércol y agua y proyectar la mezcla al biodigestor, dicha poza fue conectada al ingreso haciendo uso de un tubo de PVC de 4" colocado en el parte inferior, la cual fue alimentada todos los días hasta completar su volumen de trabajo (9000 L); utilizando un tiempo de retención hidráulica fue de 25 días.

- Poza de descarga

Se construyó una poza de 1 m de altura x 1 m de largo, la cual estuvo sobre la tubería de material PVC de 4" en la parte final a nivel de fondo de la poza del biodigestor, en la tubería de PVC de 4" y en la parte extrema se colocaron un reductor y una llave de paso de 2" para retirar los bioabonos.

- Filtros de purificación y control del biogás

Para la purificación de la composición química del biogás, se utilizó tres filtros con pellets de ciprés, 3 filtros con pellets de eucalipto y 3 filtros de clavos de hierro de 2", para cada tratamiento se realizaron 3 repeticiones, los filtros fueron elaborados de PVC de 2" de 0,50 m de largo con reducciones de 2" a 1/2" en ambos extremos, cada filtro estuvo relleno independientemente con pellets de residuos leñosos de ciprés, eucalipto y clavos de hierro (2,5 kg por filtro), que sirvieron para eliminar el ácido sulfhídrico y el CO<sub>2</sub> presentes en el biogás.

- Gasómetro

Estuvo elaborado de geomembrana de PVC de 1 mm de espesor, haciendo la forma de una almohada con medidas de 1,40 m por 3,0 m, con un volumen de 2,70 m; el cual fue

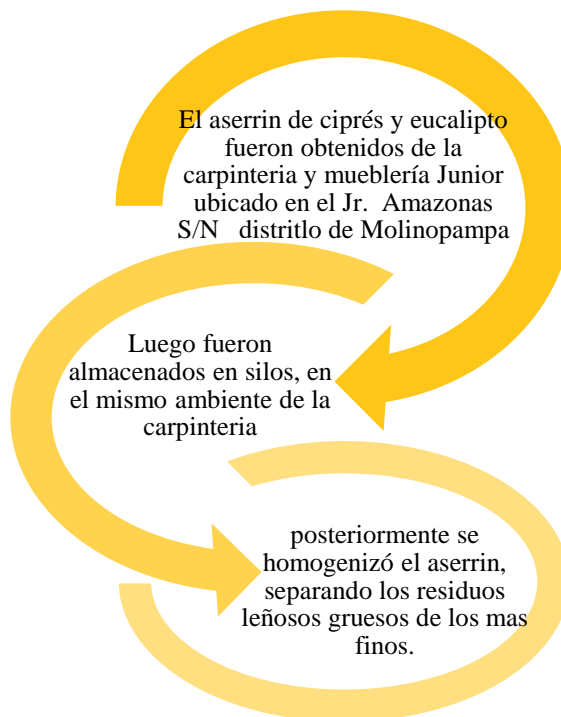
asegurado a través de ojalillos en su alrededor del soporte, asimismo se utilizó un niple de PVC roscado de 1" de diámetro en su ingreso y salida del biogás.

✚ Para el control de los componentes químicos del biogás, antes y después del sistema de purificación empleando clavos de hierro y pellets de residuos de ciprés y eucalipto se utilizó el equipo MultiTec 540 el cual permitió controlar los compuestos del biogás, a través de sensores infrarrojos. Se midieron los siguientes compuestos:

- Porcentaje en volumen de metano: % Vol CH<sub>4</sub>
- Porcentaje en volumen de dióxido de carbono: % Vol CO<sub>2</sub>
- Partes por millón de hidrógeno: ppm H<sub>2</sub>
- Partes por millón de carbono: ppm CO
- Porcentaje oxígeno: % O<sub>2</sub>
- Partes por millón de sulfuro de hidrógeno: ppm H<sub>2</sub>S

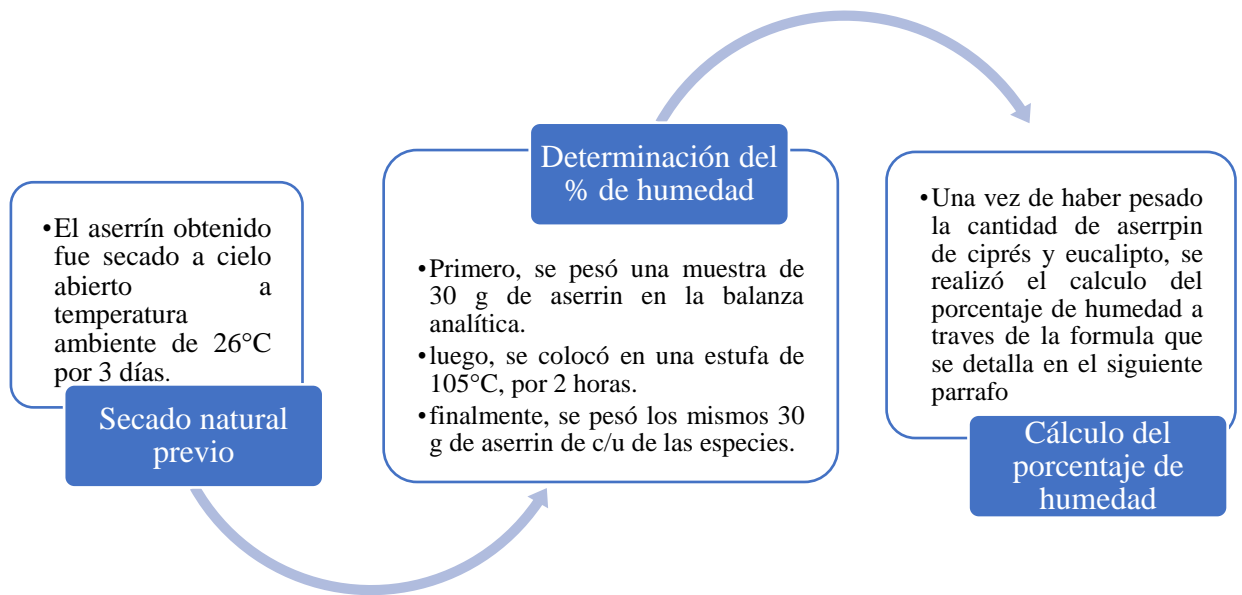
## 2.2.2 Descripción de las etapas para la elaboración de pellets de ciprés y eucalipto

### 2.2.2.1 Recolección y almacenamiento de los residuos leñosos de las especies de estudio.



**Figura 2.** Proceso de recolección y almacenamiento de las especies de estudio

### 2.2.2.2 Control del porcentaje de humedad (%)



**Figura 3.** Determinación del porcentaje de humedad

La determinación del % de humedad, se usó el laboratorio de Investigaciones Ambientales y Saneamiento Ambiental y Gestión de Residuos Sólidos (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; la fórmula que se aplicó para su cálculo fue la siguiente:

$$CH_U (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \quad (1)$$

Donde:

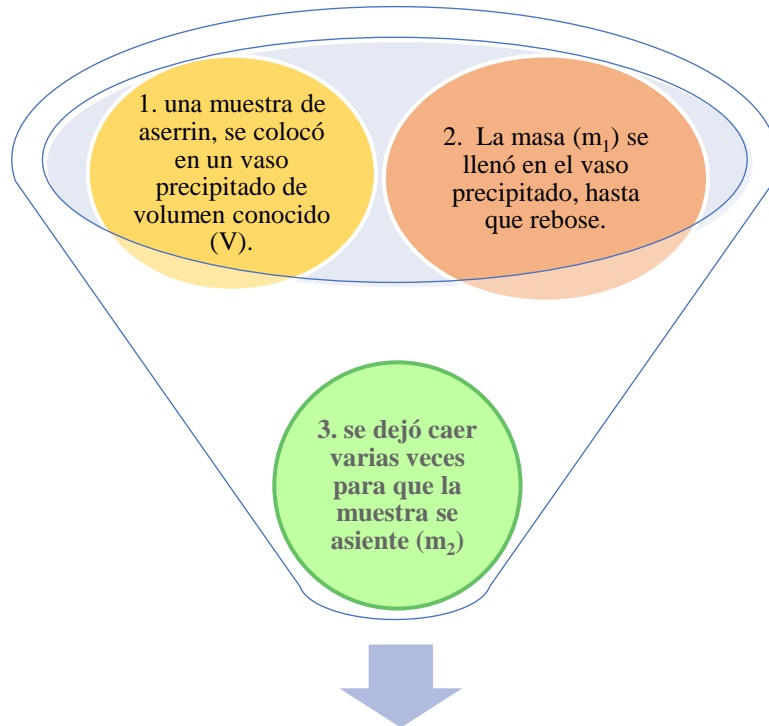
$CH_u$  (%) = % de humedad

$m_1$ : masa del crisol vacía y seca.

