

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Eficiencia de un biorreactor implementado con  
tecnologías de control para la producción de  
biogás y biol en la Granja Común - 2022**

Mayckol Raimundo Comun Limache

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Jose Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 16 de Abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

"EFICIENCIA DE UN BIORREACTOR IMPLEMENTADO CON TECNOLOGÍAS DE CONTROL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN LA GRANJA COMÚN-2022"

**Autores:**

1. MAYCKOL RAIMUNDO COMUN LIMACHE – EAP. Ingeniería Ambiental

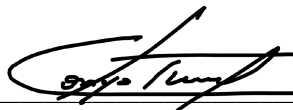
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

**ASESOR**

Ing. José Vladimir Cornejo Tueros

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradezco a nuestro creador, Dios, por brindarme sabiduría, conocimiento y salud, así mismo por mis padres que se encuentra bien de salud, quienes me incentivan a seguir esforzándome para lograr superarme cada día y conseguir mis logros establecidos en el tiempo, siempre rescatando su sacrificio, con la economía, que me brinda para seguir mis estudios posteriores, así mismo rescato la humildad, sencillez, respeto, y honestidad. También enseñándome a perseguir mis metas con ética profesional en mis labores de desempeño después de culminar la carrera.

A la Universidad Continental por recibirme con los brazos abiertos a su casa de estudios y ser parte de sus alumnos y poder concluir una de mis etapas profesionales y ser parte de mi crecimiento profesional, así mismo al Dr. José Vladimir Cornejos Tueros por ser el mentor de dirigirme en la elaboración de la tesis, como asesor.

## **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios y a mis padres por su apoyo incondicional y a los docentes de la Universidad Continental, ya que por ellos he desarrollado mis conocimientos en la carrera de Ingeniería Ambiental, las enseñanzas que me brinda me han ayudado a tener una manera diferente de ver el mundo con un enfoque ecológico y sostenible para el medio ambiente.

Los esfuerzos son imprescindibles en este tiempo y el amor que han brindado mis familiares y amigos fue fundamentales para poder culminar este ciclo en la Universidad Continental.

Te doy las gracias, Dr. José Vladimir Cornejo Tueros por los conocimientos que me brinda en este tiempo.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO .....	3
DEDICATORIA .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN .....	10
ABSTRAC .....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>16</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.1.2. Formulación del problema. ....	19
1.2. Objetivos de la investigación .....	20
1.2.1. Objetivo general.....	20
1.2.2. Objetivos específicos .....	20
1.3. Justificación .....	20
1.3.1. Económica.....	20
1.3.2. Ambiental.....	21
1.3.3. Social.....	21
1.4 Hipótesis .....	21
1.4.1. Hipótesis general.....	21
1.4.2. Hipótesis específicas .....	21
1.5 Variables .....	22
1.5.1 Variable independiente .....	22
1.5.2 Variable interviniente.....	22
1.5.3 Variable dependientes .....	23
1.5.4 Operacionalización de variables .....	23
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
2.1 Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales:.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales: .....	25
2.1.3. Antecedentes locales:.....	26

2.2. Fundamento teórico: .....	26
2.2.1. Eficiencia de un biorreactor en la actualidad.....	26
2.2.2. El biogás.....	27
2.2.3. Fertilizante de biogás .....	29
2.2.4. El biorreactor .....	30
2.2.5. Tipos de biodigestores .....	31
2.2.6. Biogás .....	34
2.2.7. Factores que afectan la producción de biogás.....	35
2.2.8. Tecnologías de control.....	38
2.3 Términos básicos: .....	40
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
3.1. Métodos, y alcance de la investigación.....	46
3.1.1 Método y tipo de investigación:.....	46
3.1.2 Alcance .....	46
3.1.3 Nivel de la investigación.....	46
3.1.4Tipo de investigación.....	46
3.2 Diseño de la investigación: .....	47
3.2.1 Método de la investigación .....	47
3.3 Procedimiento y etapas de la investigación .....	50
3.3.1 Investigación bibliográfica.....	50
3.3.2 Diseño del biorreactor.....	51
3.3.3. Implementación física.....	53
3.3.4. Validación del diseño y del equipo funcional.....	56
3.3.5 Análisis de resultados .....	58
3.4 Población y muestra.....	59
3.3.1. Población.....	59
3.3.2. Muestra. ....	59
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	60
3.4.1. Técnica de observación.....	60
3.4.2. Técnica de campo directa.....	60
3.4.3. Técnica de entrevista.....	60
3.5 Equipos y materiales .....	60
3.5.1 Procesamiento de datos.....	61
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>62</b>



4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	62
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<i>Operacionalización de variables</i> .....	23
<b>Tabla 2.</b>	<i>Composición química de biogás en la granja común-2022</i> .....	27
<b>Tabla 3.</b>	<i>Porcentaje de metano según el estiércol de animal</i> .....	28
<b>Tabla 4.</b>	<i>Composición del biogás</i> .....	34
<b>Tabla 5.</b>	<i>Valores de pH en el biogás</i> .....	36
<b>Tabla 6.</b>	<i>T1 - Producción de biogás en 30 días</i> .....	66
<b>Tabla 7.</b>	<i>T1 - Producción acumulada de biogás</i> .....	67
<b>Tabla 8.</b>	<i>T2 - Producción de biogás en 30 días</i> .....	68
<b>Tabla 9.</b>	<i>T2 - Producción acumulada de biogás</i> .....	69
<b>Tabla 10.</b>	<i>T3 - Producción de biogás en 30 días</i> .....	70
<b>Tabla 11.</b>	<i>T3 - Producción acumulada de biogás</i> .....	71
<b>Tabla 12.</b>	<i>Características del biogás</i> .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Sistemas de hogar rural de biogás .....	27
<b>Figura 2.</b>	Biodigestor.....	31
<b>Figura 3.</b>	Biodigestor Chino .....	32
<b>Figura 4.</b>	Biodigestor Hindu.....	33
<b>Figura 5.</b>	Biodigestor horizontal .....	33
<b>Figura 6.</b>	Características del Ph.....	36
<b>Figura 7.</b>	Modelo de procesos .....	39
<b>Figura 8.</b>	Diseño físico de biorreactor.....	55
<b>Figura 9.</b>	Diseño físico de biorreactor con sensores .....	57
<b>Figura 11.</b>	Cálculo de volumen de tanque.....	63
<b>Figura 12.</b>	T1 – Producción de biogás en los 3 rangos de horarios .....	67
<b>Figura 13.</b>	T2 - Producción de biogás en 30 días con 3 rangos de horarios.....	69
<b>Figura 14.</b>	Producción de biogás en 30 días y en 3 rangos de horarios .....	71

## RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo evaluar la eficiencia de un biorreactor implementando tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la granja común, con el propósito de conocer si es eficiente mayor a un 60 %, superlativamente en cuanto a los biodigestores de tipo Hindú y Chino, gracias a la implementación de tecnologías limpias para el mejoramiento del proceso. Para el desarrollo de la tesis se enfocó en la metodología de la investigación experimental, ya que es un procedimiento donde se aplica la manipulación, el procedimiento y las operaciones de tal manera que desarrollan información no ambigua sobre la generación de biogás y biol a partir de residuos orgánicos, generados en el hogar.

Los resultados de la investigación fueron eficientes ya que mostraron una eficiencia mayor a 60 % al utilizar método de rendimiento, considerando tanto el valor teórico como el valor real de producción de biogás. El estudio reveló que el T1 y T2 fueron muy eficientes, ya que desarrollaron una producción de biogás mayor a 60%. Mientras que el T3 no cumplió con el criterio establecido, ya que su eficiencia fue menor a 50%. Los tratamientos que destacaron especialmente fueron los de chicha de jora y suero de leche de vaca, evidenciando su potencial para una mayor producción de biogases. Sin embargo, para la evaluación del biol se hizo un análisis para los tres tratamientos dando como resultado el T1 un pH de 5.0 y con una conductividad de 1233.0 mS/m, materia orgánica 1.1 %, nitrógeno de 0.06%, fósforo 314.4 mg/kg, potasio 2338.1 mg/kg. Mientras que el T2 obtuvo un pH de 5.5 y una conductividad de 1156.0 mS/m, materia orgánica 0.9 %, nitrógeno de 0.05% y fósforo 452.7 mg/kg, potasio 2137.1 mg/kg y el T3 un pH de 3.3 una conductividad de 1686.0 mS/m, materia orgánica 1.1 %, nitrógeno de 0.06%, fósforo 533.8 mg/kg, potasio 4045.0 mg/kg.

Se llegó a la conclusión, que la implementación del biorreactor con tecnologías de control demostró una eficiencia mayor a 60% en los primeros dos tratamientos al utilizar sensores (Temperatura, pH y Gases) para su monitoreo. Para su análisis se enfocó en el método de rendimiento, considerando tanto el valor teórico como el valor real de la producción de biogás. Mientras que para el biol el análisis de los dos primeros tratamientos mostró ser factibles para su uso, ya que se encuentran en un rango de 5 a 6 el pH, esto demuestra que al añadir un litro de agua el pH al biol llegaría a ser neutra y su uso sería más factibles para el riego de las plantas indicando plenamente su viabilidad y beneficios. Para el beneficio económico se usó la metodología del van y tir, lo cual indica que el proyecto es viable desde ambas perspectivas. La rentabilidad está asegurada con una TIRE y TIRF que superan significativamente el costo de capital del 17%. Esto sugiere que el proyecto es una inversión atractiva y probablemente generará ganancias sustanciales para los inversores. Estos resultados son alentadores y sugieren que las tecnologías de control utilizadas en el biorreactor son prometedoras para mejorar la eficiencia y el seguimiento de la producción de gases en la granja común, lo que podría significar un avance significativo hacia el uso sostenible de energías renovables en este contexto.

## ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the efficiency of a bioreactor implementing control technologies for the production of biogas and biol in the common farm, with the purpose of knowing if it is more than 60% efficient, superlatively in terms of the Hindu and Chinese type biodigesters, thanks to the implementation of clean technologies for the improvement of the process. For the development of the thesis focused on the methodology of experimental research, since it is a procedure where the manipulation, procedure and operations are applied in such a way that they develop unambiguous information on the generation of biogas and biol from organic waste generated in the home.

The results of the research were efficient since it showed an efficiency greater than 60% when using the yield method, considering both the theoretical value and the real value of biogas production. The study revealed that T1 and T2 were very efficient as they developed a biogas production higher than 60%. While T3 did not meet the established criteria since its efficiency was less than 50%. The treatments that especially stood out were the chicha de jora and cow's milk whey treatments, showing their potential for greater biogas production. However, for the evaluation of the biol, an analysis was made for the three treatments, resulting in T1 with a pH of 5.0 and a conductivity of 1233.0 mS/m, organic matter 1.1%, nitrogen 0.06%, phosphorus 314.4 mg/kg, potassium 2338.1 mg/kg. While T2 obtained a pH of 5.5 and a conductivity of 1156.0 mS/m, organic matter 0.9 %, Nitrogen 0.05% and phosphorus 452.7 mg/kg, potassium 2137.1 mg/kg and T3 a pH of 3.3, a conductivity of 1686.0 mS/m, organic matter 1.1 %, Nitrogen 0.06%, phosphorus 533.8 mg/kg, potassium 4045.0 mg/kg.