$m_2$ : masa del crisol + muestra antes de secar en la estufa

$m_3$ : masa del crisol + muestra después de secar en la estufa

### 2.2.2.3 Densidad aparente



Todo este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio LABISAG de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

**Figura 4.** Determinación de la densidad aparente

Para calcular la densidad aparente, se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_{ap} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (2)$$

Donde:

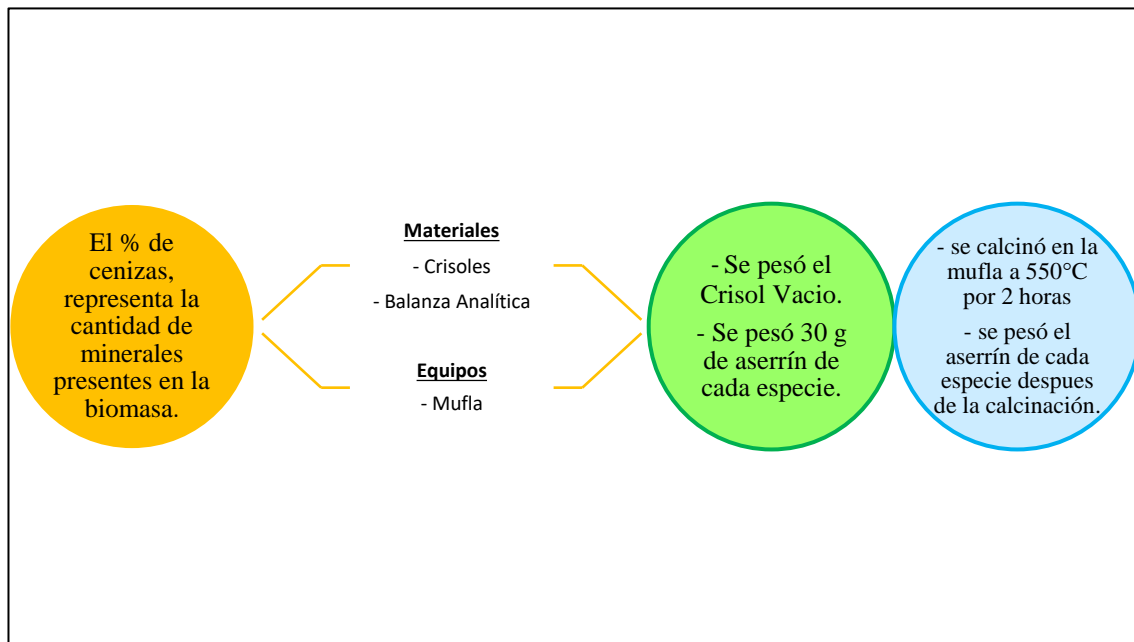
$D_{ap}$  = Densidad aparente

$m$  = Masa

$V$  = Volumen



#### 2.2.2.4 Contenido de cenizas



**Figura 5.** Determinación del contenido de cenizas

Para calcular el porcentaje de cenizas existentes en la biomasa (aserrín de ciprés y eucalipto), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$m_1$ : masa de la muestra inicial para la calcinación.

$m_2$ : masa del crisol con tapa + muestra después de la calcinación.

$m_3$ : masa del crisol vacío con tapa.

#### 2.2.2.5 Contenido del material volátil

- Primero se pesó 30 g de aserrín de ciprés y eucalipto
- El material pesado se colocó en la mufla a 900°C, durante 7 minutos
- Una vez enfriada la muestra, se tomó el peso final.

Para el cálculo del porcentaje del material volátil, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Volátil} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

m<sub>1</sub>: masa del crisol con tapa vacío y seco

m<sub>2</sub>: masa del crisol con tapa + muestra antes de calcinar.

m<sub>3</sub>: masa del crisol con tapa + muestra después de calcinar

#### **2.2.2.6 Contenido de carbono fijo (Cf)**

El porcentaje de contenido del carbono fijo, se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Carbono fijo} = 100 - Hm - Cn - Vl \quad (5)$$

Donde:

Hm: Porcentaje de contenido de humedad posterior al secado

Cn: Porcentaje de cenizas

Vl: Porcentaje del material volátil

#### **2.2.2.7 Pelletizado de los residuos leñosos**

Para el proceso de pelletización de los productos (residuos leñosos) fueron comprimidos mediante una máquina para pellets Mod. Lxp 250, encargada de disminuir el volumen del aserrín de ciprés y eucalipto, obteniendo como producto final los pellets.

##### **- Tamizado y clasificación de los pellets**

Para el tamizado de los pellets obtenidos, se realizó una separación del polvo del aserrín mezclado entre los pellets, para poder clasificarlo y proteger el producto producido, evitando que ocasione problemas en el manejo y transporte de los pellets.

##### **- Almacenamiento de pellets**

Los pellets fueron almacenados en silos de 5 kg, procurando conservar una temperatura y ventilación apropiada, evitando la absorción de humedad, por la cual fueron protegidos de la lluvia y condiciones atmosféricas desfavorables.

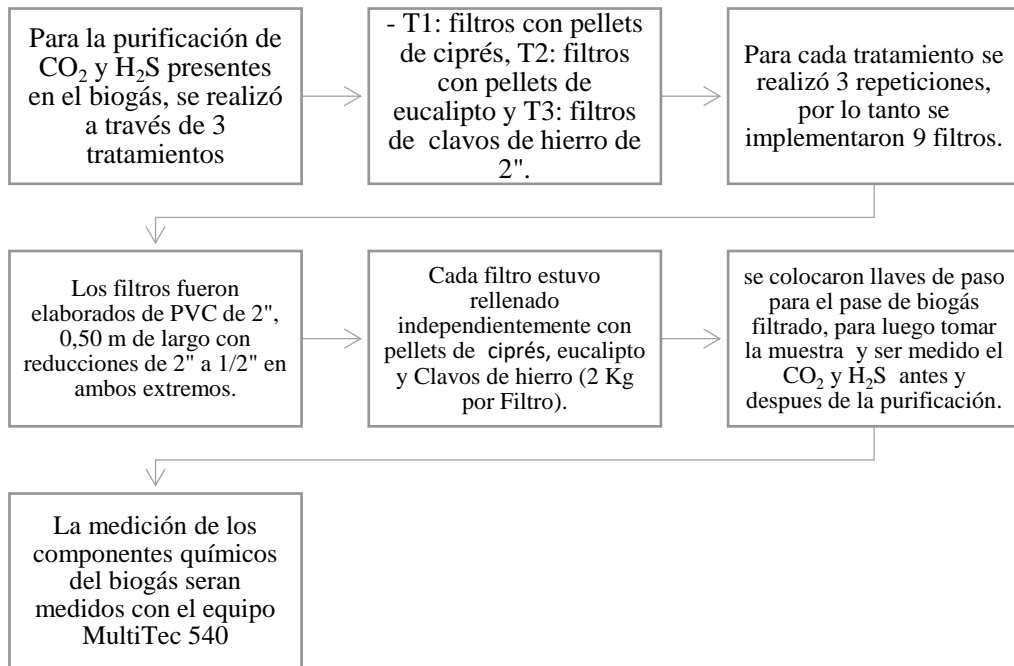
##### **- Envasado de los pellets**

Como actividad final del proceso de elaboración, los pellets fueron envasados dentro de bolsas herméticas, con la capacidad de soporte de 3 - 5 kg del producto final (pellets).

## 2.2.3 Descripción del procedimiento de purificación de los componentes químicos presentes en el biogás

### 2.2.3.1 Implementación de los filtros de pellets de residuos leñosos con las especies de estudio

Para la implementación de los filtros empleando pellets de residuos leñosos (ciprés y eucalipto), se empleó el esquema y criterios establecidos a continuación:



**Figura 6.** Proceso para la implementación del sistema de filtros

### 2.2.3.2 Determinación de la Eficiencia de Purificación del Biogás

Para determinar la eficiencia de purificación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S de los filtros empleando pellets de ciprés, eucalipto y clavos de hierro, se utilizó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de Purificación} = 100 * \left( \frac{Ci - Cf}{Ci} \right) \quad (6)$$

Donde:

Ci = Concentración inicial (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S)

Cf = Concentración final (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S)

La fórmula fue aplicada de manera individual para cada componente de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S existentes en el biogás, antes y después del tratamiento. Para comparar la composición

química del biogás antes y después del sistema de purificación del biogás haciendo uso del equipo MultiTec 540.

### **2.3 Análisis de Datos**

Se realizó la prueba ANOVA y luego la prueba tukey para identificar el mejor tratamiento. El nivel de significancia de la prueba estadística fue 0,05. Asimismo, para procesar los datos se utilizó el software SPSS 24 y el software microsoft Excel.

### III. RESULTADOS

#### 2.4 Resultados del análisis de las propiedades físicas del pellet de ciprés y eucalipto.

En la tabla 2, se muestra los valores obtenidos a través de las fórmulas presentados en el ítem de metodología, respecto a las propiedades físicas del pellet de ciprés y pellet de eucalipto, utilizado en el proceso de purificación de contaminantes presentes en el biogás.

**Tabla 2.** Resultados de las propiedades físicas del pellet a base de ciprés y eucalipto

Parámetros	Unidad de medida	Pellet de ciprés	Pellet de eucalipto
Humedad	%	6,4	8,3
Densidad aparente	g/l	58,1	65,2
Contenido de cenizas	%	5,9	7,52
Material volátil	%	80,1	90,3

#### 2.5 Resultados de la determinación de la eficiencia de los filtros pellets en la purificación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.

En la tabla 3 se muestra los resultados obtenidos de los parámetros de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CO, a través del uso de filtros de pellet de ciprés y eucalipto y filtros haciendo uso de clavos de 2", realizando tres (03) repeticiones por cada parámetro y cada tratamiento.

**Tabla 3.** Resultados del tratamiento al biogás con el uso de filtros de pellet de residuos leñosos y filtros de clavos.

Filtros	Parámetros	Unidad de medida	Testigo	Repeticiones de los filtros		
				1	2	3
Filtros de pellet de ciprés	CH <sub>4</sub>	% Vol.	68,2	26,4	26,3	25,9
	CO <sub>2</sub>	% Vol.	45,3	17,5	20,8	18,4
	O <sub>2</sub>	% Vol.	1,93	0,5	0,48	0,5
	H <sub>2</sub> S	ppm	203,5	57	59,6	51,8
	CO	ppm	31,2	10,8	11	10,88
	CH <sub>4</sub>	% Vol.	68,2	14,4	16	9

Filtros de pellet de eucalipto	CO <sub>2</sub>	% Vol.	45,3	10,4	15,1	11,6
	O <sub>2</sub>	% Vol.	1,93	0,41	0,53	0,35
	H <sub>2</sub> S	ppm	203,5	48,2	52,1	41,5
	CO	ppm	31,2	8,6	7,2	7,1
	CH <sub>4</sub>	% Vol.	68,2	11,4	8,4	8,6
Filtros con uso de clavos	CO <sub>2</sub>	% Vol.	45,3	8,6	8,9	8,2
	O <sub>2</sub>	% Vol.	1,93	0,28	0,29	0,27
	H <sub>2</sub> S	ppm	203,5	30,7	31,2	39,8
	CO	ppm	31,2	6,1	5,8	3

Por otro lado, en la tabla 4 se muestra el porcentaje (%) de purificación por cada compuesto del biogás, evidenciando que la implementación de filtros en base a residuos leñosos y clavos disminuyen la purificación de los compuestos químicos tales como: H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>.

**Tabla 4.** Resultados de análisis descriptivo para la purificación porcentual (%) de los parámetros del biogás obtenido, haciendo uso de filtros de pellet de residuos leñosos y filtros de clavo.

Filtros	Parámetros	Unidad de medida	% Eficiencia / Repeticiones		
			1	2	3
Filtros de Pellet de Ciprés	CH <sub>4</sub>	% Vol.	61,29	61,44	62,02
	CO <sub>2</sub>	% Vol.	61,37	54,08	59,38
	O <sub>2</sub>	% Vol.	74,09	75,13	74,09
	H <sub>2</sub> S	ppm	71,99	70,71	74,55
	CO	ppm	65,38	64,74	65,13
Filtros de Pellet de Eucalipto	CH <sub>4</sub>	% Vol.	78,89	76,54	86,80
	CO <sub>2</sub>	% Vol.	77,04	66,67	74,39
	O <sub>2</sub>	% Vol.	78,76	72,54	81,87
	H <sub>2</sub> S	ppm	76,31	74,40	79,61
Filtros con uso de clavos	CO	ppm	72,44	76,92	77,24
	CH <sub>4</sub>	% Vol.	83,28	87,68	87,39
	CO <sub>2</sub>	% Vol.	81,02	80,35	81,90
	O <sub>2</sub>	% Vol.	85,49	84,97	86,01
	H <sub>2</sub> S	ppm	84,91	84,67	80,44

Filtros	Parámetros	Unidad de medida	% Eficiencia / Repeticiones		
			1	2	3
	CO	ppm	80,45	81,41	90,38

#### - Resultados del % Vol de CH<sub>4</sub>

En la tabla 5 se muestra los resultados del análisis de varianza respecto al % Vol de CH<sub>4</sub> en los tratamientos (Testigo, T1, T2 y T3) en la cual se obtuvo un P-Valor de 0.000; es decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo que, se realizó la prueba tukey para evidenciar que tratamiento tuvo mayores resultados, tal como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 5.** Resultados de análisis de varianza respecto de % Vol de CH<sub>4</sub>

FV	Suma de cuadrados	Grados libertad	M.C	F	P-Valor
Entre grupos	1139.989	3	379.996	43.307	0.000
Dentro de grupos	70.195	8	8.774		
Total	1210.184	11			

Al realizar la prueba tukey se evidencia mayor % vol de CH<sub>4</sub> en los filtros de pellet de eucalipto, seguidamente de los filtros de pellet de ciprés y posterior los filtros de clavos, tal como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados de % Vol de CH<sub>4</sub>

Tratamientos	N	Grupos	
		1	2
filtros de pellet de ciprés	3	61.5833	
Testigo	3	68.2000	
Filtros de pellet de eucalipto	3		80.7433
Filtros de clavos	3		86.1167
Sig.		0.097	0.197

#### - Resultados del % Vol de CO<sub>2</sub>

En la tabla 7 se muestra los resultados del análisis de varianza respecto al % Vol de CO<sub>2</sub> en los tratamientos (Testigo, T1, T2 y T3) en la cual se obtuvo un P-Valor de 0.000; es

decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo que, se realizó la prueba tukey para evidenciar que tratamiento tuvo mayores resultados, tal como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 7.** Resultados de análisis de varianza respecto de % Vol de CO<sub>2</sub>