It was concluded that the implementation of the bioreactor with control technologies showed an efficiency greater than 60% in the first two treatments when using sensors

(Temperature, pH and Gases) for monitoring. For its analysis, it focused on the yield method, considering both the theoretical value and the real value of biogas production. While for the biol the analysis of the first two treatments showed to be feasible for its use, since they are in a range of 5 to 6 pH, this shows that by adding a liter of water the pH to the biol would become neutral and its use would be more feasible for irrigation of plants fully indicating its viability and benefits. For the economic benefit, the van and tir methodology was used, which indicates that the project is viable from both perspectives. Profitability is assured with an EIRR and FIRR that significantly exceed the cost of capital of 17%. This suggests that the project is an attractive investment and is likely to generate substantial returns for investors. These results are encouraging and suggest that the control technologies used in the bioreactor hold promise for improving the efficiency and monitoring of gas production on the common farm, which could be a significant step towards the sustainable use of renewable energy in this context.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día el consumo de la energía es uno de los grandes núcleos de progreso y bienestar para la sociedad. La crisis energética se está dando a conocer a causas del agotamiento del recurso. El modelo económico actual, cuyo funcionamiento depende de un crecimiento continuo, exige una demanda de energía. Conociendo así mismo que las energías fósiles son finitas es inevitable que en un determinado tiempo la demanda no abastezca y como consecuencia el colapso del modelo actual, salvo que se desarrollen nuevos métodos ecológicos para obtener energía, estas serían las energías alternativas. En conjunto con lo mencionado se sabe que el abuso de combustibles fósiles como el petróleo entre otros acarrearán considerablemente la degradación del medio ambiente y así mismo el aumento de los gases de efecto invernadero y teniendo como consecuencia el aumento de temperatura del planeta y la apertura de la capa de ozono.

Actualmente el uso de energía ha crecido exponencialmente por la población, el avance tecnológico, medidas de conservación, adaptación de tecnologías energéticamente eficientes, la disponibilidad del alza de precio de los combustibles. Sugirieron el uso de energías renovables, como la biomasa que es un recurso renovable cuya utilización es beneficiosa para la población. Esta fuente es prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente en el ambiente vegetal, animal, urbano e industrial.

Una manera diferente de obtener combustible a partir de la biomasa es mediante la fermentación anaerobia, como el biogás y la obtención de combustible como el etanol por fermentación anaerobia y el metanol por hidrólisis, así como el bio diésel a partir de la extracción de aceites vegetales.

En la provincia de Huancayo el gran porcentaje de la población se dedica a la crianza de animales como cuyes, ovinos, porcinos y vacunos. Lo cual ayudara a diseñar un biorreactor con



tecnologías de control para producción de biogás y biol a partir de su excremento. Según Cruz Tutacano, un biorreactor es una alternativa eco amigable con el medio ambiente ya que ayuda a generar biogás a partir de residuos orgánicos, lo cual contribuye a disminuir el uso de combustibles fósiles. Así mismo Huaylinos, refiere que también se puede generar electricidad a partir de la conversión de biogás.

Esta investigación es tecnológica ya que tiene por finalidad diseñar, construir y mejorar la eficiencia de un biorreactor para la producción de biogás y biol a partir de residuos orgánicos; se sabe que a nivel global la disposición final de residuos orgánicos no es adecuada ya que se mezcla con residuos inorgánicos. Por ellos el diseño de tecnologías eco amigable contribuirá a la sociedad a enfocarse en una economía circular ya que generará recursos económicos como el cuidado del medio ambiente, se espera que el diseño del biorreactor en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo del departamento de Junín ayude de cierta manera a mitigar el impacto ambiental que se está desarrollando a nivel global por el uso excesivo de combustibles fósiles y el alto porcentaje de metano que se genera por la descomposición de residuos orgánicos en botaderos clandestinos.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema**

La inadecuada segregación y gestión de residuos orgánicos como el estiércol y otros domiciliarios producidos por las grandes urbes y las actividades ganadera (animales mayores y menores de corral), generan preocupaciones por la cantidad de gas metano que emanan al medio ambiente, este es uno de los gases de efecto invernadero que hoy en día está dando grandes efectos al planeta como el calentamiento global y la alteración meteorológicas (1).

La extracción exponencial de combustibles fósiles, a nivel mundial, está causando diversas alteraciones al medio ambiente (el calentamiento global, escases hídricas y degradación del suelo) y que en la actualidad está repercutiendo en las afectaciones a los sistemas ecológicos, al medio ambiental mermando el principal derecho a la salud y el medio ambiente. Las grandes industrias ganaderas tienden a contaminar el equilibrio ecológico de un sistema ambiental a través de desechos orgánicos o restos fecales de animales de corral que a su vez generan gases de efecto invernadero como el metano; dióxido de carbono y óxido nitroso; esta acumulación con un enfoque ecológico permitiría el desarrollo de energías naturales alternativas con gran potencial económico (2).

Los gases generados en una fermentación anaerobia, como el metano contribuyen al efecto invernadero, que hoy en día está afectando a nuestro entorno de manera desfavorable, si bien es cierto que el cambio climático se está dando en todos los países, en el nuestro ha empezado a generar ciertos perjuicios en ecosistemas limpios (cambio climático). Las principales emisiones o fuentes que desarrollan esta actividad son: la industria ganadera, el sector minero, botaderos clandestinos, la quema forestal y la extracción de hidrocarburos. Se indica que el 50 % del metano

constituye la formación del biogás, lo que constituye un combustible ecoeficiente para la sociedad y el medio ambiente (3).

La producción de biogás es un problema que hoy en día se conoce por su riesgo ambiental, la fermentación de restos fecales de animales de corral determina una concentración excesiva de sulfuro de hidrógeno y un porcentaje mínimo de metano; se sabe que la relación de microorganismos con los restos fecales de animales tiene una significancia positiva, ya que en muchos casos el metabolismo de estas bacterias fermentadoras desarrolla una concentración adecuada para el acetato. La identificación de bacterias de sulfato reductoras desarrolla un exponencial crecimiento al consumir el sustrato y a su vez favoreciendo a la producción de biogás (4).

Hoy en día existen diversas alternativas de implementación de biorreactores, y que en su gran mayoría es utilizado para la producción de biogás, esto ha conllevado a la identificación de pérdidas de metano  $(CH_4)$  en la entrada y salida (Biorreactor) donde las acciones bacterianas desarrollan la producción de gas. La construcción de biorreactores a nivel general padece en la gran mayoría de casos hay problemas de diseño, implementación y proceso haciendo que sus tecnologías a veces dejan fallas ecológicas (5). A pesar de diversas tecnologías existentes, aún no se han utilizado la mejorar de proceso de biorreactores ya que hoy en día se ve la limitación de controles de eficiencia.

En la ciudad de Huancayo existe una mala segregación de residuos sólidos ya que no los reutilizan o reciclan adecuadamente. Se estipula de aquí a unos años los principales problemas de la ciudad será el incremento de residuos sólidos y como consecuencia la contaminación de efluentes cercanos (El río Mantaro), y la aparición de diversa enfermedades y plagas a todo esto se une el incremento de gases por la descomposición de residuos de botaderos (Metano). Se conoce

que la gran parte de la población de Huancayo desconoce la adecuada segregación de residuos orgánicos, así como también de inorgánicos, todo esto productos de la mala recolección de estos residuos por algunos municipios de la provincia (6).

Según Registro de SIGERSOL, en el distrito de Chilca el problema que hoy en día se está desarrollando es el tema de basura ya que no dispone de un relleno sanitario, así mismo la mala recolección de la basura no dispone de una buena segregación al momento de la recolección de residuos orgánicos e inorgánicos. El Ministerio del Ambiente, menciona que la generación de residuos anuales en el distrito es de 25 142. 47 t/año, esto nos da a conocer que es un problema que afecta al medio ambiente, generando residuos que se pueden encontrar en los efluentes de ríos, calles, subsuelo y hasta quemados, esto conlleva a las emisiones de gases perjudiciales que contribuyen al cambio climático (Efecto invernadero)

Las grandes industrias ganaderas han sido un factor muy importante para la contribución al cambio climático hoy en día. Estas actividades ganaderas abarcan un gran porcentaje del mercado global en el Perú, se conoce a nivel mundial que es la tercera actividad con más efectos negativos al medio ambiente. Los ganados debido a su sistema digestivo (Rumiantes) son considerados como factores vivos contribuyentes a la contaminación atmosférica (CH<sub>4</sub>, CO). El crecimiento exponencial del metano de parte de los rumiantes se ha desarrollado por tres temas muy importantes: la alimentación, producción de microbiota ruminal y el mal tratamiento de residuos (7).

En los países subdesarrollados se identificaron que el costo supera los beneficios que se generan en la implementación de biorreactores. Los estudios mencionan que la expansión de la expansión de la producción de biogás en economías de desarrollo es factible. Una de las tantas barreras, que contribuye a la implementación de biogás, es la falta de biomasa, tierra y agua,

mientras que en otros lugares la falta de tecnologías e infraestructura limita la construcción (8). En la provincia de Huancayo del departamento de Junín, se ha verificado que la producción de animales tiene un gran porcentaje de crecimiento cada año, ya que dispone de una habitada factible para el desarrollo de estos animales (Cuyes) según el INEI (2017). Contribuyendo en una pequeña escala a la contaminación atmosférica con los gases que emana estos animales (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, etc.).

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### ***1.1.2.1. Problema general***

¿Cuál será la eficiencia de un biorreactor implementado con tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la Granja Común-2022?

#### ***1.1.2.2 Problema específicos***

¿Cuál será la implementación y análisis técnico del funcionamiento del prototipo del biorreactor implementado con tecnologías de control?

¿Cuáles serán las reducciones de GEI comparadas con otras tecnologías?

¿Cuáles serán los niveles de producción de biogás y biol en relación con los días evaluados de proceso?

¿Cuál será el beneficio económico generado por el biorreactor implementado con tecnología de control en la Granja Común-2022?

¿Cuál será la calidad del biogás y biol obtenido en el biorreactor de la Granja Común -2022?

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia de un biorreactor implementando tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la Granja Común-2022.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Implementar y analizar técnicamente el funcionamiento del prototipo del biorreactor implementando con tecnologías de control.
- Conocer las reducciones comparadas de GEI en relación con las tecnologías empíricas utilizadas en la zona.
- Determinar los niveles de producción de biogás y biol en relación con los días evaluados de proceso.
- Determinar el beneficio económico generado por el biorreactor implementado con tecnología de control en la Granja Común-2022
- Analizar la calidad del biogás y biol obtenido en el biorreactor de la Granja Común -2022.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Económica**

Según el “Diseño de un Biorreactor para la generación de Biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de Majes-Caylloma” usar un biorreactor ayuda al medio ambiente como a la población más vulnerable ya que contribuye a disminuir la tala de árboles y la radicación de combustible fósil. Y el biogás ayuda a contribuir de una manera adecuada y sostenible a la población y al planeta ya que solo se dispone de residuos orgánicos (1).

### **1.3.2. Ambiental**

Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) conoce que hay una infinidad de conocimientos para implementar innovaciones de tecnologías limpias para disminuir los desafíos de cada país. Los desafíos que se desarrolla mayormente son la implementación de tecnologías que se consolide. Además, los equipos a desarrollar a corto plazo para generar energía ecológica son: biocombustibles a partir de residuos orgánicos, energía eólica, turbinas hidro cinéticas y mini redes (8).

### **1.3.3. Social**

Según el artículo de “Construcción de y validación de un birreactor” la implementación de biorreactores a escalas menores se ha desarrollado durante mucho tiempo para la experimentación por el exceso de precio de un biorreactor a escala mayor. La construcción artesanal ayuda al cumplimiento los procesos fermentativos a una escala menor durante los días de proceso de fermentación (9).

## **. 1.4 Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La eficiencia del biorreactor diseñado en la Granja Común-2022 indicara niveles de eficiencia superiores a 60 %, superlativamente mejorados en cuanto a los biodigestores de tipo hindú y chino, gracias a la implementación de tecnologías limpias para el mejoramiento del proceso.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La implementación se desarrollará mediante métodos de sistemas de adquisición como: LabVIEW, ARDUINO, ASSEMBLY, HASKELL, C,

ADDER LOGIC, ERLANG, ETC, los cuales coadyuvarán al control y validación del proceso, asegurando la eficiencia de producción de biogás y biol.

- La reducción comparada de GEI entre el biorreactor propuesto y los procesos empíricos de la zona corresponde a un 20 % de reducción
- La producción de biogás con el modelo propuesto generará más de 1500 ppm por mes en la Granja Común-2022.
- El beneficio económico mensual obtenido en la Granja Común-2022 fue de 400.00 Soles, ya que se producirá más de 1500 ppm de biogás.
- La calidad de biogás obtenido en la granja común a partir de residuos de cuyes y restos de alimentos alcanza un 62 % de metano (CH<sub>4</sub>) y un 31% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## **1.5 Variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

Tecnologías de control

Nos ayudará a verificar la eficiencia del biogás y el biol indicando la optimización y el beneficio que nos pueden generar durante el primer mes que se implementará.

### **1.5.2 Variable interviniente**

Microorganismos

Nos ayudará a la descomposición de los residuos orgánicos introducidos en el biorreactor durante todo el mes, así mismo se verificará la adaptación del microorganismo en el proceso del biogás y biol y su eficiencia para la fermentación.



### 1.5.3 Variable dependientes

Eficiencia de un biorreactor nos ayudará a almacenar el material orgánico y fermentar la biomasa durante los días indicados correspondiente con todos procesos implementados durante el monitoreo que se llevará a cabo con el programa de LabVIEW

### 1.5.4 Operacionalización de variables

**Tabla 1.** *Operacionalización de variables*

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
<i>VARIABLE INDEPENDIENTE</i>			
<b>TECNOLOGÍA DE CONTROL</b>	<i>Sensores de acides</i>	<i>*Control de parámetro de pH</i>	<i>*pH</i>
	<i>Sensores térmicos</i>	<i>*Control de parámetro térmico</i>	<i>*°C, *°J</i>
	<i>Sensores de contracción de metano</i>	<i>*Control de parámetro de metano</i>	<i>*M3</i>
<i>VARIABLE INTERVINIENTE</i>			
	<i>Microorganismos</i>		
<i>VARIABLE DEPENDIENTE</i>			
<b>EFICIENCIA DE UN BIORREACTOR</b>	<i>Eficiencia producción de biogás</i>	<i>*volumen de producción</i>	<i>*Kg /Dias</i>
		<i>*tiempo de proceso</i>	<i>*Dias</i>
	<i>Eficiencia de producción de biol</i>	<i>*lixiviado liquido</i>	<i>*Litros/Dias</i>

## **|CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En el artículo de “Producción de Biogás mediante fermentación líquida de los residuos sólidos de piña y naranja” desarrolla una investigación sobre la mezcla de residuos orgánicos (cáscara de piña, naranja) y microorganismos (*Echerichia Coli*) para la fermentación clave para obtención de biogás. Para desarrollar todo este estudio se utilizó un biorreactor donde se pudo verificar la temperatura, pH, agitación, etc. Concluye que para desarrollar el producto de biogás se debe fermentar durante 30 días, disponiendo de un 50 % de cáscara de naranja y un 25 % de cáscara de piña y como microorganismos el *Echerichia Coli*. Se recomienda la aplicación de este método ya que es viable al poder controlar los niveles de pH (5-6) siendo un rango óptimo. Y con una concentración de metano de 55-70 % y un porcentaje de 35-40 % de dióxido de carbono, generando una llama azul óptimo en su rango de calidad (5) .

En la tesis “Análisis dinámico de biorreactor anaeróbico para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos” desarrolla un enfoque analítico matemático para la producción de biogás en un biorreactor con restos de alimentos domésticos añadiendo un sustrato se realizó un monitoreo implementando un programa (MATLAB). Concluye en dos análisis, en el primer resultado determina que al decaer la producción microbiana el biorreactor se apaga. Mientras que en el segundo resultado depende de varios factores como la dilución y concentración del tratamiento (S1), reconociendo que se puede redireccionar a el segundo tratamiento añadiendo condiciones (10).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la tesis titulada “Diseño de un biorreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de Majes-Caylloma” presenta el objetivo de diseñar un biorreactor en la ciudad de Arequipa, aprovechando el residuo orgánico para generar energía renovable (biogás, biol, electricidad, etc.). El biodigestor que se empleó en un modelo hindú con condiciona parámetros como presión constante, manipulación fácil y buen rendimiento. Los resultados concluyeron que el biorreactor es que se genera 12 m<sup>3</sup>/ día y que la temperatura adecuada es de 10 – 40 °C (1).

En la investigación “Evaluación de la macroalga *Ulva lactuca* como aportante de nutrientes a un inóculo metanogénico en la producción de biogás y biol mediante digestión anaerobia de residuos orgánicos del comedor de la UNALM”, desarrolló el objetivo de determinar la calidad de biogás y biol, con restos del comedor de la UNALM. En lo cual se utilizó contenido ruminal vacuno. Los resultados analizados identificaron que en los primeros 5 días hay una creciente producción de metano el cual fue muy factible (68 % de metano). Al biol se analizaron su parámetro fisicoquímico, determinando las concentraciones de sustancias químicas (N, C, P, K, Mg, Pb, Cd, Cr), evidenciando un Ph 5, los metales encontrados ayudaron a la concentración del biogás y biol (11).

En la tesis de “Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la biomasa de residuos orgánicos agropecuarios Chulucanas-Piura” determinó la producción de biogás a partir de restos fecales de animales (vaca, cerdo y residuos celulósicos) en la ciudad de Piura. Fermentando durante 4 días con agua de cal al 2% con un porcentaje de 30 % de residuos fecal de animales. Posteriormente se mezcló 20 L (agua de cal) por 90 días en el biodigestor.

Concluyendo con una obtención de 232 L de biogás durante los días establecidos y con un porcentaje de 65% de metano contribuyendo a la reduciendo de los gases perjudiciales en el medio ambiente (3).

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En la tesis de “Determinación de la potencia eléctrica a partir del biogás obtenida de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo”, analiza el porcentaje de electricidad que se pueda generar a través de la conversión de biogás a partir de residuos orgánicos generados por los municipios de la provincia de Huancayo. Se utilizó el método de modelación, ya que se utilizó un simulador para desarrollar un relleno sanitario describiendo el diseño experimental recopilando datos analizados. Se llegó a una conclusión de que el relleno sanitario abastecería un periodo de 20 años y así mismo generaría un 1.5 MW según el modelo Scholl (6).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Eficiencia de un biorreactor en la actualidad**

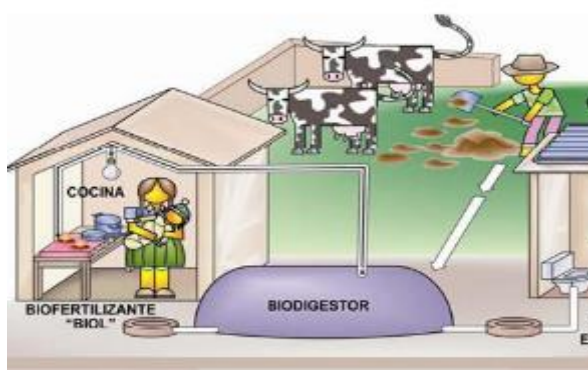
En la actualidad se estima que la cantidad de biorreactores en Europa es de 1500, sin mencionar los digestores artesanales. Mientras en EE. UU. no se tiene una demanda considerable a consideración a Europa. En el país de China se tiene una demanda mayor de digestores con una cantidad de dos millones y medio. Con la implementación sencilla para zonas rurales y que mayormente lo utilizan para gas doméstico y fluido eléctrico (12).

Se conoce que China en la actualidad desarrolla una escala mayor en el uso de digestores ya que les facilita para el uso de cocción y fluido eléctrico. Con su enfoque ecológico para recuperar suelo degradados que años se ha utilizado, es única barrera que dispone es la generación de este combustible de manera industrial ya que se requiere de mayor biomasa reduciendo así la producción de la flora, conllevando a una degradación de plantas; China se enfoca en el uso

adecuado de este modelo ya que en la actualidad dispone de un enfoque eco amigable con el medio ambiente. A nivel global han surgido países que desarrollan combustible a partir de madera como restos de cáscaras de café y el estiércol de animales gracias a la descomposición anaeróbica.

### 2.2.2. El biogás

Es la producción de gas natural a partir de la descomposición de la materia orgánica por factores biológicos y cuyos resultados principales son el metano y el dióxido de carbono. Estos gases en su composición abarcan un 60 % de metano (CH<sub>4</sub>) y un 40% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases que se desarrollan en una cantidad mínima (1% de ácido sulfhídrico), gas liviano e infumable (2).



**Figura 1.** Sistema de hogar rural de biogás

El porcentaje de biogás varía de acuerdo con el excremento utilizado en el biorreactor, un aproximado dato estadístico se indica en la tabla 2.

**Tabla 2.** Composición química de biogás en la Granja Común-2022

Elemento	Porcentaje
Metano	40-70%
Dióxido de carbono	0-60%
Sulfuro de hidrógeno	0.3%

Tomada de: Biorreactor y biogás

Se conoce que la temperatura de fermentación influye en la cantidad de metano ya que a una temperatura menor se obtiene un alto porcentaje de metano, además también dependerá del material orgánico que se utiliza para el proceso, la siguiente tabla 2 indicará el porcentaje.

**Tabla 3.** *Porcentaje de metano según el estiércol de animal*

<i>Material de fermentación</i>	<i>Porcentaje de metano</i>
<i>Estiércol de gallina</i>	<i>60 %</i>
<i>Estiércol de cuyes</i>	<i>70%</i>
<i>Estierco de cerdo</i>	<i>67%</i>
<i>Estierco de establo</i>	<i>55%</i>
<i>Desperdicio s de cocina</i>	<i>50%</i>

En las épocas antiguas los países utilizaban el metano como una fuente de energía para generar un ambiente adecuado. Pero mientras que los años pasaban se dieron cuenta que el gas fósil también se podía generar de manera constante con la descomposición de restos orgánicos o restos fecales de animales.

#### ¿Cómo se desarrolla el biogás?

Conocido como el “gas de aguas estancadas “se desarrolla por la descomposición anaeróbica de restos orgánicos o restos de fecales de animales, al ser homogenizado con agua y depositado en un biorreactor, a una temperatura de 30 °C u 35° C, desarrolla un ecosistema de bacterias que ayuda a descomponer la materia orgánica y a su vez produce gas a partir de los 25 a 30 días. Para la vida de este ecosistema se debe renovar la biomasa para mantener una estabilidad en la alimentación de estos microorganismos.

Por las investigaciones durante años, la implementación para la producción de biogás se puede generar a partir de cualquier residuo orgánico. Y que mayormente se utiliza la excreta de animales y restos de residuos domésticos. Todo material que se puede utilizar, como fertilizante, está compuesto por sustancias químicas (C y N) beneficiosa para el biogás. La manipulación de estos elementos químicos o relación influye en la producción de este gas, la homogenización del agua con estos gases aumenta la fermentación de manera exponencial ya que es adecuado para la habitad del microorganismo anaeróbico. En un biorreactor con un porcentaje de fermentación líquida los microorganismos se adaptan más rápido al momento de disponer más materia orgánica lo que conlleva acelerar al incremento de biogás de manera continua.

#### Aplicación del biogás

En la actualidad la aplicación del biogás se ha aplicado de manera artesanal como industrial, para el uso doméstico o energía eléctrica y en algunos lugares el uso para el vehículo. Indicando que este gas puede ser utilizado como otro combustible económico como ecológico. Hoy en día se conoce que el GLP (gas licuado de petróleo) y el biogás tienen una gran variedad de usos.

- Las cocinas artesanales que emplean un porcentaje de 0.38 m<sup>3</sup> por persona por día.
- El biogás es un gas económico, ecológico y un excelente combustible para los vehículos.

#### **2.2.3. Fertilizante de biogás**

En la fermentación del nitrógeno gaseoso se puede encontrar amoniaco, y mezclado con agua y residuos orgánicos desarrolla nutrientes ricos en potasio, los nutrientes que se encontrarán se deberán por el material orgánico que se dispondrá al momento de fertilizar. El uso adecuado de

un biorreactor en países desarrollados como subdesarrollados ha reportado el crecimiento exponencial de plantas mejorando sus cosechas y las propiedades del suelo.