<b>FV</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>M.C</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	2245.407	3	748.469	67.792	0.000
Dentro de grupos	88.326	8	11.041		
Total	2333.733	11			

Al realizar la prueba tukey se evidencia mayor valor en el testigo antes de pasar por el sistema de purificación de los contaminantes del biogás. Sin embargo, después de pasar por los tratamientos, se evidencia mayor % Vol de CO<sub>2</sub> en los filtros de pellet de ciprés, seguidamente de los filtros de pellet de eucalipto y posteriormente por los filtros de clavos, tal como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados de % Vol de CO<sub>2</sub>

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Grupos</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Testigo	3	45.3333		
filtros de pellet de ciprés	3		58.2767	
Filtros de pellet de eucalipto	3			72.7000
Filtros de clavos	3			81.0900
Sig.		1.000	1.000	0.058

#### **- Resultados del % Vol de O<sub>2</sub>**

En la tabla 9 se muestra los resultados del análisis de varianza respecto al % vol de O<sub>2</sub> en los tratamientos (Testigo, T1, T2 y T3) en la cual se obtuvo un P-Valor de 0,000; es decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo que, se realizó la prueba tukey para evidenciar que tratamiento tuvo mayores resultados, tal como se muestra en la tabla 10.



**Tabla 9.** Resultados de análisis de varianza respecto de % Vol de O<sub>2</sub>

<b>FV</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>M.C</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	13631.905	3	4543.968	783.358	0.000
Dentro de grupos	46.405	8	5.801		
Total	13678.310	11			

Al realizar la prueba tukey se evidencia mayor % Vol de O<sub>2</sub> en los filtros de pellet de ciprés, seguidamente de los filtros de pellet de eucalipto y posteriormente por los filtros de clavos, tal como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10.** Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados de % Vol de O<sub>2</sub>

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Grupos</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Testigo	3	1.9333		
filtros de pellet de ciprés	3		74.4367	
Filtros de pellet de eucalipto	3		77.7233	
Filtros de clavos	3			85.4900
Sig.		1.000	0.396	1.000

#### - Resultados del parámetro de H<sub>2</sub>S

En la tabla 11 se muestra los resultados del análisis de varianza respecto a la concentración (ppm) del H<sub>2</sub>S en los tratamientos (Testigo, T1, T2 y T3) en la cual se obtuvo un P-Valor de 0.000; es decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo que, se realizó la prueba tukey para evidenciar que tratamiento tuvo mayores resultados, tal como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 11.** Resultados de análisis de varianza respecto a resultados del H<sub>2</sub>S

<b>FV</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>M.C</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	35899.679	3	11966.560	2773.718	0.000
Dentro de grupos	34.514	8	4.314		
Total	35934.193	11			

Al realizar la prueba tukey se evidencia mayor purificación de la concentración (ppm) de H<sub>2</sub>S en los filtros de pellet de ciprés, seguidamente de los filtros de pellet de eucalipto y posteriormente por los filtros de clavos, tal como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados del H<sub>2</sub>S

Tratamientos	N	Grupos		
		1	2	3
filtros de pellet de ciprés	3	72.4033		
Filtros de pellet de eucalipto	3	76.7733		
Filtros de clavos	3		83.3400	
Testigo	3			203.5000
Sig.		72.4033		

#### - Resultados del parámetro de CO

En la tabla 13 se muestra los resultados del análisis de varianza respecto a la concentración (ppm) del CO en los tratamientos (Testigo, T1, T2 y T3) en la cual se obtuvo un P-Valor de 0,002; es decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo que, se realizó la prueba tukey para evidenciar que tratamiento tuvo mayores resultados, tal como se muestra en la tabla 14.

**Tabla 13.** Resultados de análisis de varianza respecto a resultados de CO

FV	Suma de cuadrados	Grados libertad	M.C	F	P-Valor
Entre grupos	4839.705	3	1613.235	167.940	0.000
Dentro de grupos	76.848	8	9.606		
Total	4916.553	11			

Al realizar la prueba tukey se evidencia mayor purificación de la concentración (ppm) de CO en los filtros de clavos, seguidamente de los filtros de pellet de eucalipto y posteriormente de los filtros de pellet de ciprés, tal como se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14.** Prueba de tukey para los tratamientos respecto a resultados del CO

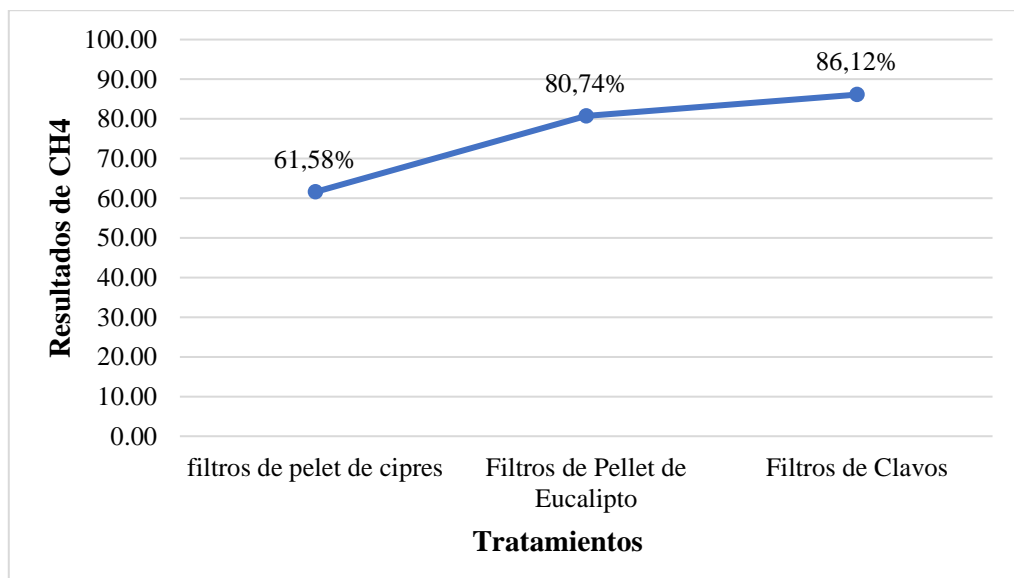
Tratamientos	N	Grupos			
		1	2	3	4
Testigo	3	31.2000			
filtros de pellet de ciprés	3		65.0833		
Filtros de pellet de eucalipto	3			75.5333	
Filtros de clavos	3				84.0800
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

## 2.6 Resultados de eficiencia de los filtros a base de residuos leñosos comparados con los filtros de clavos de hierro

### - Resultados de purificación de CH<sub>4</sub>

En la figura 7 se muestra el porcentaje de purificación de CH<sub>4</sub>. Según el análisis estadístico con un nivel de significancia del 95%, el tratamiento con filtros de clavos de hierro logró el mayor porcentaje de purificación, con un 10,06%, seguidamente del tratamiento con filtros de pellets de ciprés con un 6,61%, y el tratamiento con filtros de pellets de eucalipto con un 6,34%.

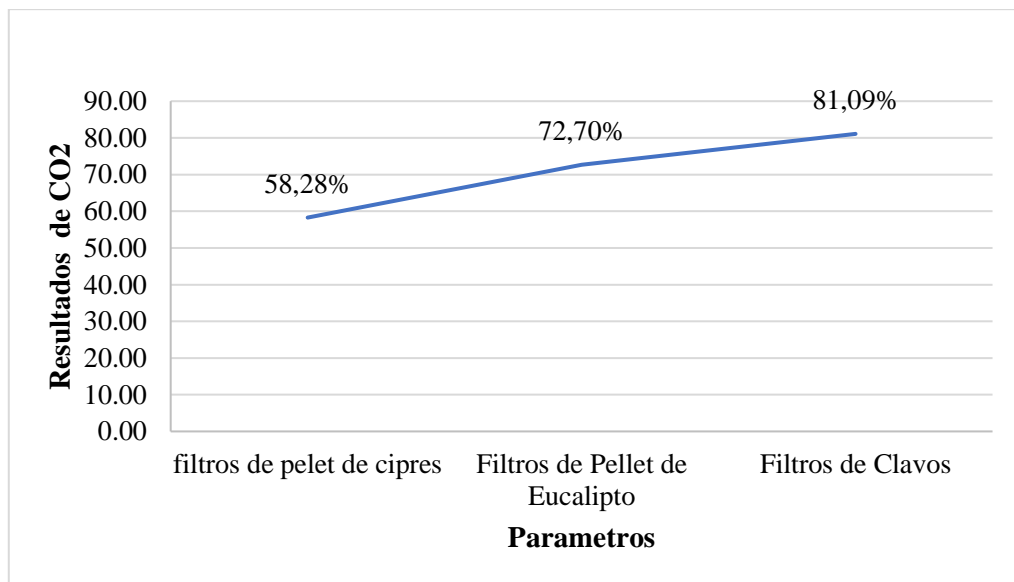
**Figura 7.** Resultados de purificación de CH<sub>4</sub>



- **Resultados de purificación de CO<sub>2</sub>**

En la figura 8 se observa el porcentaje de purificación de CO<sub>2</sub>, de acuerdo a la estadística con un nivel de significancia de 95%, se afirma que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación con 81,09%, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con éste, se evidencia que el tratamiento de filtros de pellet de eucalipto tuvo mayor porcentaje de purificación con 72,70%, seguidamente por el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 58,28%.

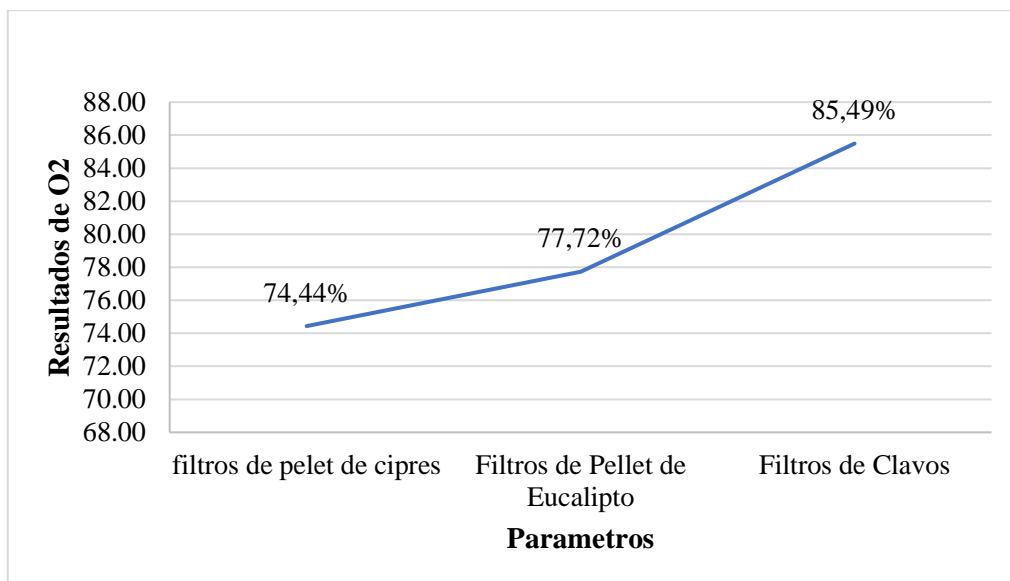
**Figura 8.** Resultados de purificación de CO<sub>2</sub>



- **Resultados de purificación de O<sub>2</sub>**

En la figura 9 se observa el porcentaje de purificación de O<sub>2</sub>, de acuerdo a la estadística con un nivel de significancia de 95%, se afirma que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación con 84,97%, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con éste, se evidencia que el tratamiento de filtros de pellet de eucalipto tuvo mayor porcentaje de purificación con 77,38%, seguidamente por el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 74,44%.

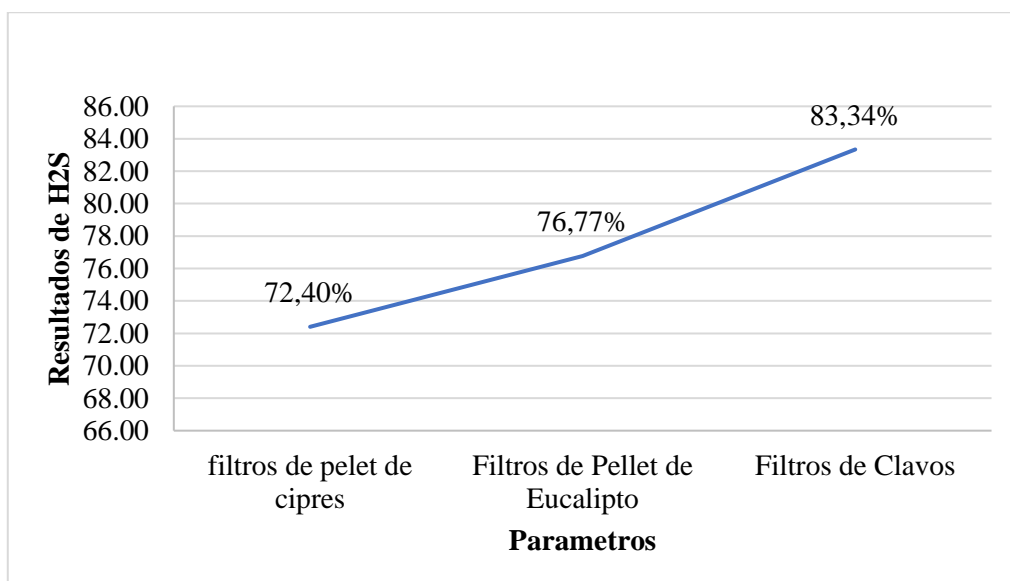
**Figura 9.** Resultados de purificación de O<sub>2</sub>



- **Resultados de purificación de H<sub>2</sub>S**

En la figura 10 se observa el porcentaje de purificación de H<sub>2</sub>S, de acuerdo a la estadística con un nivel de significancia de 95%, se afirma que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación con 83,02%, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con éste, se evidencia que el tratamiento de filtros de pellet de eucalipto tuvo mayor porcentaje de purificación con 76,41%, seguidamente por el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 72,70%.

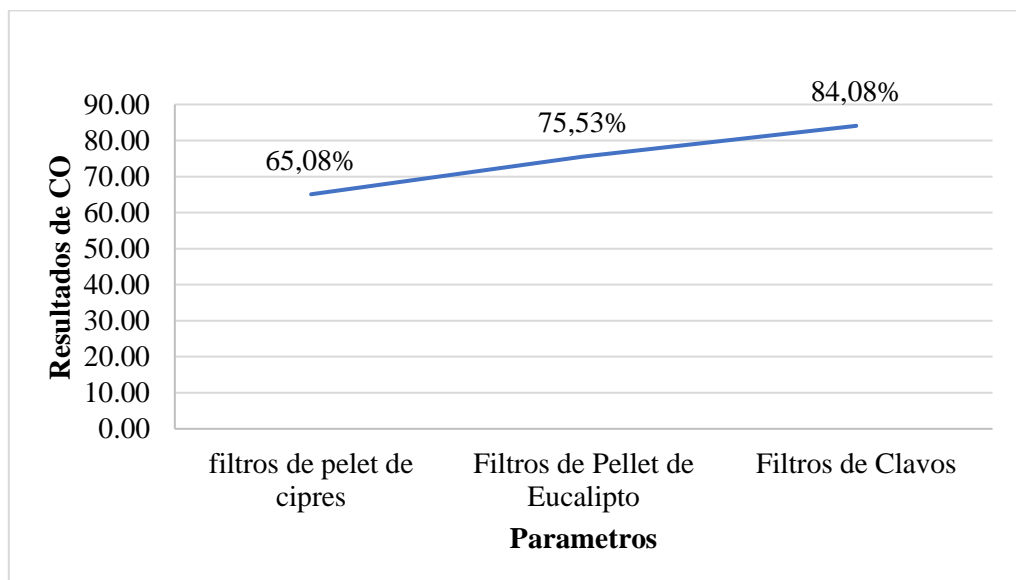
**Figura 10.** Resultados de purificación de H<sub>2</sub>S



- **Resultados de purificación de CO**

En la figura 11 se observa el porcentaje de purificación de CO, de acuerdo a la estadística con un nivel de significancia de 95%, se afirma que el tratamiento de filtros de pellet de ciprés tuvo mayor porcentaje de purificación con 66,35%, seguidamente por los filtros de pellet de eucalipto con un porcentaje de purificación de 30,88% , y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con los filtros de clavos de hierro que logró un porcentaje de purificación de 5,77%, se evidencia que los tratamientos en base a residuos leñosos tuvo mayor eficiencia de purificación.