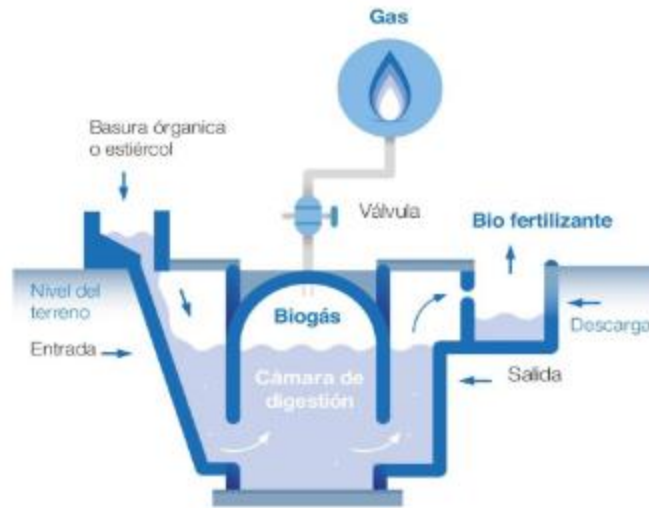
#### **2.2.4. El biorreactor**

Es un sistema que en la actualidad se está dando a conocer en lugares donde los residuos orgánicos se reutilizan de manera adecuada, este proceso se realiza de manera anaeróbica desarrollando microorganismos que se desarrollan con la ausencia del oxígeno, captando mediante tuberías o materiales que conducen gases de manera segura. El biorreactor se construye de manera circular donde tiene una apertura de entrada, la cual se utiliza mayormente para el ingreso de materia orgánica (restos de alimentos, restos fecales de animales, biomasa, etc.). Mientras el conducto de salida dispone del biogás. El proceso que sucede en el biorreactor libera energía como el metano y el dióxido de carbono la denominamos biogás.

Es fundamental la temperatura del ambiente del biorreactor, ya que el tiempo que fertilización de las bacterias se determinara verificando la descomposición de la materia orgánica. El ambiente recomendado para 10 días es de 30 °C, y para altiplanos se recomienda la temperatura de 20 °C para 25 días. es decir que para la misma cantidad de biomasa se necesita cinco veces más material en el altiplano que el trópico.

También se conoce como digestor anaeróbico, es un equipo o cámara cerrados. Donde se desarrollará un proceso descomposición de la biomasa (restos de alimentos, restos fecales de animales y biomasa). En condiciones de la ausencia del oxígeno, resultando la producción de biogás y bioabonos.





**Figura 2.** Biodigestor

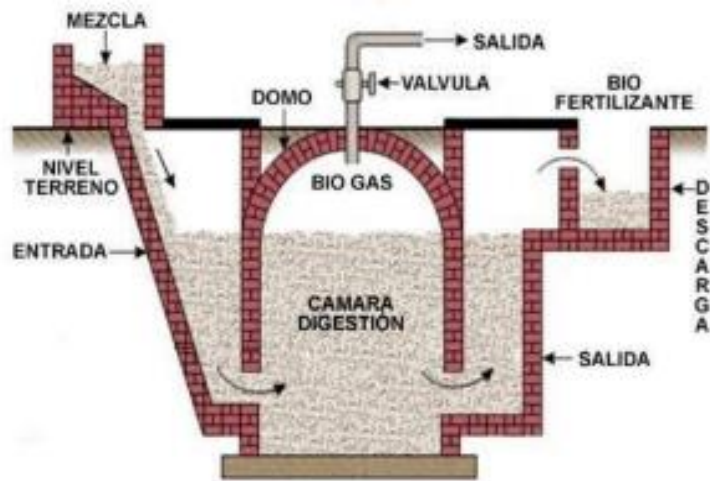
### **2.2.5. Tipos de biodigestores**

Se conoce que el 80 % de estas plantas diseñados son conocidas por dos tipos, las cuales se deriva del país donde mayormente lo utilizan y que en la actualidad se conoce a nivel global. Los equipos son de marca chino o cúpula y el hindú.

#### **2.2.5.1. Modelo chino o más conocido como cúpula fija**

Este modelo se desarrolló al inspeccionar el éxito que tenía la marca hindú, El gobierno quiso adoptar este diseño a sus propios mecanismos y a su vez las facilidades que de tecnologías disponían, ya que en esa época la problemática era la disposición de las heces humanas. La solución al implementar este biodigestor fue que les ayudaba a tener abono orgánico y a la vez biogás para su uso doméstico o electricidad. Este equipo tiene la función de trabajar a una presión variable ya que el objetivo de este modelo fue generar abono más no biogás

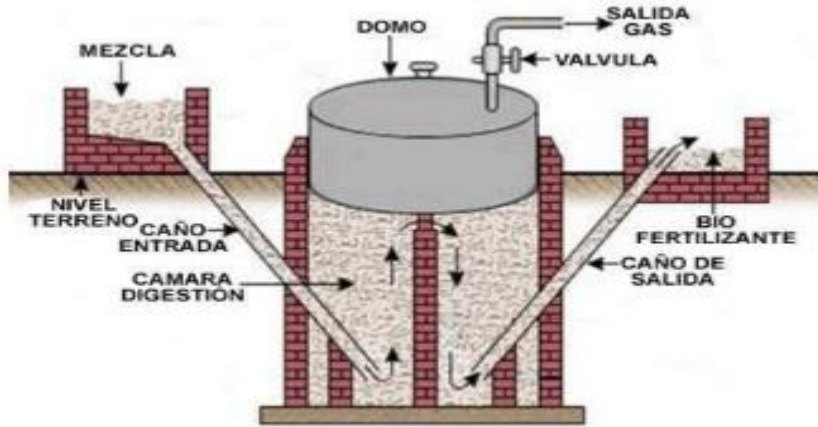
Este modelo fue considerado con respecto al diseño original ya que responde a un ahorro de materia, sin considerar la mano de obra. Su diseño se asemeja a un huevo ya que el gas que se acumula se almacena en el centro de la esfera.



*Figura 3.* Biodigestor chino

### 2.2.5.2. Modelo hindú

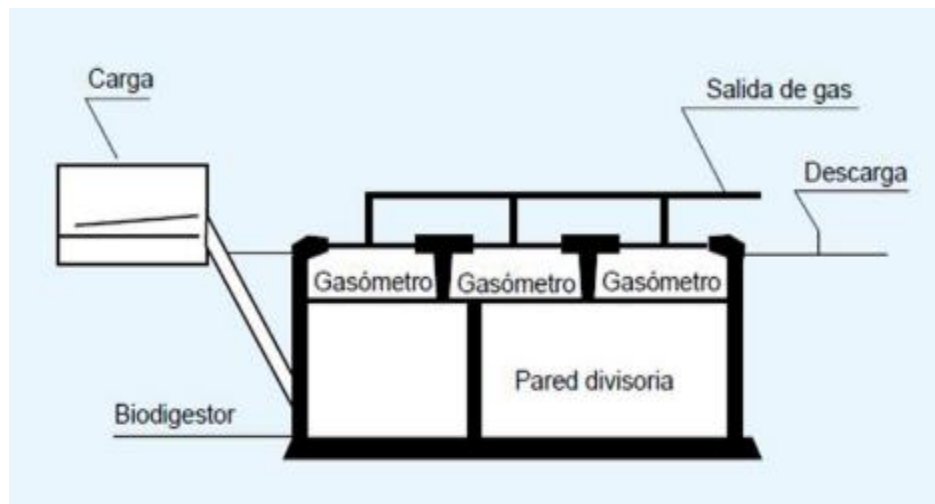
El modelo hindú se desarrolló en el continente de Asia (India) antes de la segunda guerra mundial, con el propósito de facilitar el combustible para las maquinarias y uso de calefacción en tiempos difíciles. Pero cuando culminó la guerra se volvió a reutilizar los combustibles fósiles dejando a un lado los biodigestores, en el transcurso de los años se dieron cuenta que no disponían de combustible y volvieron a obtener biogás a partir de su modelo, posee un cámara de forma cilíndrica donde se encuentra un cilindro gasométrico de hierro, disponiendo una salida de efluente por rebalse, este equipo genera un gasto de materia como en la cámara cilíndrica de hierro. Su optimización es adecuada en áreas rurales.



**Figura 4.** biodigestor hindú

### 2.2.5.3. Modelo horizontal

Su modelo está conformado de forma rectangular, a causa de la presión que se ejerce en el proceso de adquirir el biogás. Su diseño mayormente fue por el motivo de abarcar con el problema de la disposición de las aguas hervidas y la fácil manipulación y degradación de los residuos orgánicos para el proceso de biogás.



**Figura 5.** Biodigestor horizontal

### 2.2.6. Biogás

La composición del biogás se dispone de manera natural como artificial, peor hoy en día mayormente las personas han encontrado la facilidad de fermentar la materia orgánica para generar gas, son muchos los países que toman prioridad en la generación de materia orgánica como el estiércol de animales y residuos domésticos. Donde el mayor porcentaje de gas que se genera al momento de fermentarse es el metano (CH<sub>4</sub>) con un alto porcentaje de inflamabilidad y que en la actualidad se destina para el uso doméstico y la electricidad del hogar.

**Tabla 4.** *Composición del biogás*

Componente	Fórmula de gas	Porcentaje de gas%
Metano	CH <sub>4</sub>	40-70
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.1
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	30-60
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	0.1

Este porcentaje mencionado en la tabla N° 3 son generador de manera anaeróbicamente en un biodigestor o biorreactor donde su porcentaje de temperatura al momento de procesarlo llega hasta un 700 °C a 840 °C.

### 2.2.7. Factores que afectan la producción de biogás

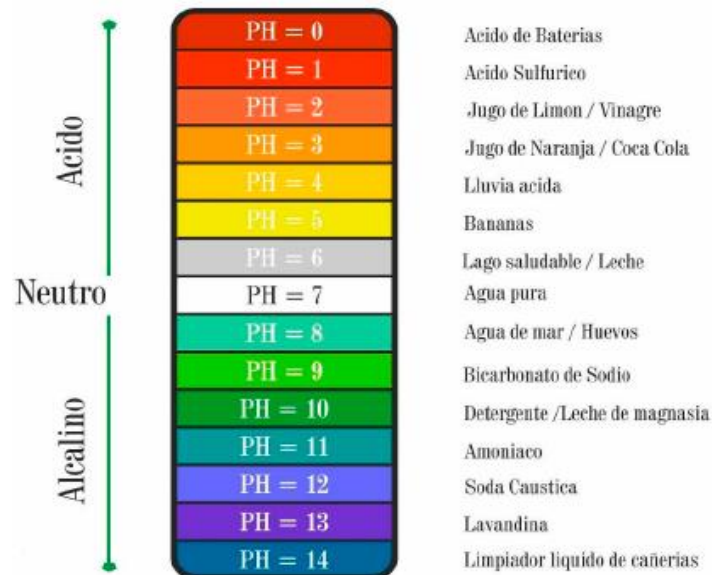
En las investigaciones desarrolladas en todo este tiempo se identificaron algunos factores que afectaban a la producción del biogás y algunos de ellos son:

- Materia prima

Se identificó que la materia orgánica o estiércol de animales influye de manera óptima en la composición del biogás, ya que al momento de fermentarse los microorganismos segregan gases de acuerdo con el material dispuesto en el biorreactor por ello es fundamental disponer de materia orgánica homogénea.

- pH

Es fundamental determinar el porcentaje de hidrógeno en el proceso del biogás, ya que de esta manera nos dará a conocer si nuestro residuo orgánico al momento de fermentarse será más ácido o alcalino y así mismo indicará el crecimiento microbiológico, lo recomendable para un adecuado pH es disponer en un rango de 6.7-7.5 y un límite de 8.0 (2).



**Figura 6.** Características del Ph

**Tabla 5.** Valores de pH en el biogás

Efectos de pH en el Biogás	
Valor de Ph	Efecto
7.0-7.2	Optimo
$\geq 6.3$	Retarda la acidificación
$\leq 7.7$	Retarda la amonización

- Temperatura

Un punto muy importante que influye de cierta manera es la temperatura, ya que a mayor temperatura la descomposición del material orgánico es más rápido y también el crecimiento microbiano aumenta de cierta manera influyendo en un metabolismo más eficiente.

- Velocidad de carga de masa

Este factor abarca el volumen de la biomasa con el volumen del biorreactor ya que si se dispone de demasiado residuos o menos esto influirá de manera negativa ya que el estiércol más el agua se dispondrá cada día para llevar un adecuado peso y volumen de biomasa.