**Figura 11.** Resultados de purificación de CO



#### IV. DISCUSIÓN

En la investigación desarrollada se evidencia que el empleo de filtros en base a pellet de residuos leñosos tales como: eucalipto y ciprés es eficiente para la purificación de contaminantes presentes en el biogás, tal es el caso de pellet de eucalipto tuvo el 76,41% de purificación de H<sub>2</sub>S y el 72,70% de purificación de CO<sub>2</sub>, en el caso de pellet de ciprés tuvo el 72,70% de purificación de H<sub>2</sub>S y el 58,28 de purificación de CO<sub>2</sub>. Es por ello que, se realizó el análisis de las propiedades físicas del pellet, teniendo como resultado los valores mostrados en la tabla 1. En función a ello, los resultados obtenidos coinciden con el estudio realizado por el Departamento de Ambiente y Desarrollo (2017), en la que trabajaron con una humedad de aserrín de 7,9 %, densidad de 58g/l para el tratamiento de H<sub>2</sub>S presente en el biogás de estudio, determinando que el aserrín producto de biomasa vegetales es eficiente para la remoción de sulfuros provenientes de la obtención de biogás. Asimismo, Sánchez (2018), precisa que dentro de las propiedades básicas de sustratos como aserrín uno de sus mejores parámetros determinantes para la purificación de biogás es su material volátil, mientras más alto sea su valor mejor será su procesamiento.

Respecto a los resultados obtenidos del % Vol de CH<sub>4</sub>, en la figura 7 se muestra que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación con 10,06% equivalente a un  $\bar{x}$  de 61,3% Vol de CH<sub>4</sub>, seguidamente del tratamiento de filtros de pellet de eucalipto con 6,34% equivalente a un  $\bar{x}$  de 63,9% Vol de CH<sub>4</sub> y finalmente el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 6,61% equivalente a un  $\bar{x}$  de 63,7% Vol de CH<sub>4</sub>. De acuerdo con Moreno (2018) menciona que el CH<sub>4</sub> es el componente principal en la producción de biogás por lo que, el porcentaje % Vol de CH<sub>4</sub> superior al 55% previo tratamiento de los compuestos químicos, es eficiente para la valoración eléctrica del biogás. Por otro lado, Castro (2020) menciona que el porcentaje de metano en el biogás debe ser mínimo el 45% para ser considerado como combustible y por ende proveniente de una fuente de energía limpia y renovable. En relación a los resultados obtenidos se evidencia que los filtros de pellet de ciprés es el tratamiento que menos reduce la concentración de CH<sub>4</sub> después de pasar por el sistema de filtros, seguidamente por los filtros de pellet de eucalipto. Ya que, la calidad y pureza del biogás depende de la cantidad de CH<sub>4</sub> que exista, lo que es proporcional, mientras mayor sea el porcentaje de este componente mayor es la calidad y poder calorífico (Ramirez, 2016).

En función a los resultados obtenidos del % vol de CO<sub>2</sub>, en la figura 8 se muestra que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación

con 81,09% equivalente a un  $\bar{x}$  de 8,6% vol de CO<sub>2</sub>, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con éste, se evidencia que el tratamiento de filtros de pellet de eucalipto tuvo mayor porcentaje de purificación con 72,70% equivalente a un  $\bar{x}$  de 8,6% vol de CO<sub>2</sub>, seguidamente por el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 58,28% equivalente a un  $\bar{x}$  de 18,9% vol de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con Falcones (2023), a través de la implementación de una torre de absorción de CO<sub>2</sub> como sistema de purificación de biogás obtuvo un porcentaje de remoción de 83%. Asimismo, Croquer (2020) indica que el uso de aminas e incluso su combinación es eficiente para la remoción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S con un rango de purificación del 59% al 92%, siendo una alternativa de bajo costo para su operación y funcionamiento. Por otro lado, Salazar (2023) señala que los equipos para remoción de CO<sub>2</sub> son de alto costo para la adquisición y operación, para la cual la presente investigación plantea el uso de filtros de pellet en base a ciprés y eucalipto para disminuir los contaminantes tóxicos presentes en el biogás.

Respecto a los resultados obtenidos del % vol de O<sub>2</sub>, en la figura 9 se muestra que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación con 84,97% equivalente a un  $\bar{x}$  de 0,3% vol de O<sub>2</sub>, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con éste, se evidencia que el tratamiento de filtros de pellet de eucalipto tuvo mayor porcentaje de purificación con 77,38% equivalente a un  $\bar{x}$  de 0,4 % vol de O<sub>2</sub>, seguidamente por el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 74,44% equivalente a un  $\bar{x}$  de 0,5% vol de O<sub>2</sub>. Asimismo, Duran (2022), obtuvo valor promedio de 1,1 % vol de O<sub>2</sub>, a su vez, indica que mientras menos sea la presencia de oxígeno la generación de biogás será mucho más eficiente para su uso. Por lo que, relacionando con los resultados obtenidos se evidencia que los filtros de pellet de eucalipto son más eficientes para la reducción de oxígeno, seguidamente por los filtros de pellet de ciprés. Por otro lado, Flores (2022), señala que la composición mínima del oxígeno en el biogás es de 0,1%, con la finalidad de obtener un biogás puro y con gran capacidad calorífico.

Respecto a los resultados obtenidos de la concentración ppm de H<sub>2</sub>S, en la figura 10 se observa que el tratamiento de filtros utilizando clavos de hierro tuvo mayor porcentaje de purificación con 83,02 % equivalente a un  $\bar{x}$  de 34,6 ppm de H<sub>2</sub>S, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con éste, se evidencia que el tratamiento de filtros de pellet de eucalipto tuvo mayor porcentaje de purificación con 76,41 % equivalente a un  $\bar{x}$  de 48 ppm de H<sub>2</sub>S, seguidamente por el tratamiento de filtros de pellet de ciprés con 72,70% equivalente a un  $\bar{x}$  de 55,6 ppm de H<sub>2</sub>S. De acuerdo con Rodríguez (2019), los gases



contaminantes presentes en el biogás son el H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> debido a la ocasión de daños a la salud, medio ambiente y corrosión de equipos-maquinarias, al mismo tiempo reducen el poder calorífico del biogás. Asimismo, Figueroa (2022), muestra resultados similares logrando un porcentaje de remoción de 76,3 % haciendo uso de biofiltración empleando soportes orgánicos tales como humus, aserrín y compost. Por otro lado, Echavarría (2023), a través del empleo de un reactor de adsorción química con lana de acero logró remover el 99% de concentración (672ppm) de H<sub>2</sub>S presente en el biogás obtenido. Y a su vez, Hernández (2020), utilizó un biofiltro elaborado de PVC empacado con toba riolítica alterada e inoculado por un consorcio microbiano sulfato reductor/sulfuro oxidante logrando una eficiencia en el rango de 87% - 99% de remoción de H<sub>2</sub>S.