- Tiempo de retención hídrica

Es importante tener en cuenta la retención de hídrica en el biorreactor ya que a una mayor temperatura se dispondrá de mayor recurso hídrico. Así mismo se verá el incremento o disminución de los microorganismos que degraden este compuesto orgánico.

- Inhibidores

Cuando se habla de inhibidores hablamos de metales que encontraremos en el residuo orgánico y así mismo la disposición de detergentes o algún producto de limpieza. Esto puede conllevar a afectar de cierta manera la degradación de estos residuos.

## Biorreactores

El diseño de un biorreactor se basa en un cilindro cerrado, donde se deposita residuos orgánicos o restos fecales de animales, se añade agua para la descomposición de esta biomasa así mismo los organismos vivos que se encuentran dentro del biorreactor realizan la descomposición de los residuos generando gases como el metano. El resultado de este proceso es el biogás almacenado en la parte superior del biorreactor (domo o campana) como es un gas se mantiene flotando, así mismo son separados mediante un proceso de tanque para su uso doméstico o eléctrico.

### a) Característica de un biorreactor

Para el funcionamiento de un biorreactor es necesario saber que el dispositivo debe ser:

- I. Hermético ya que no debe haber ninguna fuga de gas o el ingreso de algún vector.
- II. Térmicamente aislado por temas de cambio de temperatura.
- III. Seguro en las instalaciones de válvulas para la separación del biogás
- IV. Fácil para el acceso de mantenimiento.
- V. Disponible para la limpieza de las costras que se pegan en el biorreactor

### b) Tipo de biorreactor

En el diseño o el tipo de biorreactor que se va a utilizar va a variar de acuerdo con los dispositivos que se incluirá. Pero hay tipos de biorreactores que se utilizan de acuerdo con su alimentación o carga.

- a. Continuos: se utiliza mayormente en industrias para un buen control de aguas residuales ya que facilita la alimentación de un biorreactor en un proceso interrumpido.

- b. Semi continuos: este biodigestor se utiliza mayormente en sitios rurales como China e India donde añaden una gran cantidad de materia orgánica en una biodigestora cerrada, para luego añadir un porcentaje de agua para la descomposición de esta biomasa hasta generar el biogás, su uso mayormente es doméstico.
- c. Discontinuos: el biodigestor se enfoca en contener una gran cantidad de materia orgánica. Este proceso generará una gran cantidad de biogás los primeros días hasta disminuir continuamente y luego se vaciarán y comenzará el mismo proceso de inicio.

#### **2.2.8. Tecnologías de control**

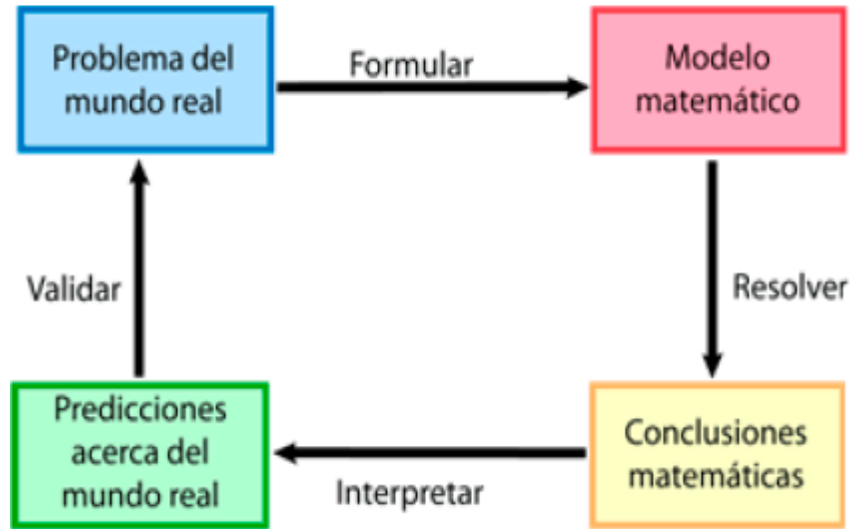
Las tecnologías de control que se implementará para la eficiencia del biorreactor verificarán los límites máximos y mínimos de pH, temperatura, humedad, volumen de producción y tiempo de proceso de biogás y el biol.

Uno de los programas que se utilizará es la LabVIEW, que nos ayudará a recepcionar datos instantáneos para poder verificar las deficiencias que se encontrará en el proceso del biogás y biol, este instrumento automatizará de forma inmediata los descensos y ascensos de cada sensor que se dispondrá en el biorreactor.

#### **Sistema de control**

El modelo matemático de cierta manera describe teóricamente un objeto fuera de un ámbito matemático. Como por ejemplo el pronóstico del tiempo o la economía. Esto engloba las matemáticas, pero la precisión del éxito o fracaso depende de la línea numérica con la que indica en los hechos relacionados durante todo el estudio.





**Figura 7.** Modelo de procesos

#### Sensores automatizados

Uno de los sensores naturales que nos ayudarán a conocer para la optimización del biogás es el crecimiento microbiano ya que esto nos ayudará a verificar la producción del metano que se generará durante los días establecidos. Los sensores mecanizados nos ayudarán a controlar los parámetros que se necesitan para estabilizar el pH, temperatura y la humedad.

En el proceso de digestión anaeróbica es fundamental conocer la relación entre los microorganismos y la energía que se desarrolla en el proceso, esto se conoce como termodinámica ya que estudia la relación química entre el consumo de energía (endotérmicas) y el desprendimiento (exotérmicas).

Es fundamental conocer el parámetro de GIBBS para conocer la capacidad de una reacción espontánea y verificar la eficiencia de un trabajo a presión y temperatura constante. Esta reacción pertenece a la propiedad de estado de entalpia y entropía, donde la temperatura y energía interna pertenecer a la entalpia. Y el trabajo y el calor no pertenece.

#### Parámetros de calibración

Se conoce que uno de los parámetros más comunes para la verificación de un biogás, es el color de la llama del gas, mientras el gas es más azul se conoce que hay un porcentaje mayor de metano y que es el gas es óptimo para su uso.

### **2.3 Términos básicos**

#### **Botadero:**

Según el MINAN, define como botadero la acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Estas acumulaciones existen al margen de la Ley y carecen de autorización (13).

#### **Energías renovables:**

La energía renovable es toda energía que se obtiene de manera natural, y que no dispone de ningún combustible fósil y que tiene la capacidad de no agotarse. Estas energías se pueden encontrar de manera inmediata a nivel global (el sol, volcanes, vientos, agua, etc.) (2).

#### **Energía alternativa**

Se afirma que es toda energía natural que no genere la quema de combustible fósil, asegurando el bienestar del medio ambiente y la salud de las personas (14).

#### **Ciclo de vida**

Según MINAN, el ciclo de vida es una etapa consecutiva e interrelacionada que consisten en la adquisición o generación de materias primas, fabricación, distribución, uso, valorización y su eliminación como residuo (13).

#### **Biomasa:**

Según “Rendimiento teórico del metano con bioestimulación de níquel a la digestión anaerobia de los residuos alimenticios”, afirma que es todo residuo orgánico proveniente de los

restos de animales, restos de árboles y restos de alimentos que se generan en el domicilio, estos residuos se pueden utilizar para la generación de energía (15).

**Coprocesamiento:**

Según el “Ministerio del Ambiente”, consiste en la transformación física que permite y/o facilita la valorización de los residuos sólidos, la que se puede efectuar a través de actividades de segregación, almacenamiento, limpieza, trituración o molido, compactación física y empaque o embalaje (13).

**Digestión anaerobia:**

Según la investigación de “Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos”, afirma que es un proceso de fermentación biológico orgánico degradativo y susceptible al oxígeno, la cual emana diferentes tipos de gases y el predomina ante todos ellos es el metano (CH<sub>4</sub>) (14).

**Disposición:**

Según el MINAN, el proceso u operaciones para tratar y disponer en un lugar los residuos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente seguro (13).

**Ecodiseño:**

Según el MINAN, diseño de productos, envase, embalaje etiquetado u otros, con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos y maximizar el uso eficiente de los materiales, a lo largo de todo su ciclo de vida (13).

**Ecoetiquetado:**

Según el MINAN, el mecanismo de información ambiental tiene la finalidad de comunicar a los potenciales de un producto o servicios que generen menores impactos negativos al medio

ambiente. Dentro del ecoetiquetado se puede incorporar las certificaciones o calificaciones con la que cuenta el producto (13).

**EPP:**

Según el MINSA, Son dispositivos, materiales e indumentaria personal destinados a cada trabajador para proteger de uno o varios ríos presentes en el trabajo y que pueden amenazar su seguridad y salud.

**Generador:**

Según MINAN, la persona natural o jurídica que debido a sus actividades genera residuos, sea como fabricante, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considera generador al poseedor de residuos peligrosos, cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las a actividades de recolección (13).

**Gestión integral de residuos**

Según MINAN, es toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concentración, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos (13).

**Productor:**

Según MINAN, es el fabricante, importador, distribuidor y comerciante de bienes, cuya responsabilidad se extiende durante el ciclo de vida del bien (13).

**Reciclaje:**

Según INACAL, es toda actividad que permite aprovechar un residuo mediante un proceso de transformación material, para cumplir su fin inicial u otros fines (16).

**Segregación:**

Según MINAN, es toda acción de agrupar determinados componentes o elementos físicos de los residuos sólidos para ser manejado en forma especial (13).

Biol:

Es un abono líquido regulador, producto de la descomposición anaerobia, de los desechos de los animales o restos de comida.

Tecnologías limpias:

Proceso de fabricación o una tecnología integrada en el proceso de producción, concebido para reducir, durante el propio proceso, la generación de residuos contaminantes (17).

Valorización:

Según MINAN, es cualquier operación cuyo objetivo sea que el residuo, uno o varios de los materiales que lo compone, sea reaprovechado y sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización puede ser material o energética.

Metano:

Según el rendimiento teórico del metano con bioestimulación, afirma que es un gas conformado por carbono e hidrógeno de la familia de los hidrocarburos (alcanos, alquenos, alquinos y sus análogos). Afirmando así que se encuentra dentro de los alquinos el CH<sub>4</sub> (15).

Valorización energética:

Según MINAN, lo constituyen operaciones de valorización energética, aquellas destinadas a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: Coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otros (15).

Estiércol:

Según MINAN, son residuos generados por restos fecales de animales y que en la actualidad es aprovechado de distintas maneras (biogas, biol, abono orgánico). Se puede encontrar de manera sólida o líquida (13).

#### Bioenergía:

Según IPCC, es la energía derivada de cualquier forma de biomasa o su metabolismo o subproducto (18).

#### Fermentación anaerobia

Según MINAN, es un proceso de degradación por causa de microorganismos y que se desarrollan en la ausencia de oxígeno, dando como resultado tipos de gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ). Conocido mayormente como biogas. La materia prima que abarca en esta fermentación es los restos de comida, restos fecales de animales, restos de hojas y hierbas, etc.) (13).

#### Biogás:

Afirma que es la mezcla de gases que se puede encontrar de forma natural como artificial. Esto se debe mayormente por cuestiones de biodegradación de manera inmediata con la ayuda de microorganismos, temperatura y la ausencia del oxígeno. Los resultados de este proceso desarrollan la aparición de metano y dióxido de carbono (1).

#### Biorreactor:

Es un contenedor o un medio donde mantiene un ambiente biológico anaeróbico o aeróbico, mayormente la fabricación de estos recipientes es cilíndrica y de acuerdo con su tamaño varía el precio. Mayormente en este recipiente se lleva a cabo procesos orgánicos o químicos (2).

#### Tecnología limpia:

Hace referencia a aquellos métodos, procesos, equipos y mecanismos que reducen el impacto negativo de la contaminación del medio ambiente (13).

#### Microplástico:

Son partículas de plástico menores a 5mm hasta tamaños tan pequeños que son imperceptibles. Productos de la degradación de los residuos de plásticos.

#### Metano:

El metano es un gas 84 veces más contaminante que el CO<sub>2</sub>, ya que es un gas muy inflamable y que las industrias generalmente lo utilizan para su extracción y transporte (19).