Respecto a los resultados obtenidos de la concentración ppm de CO, en la figura 11 se observa que el tratamiento de filtros de pellet de ciprés tuvo mayor porcentaje de purificación con 66,35% equivalente a un  $\bar{x}$  de 10,5 ppm de CO, seguidamente por los filtros de pellet de eucalipto con un porcentaje de purificación de 30,88% equivalente a un  $\bar{x}$  de 21,6 ppm de CO, y a su vez comparando los filtros de residuos leñosos con los filtros de clavos de hierro que logró un porcentaje de purificación de 5,77% equivalente a un  $\bar{x}$  de 29,4 ppm de CO, se evidencia que los tratamientos en base a residuos leñosos tuvo mayor eficiencia de purificación. Asimismo, coronel (2018), indica que el porcentaje de CO en la producción de biogás debe ser el 0,1% del total de los componentes, ya que el componente que debe tener mayor porcentaje es el CH<sub>4</sub>. Por lo que, el empleo de residuos leñosos y/o orgánicos contribuye en la gestión eficiente de energía, aportando ventajas en el ámbito social, económico y ambiental a diversos grupos de interés (García, 2023).

## V. CONCLUSIONES

- El diseño de filtros utilizando pellets de residuos leñosos de ciprés (*Cupressus sempervirens*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ha demostrado ser una alternativa eficaz para la purificación de contaminantes presentes en el biogás. Esta tecnología aprovecha las propiedades adsorbentes de los residuos leñosos, contribuyendo a la reducción de impurezas como el sulfuro de hidrógeno y otros compuestos indeseables en el biogás.
- Los filtros de clavos de hierro alcanzaron el mayor porcentaje de purificación en los parámetros de dióxido de carbono, oxígeno y ácido sulfhídrico, seguidos por los filtros de pellets de eucalipto y, finalmente, por los de pellets de ciprés.
- Los filtros de pellets de ciprés lograron la mayor tasa de purificación de monóxido de carbono, seguidos por los de pellets de eucalipto y, en último lugar, por los de clavos de hierro.
- Al evaluar la eliminación de contaminantes como H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>, los filtros de pellets de eucalipto y ciprés no superaron la eficiencia de los filtros de clavos de hierro en estos parámetros, debido a las diferencias en los componentes de cada material. No obstante, con una eficiencia superior al 60%, los filtros de pellets de eucalipto y ciprés son una opción viable para tratar los componentes corrosivos presentes en el biogás.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Usar el sistema de filtros como alternativa para la purificación de los contaminantes de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> presentes en el biogás.
- Realizar pruebas con el uso de otros residuos leñosos a fin de evaluar eficiencia de purificación de los contaminantes del biogás.
- Usar el sistema de filtros como alternativa para la purificación de los contaminantes de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> presentes en el biogás.
- Realizar difusión de la implementación y uso de biodigestores para la generación de biogás principalmente en sectores ganaderos, debido a sus diversos beneficios en el ámbito económico, social y ambiental
- Emplear sustratos de estiércol de ovinos, porcinos, cuyes y residuos orgánicos para la producción de biogás y a su vez, emplear filtros en base de residuos leñosos para la purificación de los mismos.
- Asegurar la protección personal durante el proceso de obtención de biogás, como medida de seguridad esencial.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez , N. (2016). Procesos de Adsorción para la Captura de CO<sub>2</sub> en Corrientes de Biogás.
- Arroyo, S. (10 de Octubre de 2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. Redalyc, 10. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5055/505554800003/html/index.html>
- Atuesta, E. (21 de Abril de 2015). Caracterización físico-química de pellets producidos a partir de mezclas 50/50 carbón bituminoso/madera residual. Energías Renovables, 8. Obtenido de Dialnet-*CaracterizacionFisicoquimicaDePelletsProducidosAPA-5290924*.
- Aviles, G. (2020). Evaluación de Pellets producidos con residuos de *Guadua angustifolia* Kunth. Tesis, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4482>
- Barrena, M., Cubas, F., & Gasgot, W. (Agosto de 2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. Scielo, 10. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000200014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000200014&script=sci_arttext)
- Bonilla , A. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Scielo, 8. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242012000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000200006)
- Broncano, E. (2019). Beneficios de la producción de Biogas y Bioabonos Usando estiercol de ganado vacuno, Pulpa de Café y aguas Mieles en el Centro Poblado de Aguas Verdes, Pardo Miguel, Naranjos, Rioja, San Martín. Chachapoyas.
- Cancho , D. (2015). Estudio de los Parámetros de Pelletizado de Residuos Biomásicos en Pelletizadora Semi Industrial. Tesis, Universidad de Extremadura, Badajoz. Obtenido de [http://dehesa.unex.es/bitstream/10662/3899/1/TFGUEX\\_2015\\_Cancho\\_Franco.pdf](http://dehesa.unex.es/bitstream/10662/3899/1/TFGUEX_2015_Cancho_Franco.pdf)
- Carú, M. (2021). Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. Scielo, 9. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642012000200005#:~:text=Es%20posible%20emplear%20%C3%B3xido%20de,tales%20como%20%C3%B3xido%20de%20zinc%2C](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000200005#:~:text=Es%20posible%20emplear%20%C3%B3xido%20de,tales%20como%20%C3%B3xido%20de%20zinc%2C)
- Castro, R. (2020). Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Scielo, 11. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.53545>

- Coronel, D. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. Ecuador. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf
- Chávez-Pasco G., Villanueva-Aguilar, C., Zevallos-Bueno, R. & León-Zuloeta R. 2022. Eficiencia biodegradativa de cianuro por *Pseudomonas* sp. REBIOL, 42(2): 85-90.
- Croquer, M. (2020). Comparación de diferentes Soluciones de aminos para la Purificación de Biogás. Argentina.
- Departamento de Ambiente y Desarrollo. (2017). Evaluación de medios filtrantes para la reducción de sulfuro de hidrógeno en el mejoramiento de la calidad de biogas. Honduras.
- Duran, D. (2022). Producción de biogás a partir de la mezcla del estiércol del ganado ovino con microorganismos eficientes a escala de un biodigestor, para su utilización como fuente de energía renovable, en las zonas ganaderas del distrito de Ninacaca. Cerro de Pasco. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2626/1/T026\_71784709\_T.pdf
- Espinosa, A. (14 de Febrero de 2019). Evaluación de la potencia de un molino de martillos al procesar bagazo de caña de azúcar. Revista de Ciencias Agrícolas, 16. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v36n1/2256-2273-rcia-36-01-00093.pdf>
- Echavarría, G. (2023). Comparación entre un sistema biológico y un sistema químico para la remoción de sulfuro de hidrógeno presente en un biogás generado a partir de POME. Antioquia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10495/36376>
- Falcones , K. (2023). Purificación del biogas producido por co-digestión anaerobia de residuos urbanos en planta piloto. Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67176>
- Fernández, M. (2014). Síntesis de carbón activado peletizado a partir de carbón mineral del Cerrejón. Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54724/1032417226.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Figueroa, C. (2022). Determinación de la eficiencia de Remoción de H<sub>2</sub>S en sistemas de producción de biogás mediante Biofiltración empleando soportes orgánicos. Lima. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5494/figueroa-cornejo-clara-gabina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flores, A. (2022). Producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la ciudad de Moquegua. Moquegua. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repositorio.ujcm.edu.pe/b

itstream/handle/20.500.12819/1362/Andrein\_tesis\_titulo\_2022.pdf?sequence=1  
&isAllowed=y