#### Compresor de gas:

Según INDECOPI es un equipo que se utiliza para presurizar la fase gaseoso, a fin de realizar el trasvase del GLP líquido de un recipiente a otro. Además, permite la recuperación del vapor de un recipiente (20).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Métodos, y alcance de la investigación**

#### **3.1.1 Método y tipo de Investigación:**

La investigación tiene un enfoque tecnológico cuantitativo ya que parte de un diseño que va a mejorar el proceso de producción de biogás y biol, se caracteriza por aplicar conocimientos que se adquieren de forma verídica y la mejora de procesos de biorreactores. Para su enfoque se partió de la eficiencia de un biorreactor, de la cual se estableció alguna hipótesis relacionada a la investigación. Así mismo se midió las variables conllevando a pruebas estadísticas para su conclusión.

#### **3.1.2 Alcance**

#### **3.1.3 Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación es aplicado, ya que plantea resolver un problema medio ambiental (Gases de efecto invernadero) con la aplicación y uso de conocimiento y tecnologías que permiten al estudio de la eficiencia de producción de biogás y biol, facilitando el bienestar de la población en la disminución de gases de efecto invernadero y el beneficio de producción y utilización de energías limpias nuevas y renovables.

#### **3.1.4 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada tecnológica o también conocida como empírica, es caracterizado por buscar conocimientos aplicados vinculado así con la investigación básica, ya que requiere de un marco teórico que busca abarcar las consecuencias de las prácticas. Ya que guarda relación con lo anterior y percibe fines directos o inmediatos ya que busca la realidad circunstancial ante el desarrollo de teorías. En pocas palabras busca conocer para hacer y actuar.



### 3.2 Diseño de la investigación:

El diseño del biorreactor es de tipo Basch, esto nos ayudó a recoger información respecto a las variables previamente determinadas.

La presente investigación concuerda con la exploración múltiple, la misma que se presenta en la figura siguiente:



Donde: M: Muestra (proceso de obtención de energía limpia en el prototipo implementado).

O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, .....O<sub>n</sub>; Observaciones realizadas

#### 3.2.1 Método de la investigación

Metodología de investigación es científica y tecnológica, para ello se hará uso de toda la información necesaria para desarrollar los procesos correspondientes para la generación de biol y biogás.

La investigación se guio de acuerdo con la relación que existe en la eficiencia del biorreactor con las tecnologías de control, para la generación de biogás en la ciudad de Huancayo.

El modelo que se desarrolló es experimental, ya que se entiende que es un procedimiento donde se aplica la manipulación, procedimiento y operaciones de tal manera

que desarrollan información no ambigua sobre la generación de biogás y biol a partir de residuos orgánicos, generados en el hogar.

### ***3.2.1.1 Método científico***

Según la metodología de investigación científica y tecnológica, la metodología científica abarca cinco subtipos (16).

a) Obtención de conocimiento particular: está enfocado en adquirir aspectos específicos, los cuales se basan en bases empíricas para así comprobarlas. Generalmente abarca la experimentación u observación de algún fenómeno natural. Ejem

-Determinación de la existencia y naturaleza de entidad

-Determinación de la naturaleza de los procesos

-El perfeccionamiento del instrumento

-La confirmación experimental de leyes

-Descubrimientos fortuitos

b) Formulación de leyes experimentales: muchas veces las leyes experimentales son de tipo matemático ya que existe una relación entre las variables o magnitudes del experimento, un ejemplo es la ley de Boyle, Avogadro o Pascal.

c) Construcción de modelos experimentales: cuando se encuentra un estudio demasiado complejo se utiliza el modelo experimental ya que facilita a encontrar los aspectos más importantes un claro ejemplo es el modelo atómico de Bohr.

d) Propuestas de teorías-marco: mayormente abarca la interpretación de muchos fenómenos, ya que actúan de soporte para la sustentación o valides de esta. Un

claro ejemplo es la dinámica de Newton ya que se basa en las leyes de Galileo y Kepler.

- e) Construcción de sistemas teóricos: se enfoca en proporcionar una explicación única de varios fenómenos. Cuando se logra, la unidad científica reconoce el grado y la consistencia. Un claro ejemplo es la mecánica de newtoniana.

### **3.2.1.2 Método tecnológico**

Según la metodología científica, indica que el método tecnológico también conocida como investigación de desarrollo, tiene por finalidad innovar artefactos o procesos que ayuden a generar un beneficio económico a la población (21).

Esta investigación es esencialmente experimental ya que se puede obtener conocimientos particulares como la:

- a) Obtención de nuevos productos
- b) Configuración de nuevos procesos
- c) Obtención de nuevos artefactos

Un biorreactor implementando sensores de control para la producción de biogás y biol puede considerarse un desarrollo fundamental en la investigación científica aplicada, ya que desarrollaría comportamientos menos riesgosos para la investigación, es fundamental tener inversión para su fabricación. El costo es un factor importante para llevar a cabo el proyecto. Así mismo el tiempo también es importante ya que se tiene por concluido la investigación tecnológica este año. La investigación tecnológica debe tener aspectos diferentes de manera **científico-técnico**, como por ejemplo el comercial y finanza.

La innovación tecnológica

Se conoce que la investigación tecnológica tiene por finalidad obtener nuevos procesos, equipos, diseño, etc.; para el beneficio de la sociedad. Cuando es implementado por primera vez en el mercado se menciona que se ha diseñado una **innovación tecnológica**. Mientras que el proceso no se haya aceptado se crea solo una **invención**.

La innovación del biorreactor tiene por objetivo la prestación de un servicio nuevo para la sociedad ayudando a desarrollarse de manera eco amigable con el medio ambiente y la economía de las personas.

Eco amigable con el medio ambiente

Es de gran importancia enfocarse en el medio ambiente ya que en la actualidad se refleja la gran problemática que se tiene a nivel global (calentamiento global). El proceso del biorreactor es factible con el medio ambiente ya que solo se requiere de residuos orgánicos y que no depende de ninguna sustancia química o elemento nocivo que perjudique al medio ambiente.

Punto financiero

En el diseño del biorreactor la rentabilidad será factible ya que se obtendrá beneficios económicos necesarios para su mantenimiento. De otro lado el consumidor tendrá la factibilidad de poder comprar o adquirir el producto a una economía factible.

### **3.3 Procedimiento y etapas de la investigación**

#### **3.3.1 Investigación bibliográfica**

En esta etapa de la investigación se hizo una verificación bibliográfica para la colección y análisis de diseños de biorreactores que puedan ser utilizables en la construcción de nuestro prototipo, esto no permitió establecer variables, parámetros e interfaces mecánicas, electrónicas y programáticas de nuestro biorreactor.

### **3.3.2 Diseño del biorreactor**

El diseño del biorreactor es de tipo batch para la generación de biogás y biol, se tuvo como referencia el diseño de los biodigestores de tipo hindú y chino, este biorreactor fue implementado con sensores de control como pH, temperatura y contracción de metano.

Para el diseño del biorreactor se tuvo en cuenta el proceso de desarrollo el equipo, ya que se debe asegurar las condiciones necesarias para el aumento microbiano y el mayor porcentaje de producto al finalizar. Así mismo se debe tener en cuenta los parámetros como el pH, temperatura, concentración de metano.

#### ***3.3.2.1 Microorganismos***

La actividad microbiana es fundamental en el biorreactor ya que de ello va a depender la cantidad de metano que se va a producir durante el proceso, además también es fundamenta conocer que la temperatura influirá en la producción del metano ya que la temperatura constante de 25 a 30 °C es óptima para su habitad.

#### ***3.3.2.2 Temperatura***

Se sabe que la temperatura no solo influye en la producción de metano sino también en la producción de bacterias productoras de ácidos, por lo tanto, la fluctuación de temperatura en ciertas maneras puede ser ventajosa ya que ayudaría a la producción de macroorganismos que generan gases (metano, CO<sub>2</sub>) pero la acides al que se exponen dejaría una producción baja conllevando a la pérdida de bacterias y la producción de gases.

#### ***3.3.2.3 pH***

Un factor importante es conocer la alcalinidad del pH para poder controlar, se conoce que la alcalinidad sirve como amortiguadores previos a los cambios bruscos de pH. Por ello es importante encontrar enzimas que se pueda añadir y estabilizar el pH entre 6 a

7.5, ya que la mayoría de las bacterias anaeróbicas producen una gran cantidad de metano en ese rango. Ya que al inicio las bacterias decrecerán por la producción de ácidos, pero al adaptarse y consuman el ácido volátil, el pH aumentará durante la primera semana hasta estabilizar en el rango mencionado.

#### **3.3.2.4 Conductor de calor**

De acuerdo con la ley de termodinámica se sabe que hay diferentes formas de mantener la temperatura en un reactor. Los más conocidos son: conducción, convección y radiación. La rapidez de conducción dependerá la configuración geotérmica, espesor y el material que este hecho. La razón de la conducción de calor en una superficie u objeto es proporcional a la diferencia de temperatura a través de esta y el área de transferencia de calor.

$$Q_{cond} = Ka \frac{t_1 - t_2}{\Delta x} = KA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

#### **3.3.2.5 Transferencia de calor**

Considerando que en un sistema adiabático la interacción entre el sistema y su entorno se denomina transferencia de calor. Y mientras el calor y el trabajo son los únicos mecanismos se puede transferir calor en un sistema cerrado.

$$Q_{net} = (E_1 - E_2) - W_{NET}$$

Matemáticamente expresando

$$\delta Q = dE - \delta w$$

En forma inferencial

#### **3.3.2.6 Características del material**

Para conocer la capacidad de un material sin fracturarse se conoce como tenacidad UT, y es proporcional al área debajo de curva de esfuerzo de deformación.

Tenacidad

$$U_T = \int_0^{S_{ut}} \sigma d\varepsilon = \left(\frac{s_y + s_{ut}}{2}\right)\varepsilon_f$$

La tenacidad de fractura de un material se mide mediante la una probeta de prueba estándar pre agrietada a cargas ciclista a tensión hasta que se rompa, las grietas ayudan a ver las concentraciones elevadas de esfuerzo.

El efecto de la grieta sobre el esfuerzo local se mide mediante el factor de intensidad de esfuerzo K, la cual la intensidad de fuerza (K) llega a la tenacidad de a la fractura Kc.

### **3.3.2.7 Presión de diseño**

Para medir la presión del diseño de un recipiente el parámetro como mínimo debe ser de 1.72 MPa (17.58kgf/cm<sup>2</sup>). Espesor mínimo de pared del cuerpo de recipiente cilíndrico.

Juntas longitudinales

$$T = \frac{PRi}{SE - 0.6P} ; P = \frac{PRi}{Ri - 0.6t}$$

Juntas circunferenciales

$$T = \frac{PRi}{2SE + 0.4P} ; P = \frac{SEt}{Ri - 0.4t}$$

### **3.3.2.8 Conservación de energías para sistemas**

Para la conservación de energía en un sistema cerrado es:

$$\Delta E_{mc} = E_2 - E_1 = Q + W$$

Se conoce también como balance energético para un sistema cerrado.

### **3.3.3. Implementación física**

En esta etapa se procedió a concretizar operativamente los planos de la etapa del diseñar los siguientes estándares de construcción y normativas vigentes en nuestro país.

Como referencia se utilizó el modelo hindú y china de los cuales se analizó la factibilidad y mejoramiento para diseñar el biorreactor. El principal objetivo es diseñar un biorreactor que sea eficiente y que permita una alta producción de biogás y a la vez generar biol. Para ello se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones.

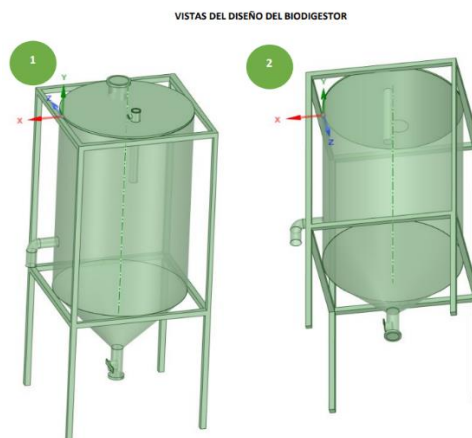
El diseño del biorreactor deber ser factible para su mantenimiento, y económicamente alto para su producción.

La generación de biogás y biol conllevará a generar un ambiente ecológico y amigable con el medio ambiente.

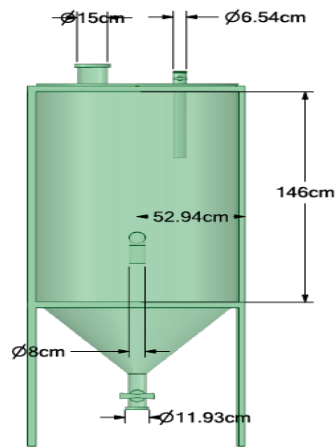
El diseño aplicado en el biorreactor debe ser adecuado para la condición climática de Huancayo.

La materia que se necesita para la elaboración debe ser disponible para no efectuar ningún retraso frente a una irregularidad. Así mismo a la demanda diaria de biogás.

El tamaño para la disposición de los residuos orgánicos dependerá del diseño del biorreactor donde se ver a la cantidad y el tipo de desperdicios que se dispondrá. Así mismo se identificar con los sensores los parámetros que se necesitara para la elaboración del biogás.







**Figura 8.** Diseño físico de biorreactor

### **3.3.3.1. Calibración de sensores**

Para verificar los errores que se desarrolla en el momento de la instalación de los sensores se llevó a cabo una calibración antes de su uso ya sea estadístico como con el programa de LabVIEW. La calibración se desarrolló antes de la compra del sensor como al momento de instalar el biorreactor. Por ello es importante dejar correr conectado con la estructura durante un tiempo prolongado para su adaptación con los residuos orgánicos que se implementó.

### **3.3.3.2. Sensores de temperatura**

Los sensores de platino de temperatura pertenecen a los RTD. También conocida como sonda de temperatura es muy resistente a las temperaturas ya que resiste hasta 250 °C, y es muy recomendado en industrias.

### **3.3.3.3. Diseño del software de control**

Para el diseño del software se implementó en una laptop el programa de LabVIEW, diseñando los comandos para la corrida inicial de los sensores mencionados.

#### ***3.3.3.4. Corridas experimentales***

Las corridas experimentales se llevaron a cabo con el programa la LabVIEW, esto ayudó a recolectar datos de temperatura, pH, Humedad, para la verificación de la optimización del biogás.

#### **3.3.4. Validación del diseño y del equipo funcional**

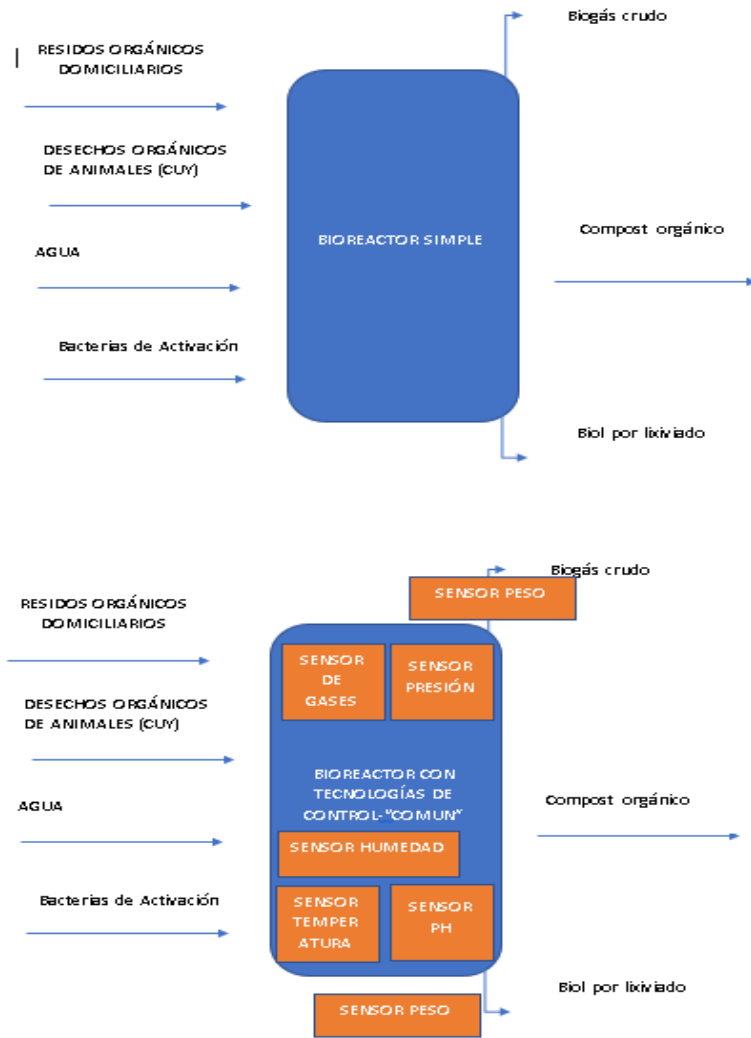
En esta parte se evaluaron tres tipos de diseño implementación funcionamiento

#### ***3.3.3.6. Resultado de corridas previas***

Se hizo una recolección de datos previos sobre la segregación de residuos sólidos que se genera en los distritos de Huancayo, donde nos indican el porcentaje de residuos de acuerdo con su característica.

#### ***3.3.3.7. Procedimiento y control de biogás***

Para el procesamiento del biogás se dispuso 30 días: estudiado analíticamente - experimental lo cual se desarrolló de manera paulatina a una temperatura factible. Se conoce que el proceso para la descomposición fue anaeróbicamente en el biorreactor esto durante los 30 días hábiles que se mencionó.



**Figura 9.** Diseño físico de biorreactor con sensores

El control se realizó de manera meticulosa in situ, diariamente se verificó la alteración que se desarrollaba en el proyecto esto se tomó apuntes en cuaderno de campo. Cabe aclarar que se realizó de manera personal.

### 3.3.3.8 Análisis de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Para el análisis de GEI, se tomó como referencia el inventario de gases de efecto invernadero del MINAN (2016). El análisis estadístico se comparó con el

porcentaje que se genera mensualmente en el biorreactor, así se verificó la cantidad que se genera durante el año en el distrito de Chilca, además indicó la capacidad de generación de metano que se distribuye a la atmósfera por causas naturales de fermentación de residuos orgánicos, doméstico y restos fecales de animales (13).

### **3.3.5 Análisis de resultados**

Para el análisis de resultado se utilizó gráficas de barras y tablas en Excel, por su factibilidad en acceder los datos de distribución de pH, temperatura y porcentaje de metano que generó por día el biorreactor. Las distribuciones de residuos orgánicos semanales en el biorreactor fueron factibles ya que ayudó a generar un biogás y biol constante y no hubo ninguna inconveniencia. Y los promedios estimados para la generación durante el mes fue 180 m<sup>3</sup> ya que esto se evaluó con el software la LabVIEW. Facilitando el control de los parámetros de cada sensor. Así mismo se pudo verificar que la temperatura óptima era entre 16 °C a 30 °C. Se cabe recalcar que para el funcionamiento del biorreactor y la producción del biogás se tiene que disponer de una temperatura de 20 °C ya que recién empieza a generar biogás, también se observó que a partir de las 2 a 4 de la tarde se genera una gran cantidad de biogás.

Una de las variables para medir la concentración es del metano (CH<sub>4</sub>) y del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en diferentes estudios se identificó que se hace un estudio de concentración de cromatógrafo de gas. Este estudio es muy confiable ya que tiene un gran porcentaje de viabilidad, pero lo defectuoso es que el costo es muy elevado.

Retención de CO<sub>2</sub>

Para la medición del pH se dispuso de un peachimetro, la cual marcaba 6.32 y para poder estabilizar se dispuso de una pastilla de hidróxido de sodio suficiente para poder estabilizar un día completo en agua dispuesto.

Secuencia de generación de metano

La evolución de la temperatura en el biorreactor es muy importante para todo el proceso, de ello depende el aumento del porcentaje de metano.

El comportamiento del metano en los primeros días tiende a generar de 350 a 100 ml. Mientras que, al aumentar residuos orgánicos, en el cuarto día tuvo un aumento con una tasa superior a los demás días generados. Es muy importante recordar agregar el porcentaje de agua o licuado de hidróxido de sodio para mantener el pH en un rango de 6.5 y así los microorganismos no sufran ninguna pérdida.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

Para el estudio de esta investigación se utilizó el estiércol de cuy, generado en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo del departamento de Junín.

#### **3.4.2. Muestra**

Para garantizar el éxito de la producción de biogás y biol se utilizaron muestras de estiércol de cuy de la Granja Común-2022. Las mismas que provienen de un muestreo de conveniencias que asegura la operación del proceso. La cantidad de estimada de estiércol de cuy que se va a utilizar para la generación de biogás es de 6000 gr.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En la investigación se utilizaron tres tipos de técnica:

#### **3.5.1. Técnica de observación**

Esta técnica se enfoca en observar los acontecimientos o conductas que se desarrolla en el transcurso del proceso. Esta técnica se ejecutó en el biorreactor, ya que no ayudó a facilitar la visualización del proceso de la investigación, con resultados que se analizó en tiempo real por cada día.

#### **3.5.2. Técnica de campo directa**

Esta técnica nos permitió ayudar a ver los fenómenos detallados durante el transcurso del proceso del biogás y biol, ya que nos ayudó a registrar el curso de cada etapa que se desarrollaron mediante el registro de fotos y videos.

#### **3.5.3. Técnica de entrevista**

Esta técnica nos ayudó a desarrollar un enfoque crítico del proyecto ya que se ejecutaron entrevistas a personas que refieren sobre el tema, así mismo se registraron para su validación y conformidad en los resultados obtenidos al finalizar el proyecto.

### **3.6 Equipos y materiales**

Los equipos y materiales que se utilizaron fueron:

- ✓ Una laptop para la interacción del software y hardware
- ✓ Sensores (Temperatura, pH, humedad, presión)
- ✓ Placa de acero
- ✓ Termohigrómetro
- ✓ Impresora
- ✓ Papel bond A4 (un millar)

- ✓ Cuaderno de campo
- ✓ Bolsas
- ✓ Residuos orgánicos

### **3.6.1 Procesamiento de datos**

Todos los procesamientos para la recolección de datos se registraron, tabularon y codificaron el programa Excel y LabVIEW.

En cuanto a la verificación de datos se han empleados técnicas estadísticas para interpretarlos.

Una vez finalizada la investigación de campo en la oficina se tabuló los datos recolectados, estos datos obtenidos se interpretaron para medir los días óptimos de producción de biogás lo cual se detalló dentro de las operaciones de variables.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

#### **Entrada:**

Los materiales fundamentales para la producción de biogás es el estiércol de animales, ya que es una fuente rica en materia orgánica y que es necesaria para el proceso de digestión anaeróbica. Los microorganismos en el biodigestor utilizarán la materia orgánica como "comida" para producir biogás. El agua se utiliza para mezclar el estiércol, moverse a través del biodigestor y mantener un equilibrio de humedad adecuado para el proceso de digestión.

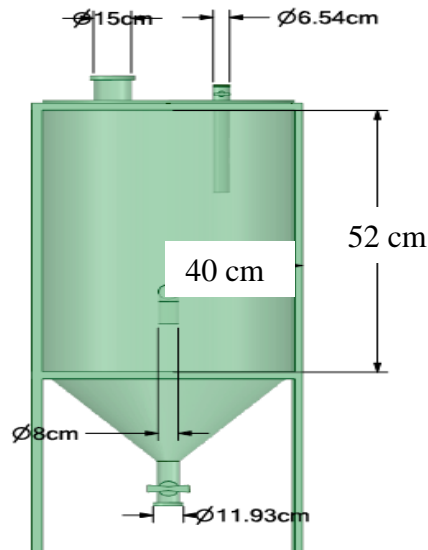
#### **Lo que se produce:**

La etapa de generación comienza una vez que los insumos están en el biodigestor. A lo largo de esta etapa, los microorganismos se descomponen de la materia orgánica mediante un proceso conocido como digestión anaeróbica. En ausencia de oxígeno, este proceso ocurre. Los microorganismos consumen los materiales orgánicos y generan biogás como subproducto. El biogás es una mezcla de gases, la mayoría de los cuales son metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), pero también puede contener pequeñas cantidades de otros gases.