- García, E. (2023). Prevención de riesgos en el sector de energías renovables y actividades ecoamigables. Obtenido de <https://buleria.unileon.es/handle/10612/17353>
- Gonzales , G. (2017). Producción de Pellet de madera a base de residuos y subproductos de la industria forestal. La Plata.
- Gonzales, G. (2018). Producción de Pellet de madera a base de residuos y subproductos de la industria forestal. La Plata. Obtenido de <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/4222/Producci%C3%B3n%20de%20pellet%20de%20madera%20a%20base%20de%20residuos%20y%20subproductos%20de%20la%20industria%20forestal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernandez, B. (2020). Evaluación de un biofiltro acoplado a un biodigestor anaerobio para la remoción de H<sub>2</sub>S en la corriente de Biogás. México. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.uach.mx/515/1/Tesis%20Benjam%C3%ADn%20Hern%C3%A1ndez%20Figueroa.pdf>
- Hernández, J. (2018). Evaluación de los procesos de transferencia de masa que ocurren durante la purificación de biogás empleando membranas.
- Julca, J. (2017). Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en. INDES, 8. Obtenido de <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/139>
- López, G. (2017). Fundamentos Teóricos y propuesta de un proceso para la práctica del envasado del Biogás libre de CO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>S. El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15120/1/Fundamentos%20te%C3%B3ricos%20y%20propuesta%20de%20un%20proceso%20para%20la%20pr%C3%A1ctica%20del%20envasado%20de%20biog%C3%A1s%20libre%20de%20CO2%20y%20H2S%20en%20El%20Salvador.pdf>
- Luque, C. (2016). El gas metano y su relación con las actividades ganaderas. Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), 8.
- Marin, L. (2016). Purificación Biológica de Biogás. Santiago de Chile.
- Montenegro, R. (2020). Producción de Biogás y Bioabonos a partir de estiércol de Bovino en Biodigestor Tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Bagua. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2072/Montenegro%20D%C3%ADaz%20Raquel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morero, B. (2018). Simulación del Proceso de Absorción Química con Soluciones de Aminas para la Purificación Biogás. Scielo, 8.
- Navarro, N. (2017). Potencial Técnico para la Producción de Biogás, generado a partir de Residuos Orgánicos Producidos en las Columna de Independencia. Chile. Obtenido de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Navarro%20Natalia.pdf>

- Nojek, P. (2009). Pellets de madera: Una fuente de energía Renovable. Tesis, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires. Obtenido de [https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1130/41180\\_JuanPablo\\_Nojek.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1130/41180_JuanPablo_Nojek.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ortega, L. (2015). Principales métodos para la desulfuración del biogás. Scielo, 12. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382015000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000100004)
- Paredes, N. (2019). Aprovechamiento de los residuos del café molido y pasado para elaborar un biocombustible de segunda generación. Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19242/1/T-UCE-0017-IQU-048.pdf>
- Parrales, J. (2019). Evaluación de la remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás mediante el método de la aireación. Lima. doi:<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4042/huertas-parrales-joanna-kenit.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Pinheiro , D. (2019). Evaluación de la biomasa vegetal para la producción de pellets mediante estadísticas multivariadas (PCA y HCA). ScienceDirect, 139. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.103>
- Ramirez, G. (2016). Valoración de la Producción de biogás durante un proceso de digestión anaerobia con contenido ruminal de origen bovino bajo condiciones de tiempo, carga y temperatura diferenciales. Colombia. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2771/Ramirez\\_Sanchez\\_Gloria\\_pdf.2016%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2771/Ramirez_Sanchez_Gloria_pdf.2016%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramos, D. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Scielo, 10. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000400007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007)
- Rodriguez , N. (2019). Diseño e Implementación de una planta piloto de producción de biogás, biol y biosol. Trujillo. doi:<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26311>
- Salazar , F. (2023). Evaluación experimental de métodos de purificación de biogás producido a partir de estiércol de cerdo en biodigestores rurales.
- Sánchez, E. (2018). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos (pasto y aserrín) en la ciudad de Estellí . Nicaragua.
- Salazar, P. (2017). Diseño e Instalación del Biodigestor tipo Laguna Cubierta del Establo de la Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza, Chachapoyas, Amazonas. Tesis, Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza, Amazonas, Chachapoyas. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1443/Perci%20Salazar%20Salazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sánchez, A. (2020). Sostenibilidad del Sistema de Tratamiento de estiércol para producir Biogás y Bioabonos en Shumaya. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Cajamarca, Huarango. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2084/S%C3%A1nchez%20Racho%20Helvert%20Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Skerman , A. (2017). Medios filtrantes de bajo costo para la eliminación de sulfuro de hidrógeno del biogás. ScienceDirect, 105. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.001>
- Valerio, A. (2010). Diseño y Evaluación de un Sistema para la Purificación del Metano Producido mediante Biodigestión en el ITCR. Cartago. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6312/dise%C3%B1o-evaluaci%C3%B3n-sistema-purificaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Winston, A. (2016). Diseño de un Biodigestor Doméstico para el Aprovechamiento Energético del Estiércol de ganado. Piura. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME\\_200.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1)



## ANEXOS

### 2.7 Anexo 1: Panel Fotográfico



Fotografía 1. Preparación del aserrín para la conformación de pellet



Fotografía 2. Producción de pellet



Fotografía 3. Pesado de la muestra de pellet



Fotografía 4. Calcinación de la muestra a temperaturas de 900°C y 550 °C



Fotografía 5. Uso de Mufla para la calcinación de la muestra a 550 °C



Fotografía 6. Pesado de la muestra después de la calcinación



Fotografía 7. Instalación del sistema de filtros para la purificación de biogás



Fotografía 8. Medición de los parámetros antes del ingreso a los filtros



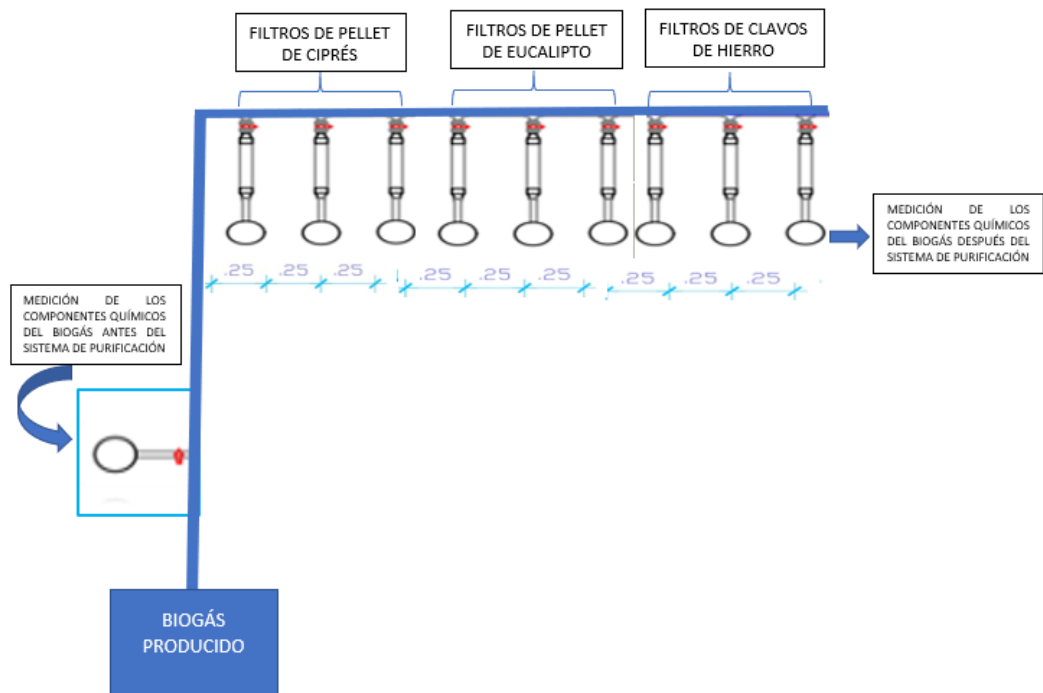


Fotografía 9. Uso del Equipo MultiTec 545 para la medición de los parámetros del biogás



Fotografía 10. Medición de los parámetros del biogás obtenido

## 2.8 Anexo 2: Diseño del filtro



**Figura 12.** Diseño de los filtros utilizados