**Salida:** Finalmente, el biogás producido por la venta del biodigestor. Este gas se puede capturar y guardar para su uso a futuro. El biogás es una fuente de energía valiosa renovable. Puede ser quemado para generar calor y electricidad, o puede ser procesado y utilizado como combustible para vehículos. Aunque el biogás contiene metano, un fuerte gas de efecto invernadero, capturarlo y utilizarlo como combustible puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero porque evita que el metano se libere a la atmósfera.



## Cálculo del volumen del tanque



**Figura 10.** Cálculo de volumen de tanque

El tanque posee una forma cilíndrica y cónica, para ello se hizo el cálculo de ambas formas; primero se calculó la forma cilíndrica.

Con la fórmula de área de un cilindro se hizo el cálculo respectivo (22).

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde  $V_{cilindro}$  es el volumen total del cilindro,  $\pi$  es pi (3.14),  $r$  es el radio de la circunferencia del cilindro y  $h$  es la altura

Con ello podemos realizar el cálculo respectivo

$$V_{cilindro} = \pi * 0.20m^2 * 0.52m$$

$$V_{cilindro} = 0.065 m^3$$

Para la parte cónica hay que realizar el cálculo respectivo (23).

$$V_{cono} = \frac{\pi * r^2 * h}{3} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde  $V_{cono}$  es el volumen total del cono,  $\pi$  es pi (3.14),  $r$  es el radio de la circunferencia del cilindro y  $h$  es la altura.

$$V_{cono} = \frac{\pi * 0.20m^2 * 0.15m}{3}$$

$$V_{cono} = 0.00628 m^3$$

El área del tanque posee un volumen de  $0.07128 m^3$

### **Cálculo de espacio utilizado del tanque**

El depósito tiene una capacidad total de  $0.07128 m^3$ , sin embargo, este volumen no será completamente llenado por la combinación de agua y materia orgánica. Por lo tanto, fue necesario calcular el volumen ocupado por estos dos componentes. La materia orgánica se dispuso en capas; la primera capa consiste en excremento de cuy, ocupando un volumen de  $0.01256 m^3$ , seguida por una segunda capa de residuos orgánicos (restos de frutas y vegetales) con un peso de  $3.00 kg$  que también ocupa un volumen de  $0.01256 m^3$ . La tercera capa es nuevamente de excremento de cuy, con un volumen de  $0.01256 m^3$ . El volumen total de agua utilizada fue de  $0.00628 m^3$ , ya que se ha utilizado  $3.28 L$  de  $H_2O$  y  $3.00 L$  de cada tratamiento, el (T1, T2, T3) fue distribuido de manera proporcionada ya que cada  $1$  litro fue distribuido por capa dispuesta. Los tratamientos que se consideraron disponían de microorganismos anaeróbicos como el T1 (*Saccharomyces cerevisiae*), T2 (*Lactobacillus bulgaricus*) T3 (*Saccharomycotina*), El primer tratamiento posee chicha de jora, el segundo tratamiento posee suero de leche de vaca y el tercer tratamiento posee levadura cada uno posee  $3$  litros fermentados.

Utilizando un volumen total de  $0.04396 m^3$ , se deja un espacio reservado para la generación de biogás, resultando en un volumen no ocupado de  $0.02732 m^3$ .

### **Ley de gases ideales**

La ley de gases ideales permitió hacer un análisis teórico de la producción de gases que se realiza en el biodigestor.

La fórmula de gases ideales permite comprender la relación entre las variables que definen su estado macroscópico (presión  $p$ , volumen  $V$  y temperatura  $t$ ), independientemente de la naturaleza química de un gas, si se encuentra en condiciones de presión y temperatura en las que se pueden ignorar los efectos de las fuerzas intermoleculares, es decir, a diferentes consideraciones (24).

$$P * V = n * R * T \quad \text{Ecuación (3)}$$

Para ello  $P$  es presión,  $V$  es volumen,  $n$  es el número de moles,  $R$  es la constante universal de gases ideales y  $T$  es temperatura.

Despejando la ecuación (1)

$$n = \frac{m}{PM} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$n$  es el número de moles,  $m$  es la masa del gas y  $PM$  es peso molecular.

La ecuación final quedaría de la siguiente forma

$$m = \frac{P*V*PM}{R*T} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde  $m$  es la masa del gas que se quiere hallar,  $P$  es presión,  $V$  es volumen,  $PM$  es el peso molecular,  $R$  es la constante universal de gases ideales y  $T$  es temperatura.

Para obtener la masa del biogás, se tuvo en consideración los siguientes aspectos; Presión atmosférica del lugar de ubicación del ensayo es de 1024 hPa, convertido en unidades de atmósfera es 1.01 atm. El volumen es 0.02732 m<sup>3</sup>, esto debido a que es la parte libre del tanque y lo convertimos a litros para que sea más fácil eliminar unidades. El peso molecular es de 60.052 g/mol, esto es por la unión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. La constante de “R” se trabajó con 0.082, esto debido a que se puedan eliminar las unidades y, por último, la temperatura promedio fue de 291.15 K, esto se debe a que el promedio de las temperaturas fue de 18°C.

$$m = \frac{1.01 \text{ atm} * 27.32 \text{ l} * 60.052 \text{ g/mol}}{0.082 \frac{\text{atm} * \text{l}}{\text{k} * \text{mol}} * 291.15 \text{ k}}$$

$$m = 69.41 \text{ g}$$

Ahora se conoce la masa que produce el biodigestor, es de 69.41 g de biogás; nos basamos a los antecedentes de estudios similares y nos dio a entender que, del biogás producido, el 62% es CH<sub>4</sub> y el 31% es CO<sub>2</sub> (25), con una masa de 48.1988 g de CH<sub>4</sub> y 24.0994 g de CO<sub>2</sub>. De esta forma quedó determinado la producción de biogás a través de la ecuación gases ideales, pero el tanque de biogás posee sensores que han determinado la producción del biogás.

### **Producción de biogás con tecnologías de control**

#### **Materia orgánica y chicha de jora**

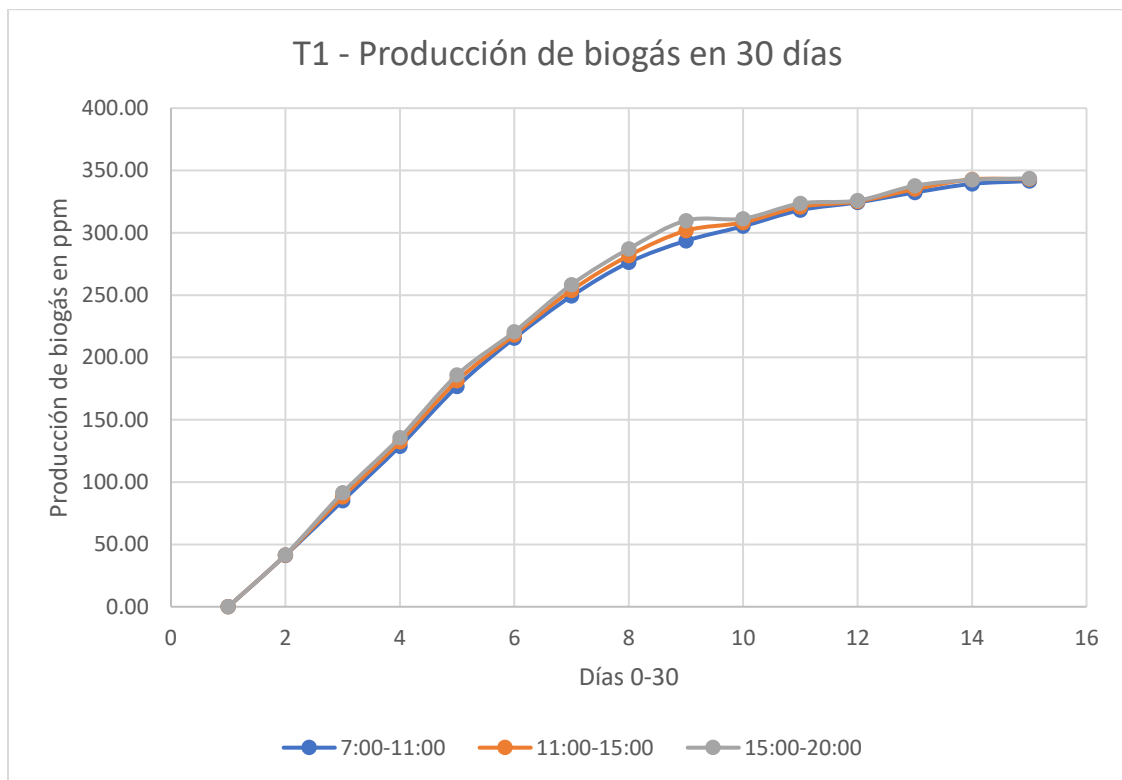
En este tratamiento se ha utilizado la chicha de jora (T1) con la presencia del microorganismo (*Saccharomyces cerevisiae*), para ello se ha llevado a cabo un tiempo de fermentación del jugo de la caña azúcar durante 30 días para la reproducción de microorganismos anaeróbicos, una vez finalizado el tiempo de fermentación se distribuyó por cada capa. La primera capa se dispuso de excremento de cuy, seguida por una segunda capa de residuos orgánicos (restos de frutas y vegetales), finalizando con la tercera capa con excremento de cuy, la fermentación se desarrolló durante 30 días evaluando con sensores el Ph, Temperatura y CH<sub>4</sub> en el biorreactor.

**Tabla 6.** T1 - Producción de biogás en 30 días

HORA/ Nº DIA	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30
7:00- 11:00	0.00	41.21	85.02	128.83	176.64	215.45	249.26	276.23	293.56	305.25	318.21	324.36	332.32	339.23	341.45
11:00- 15:00	0.00	41.46	88.23	132.26	181.32	218.03	253.84	281.69	301.68	308.30	320.87	325.11	335.03	342.84	342.56
15:00- 20:00	0.00	41.71	91.44	135.69	186.00	220.61	258.42	287.15	309.80	311.35	323.53	325.86	337.74	346.45	343.67

**Tabla 7.** T1 - Producción acumulada de biogás

HORA/ Nº DIA	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30
7:00- 11:00	0.00	41.21	126.23	213.85	305.47	392.09	464.71	525.49	569.79	598.81	623.46	642.57	656.68	671.55	680.68
11:00- 15:00	0.00	41.46	129.69	220.49	313.58	399.35	471.87	535.53	583.37	609.98	629.17	645.98	660.14	677.87	685.40
15:00- 20:00	0.00	41.71	133.15	227.13	321.69	406.61	479.03	545.57	596.95	621.15	634.88	649.39	663.60	684.19	690.12



**Figura 11.** T1 – Producción de biogás en los 3 rangos de horarios

Las tablas presentan la producción de biogás en un biodigestor durante un período de 30 días, medido en tres intervalos de tiempo diferentes cada día: 7:00-11:00, 11:00-15:00 y 15:00-20:00.

La primera tabla muestra la producción de biogás en cada intervalo de tiempo para días específicos. Por ejemplo, en el primer intervalo de tiempo (7:00-11:00) del día 1, la producción de biogás fue de 0 ppm, mientras que en el día 3, la producción aumentó a 41.21 ppm. Este patrón de aumento en la producción de biogás continúa durante el período de 30 días. La segunda tabla muestra la producción acumulada de biogás en cada intervalo de tiempo, para los mismos días. Por ejemplo, en el primer intervalo de tiempo (7:00-11:00), la producción acumulada de biogás en el día 1 fue de 0 ppm, pero en el día 3, la producción acumulada aumentó a 41.21 ppm. Esto significa que la producción total de biogás desde el inicio del experimento hasta el día 3 fue de 41.21 ppm. Al igual que en la primera tabla, este patrón de aumento en la producción acumulada de biogás continúa durante el período de 30 días.

### **Materia orgánica y suero de leche de vaca**

En este tratamiento se ha utilizado suero de leche de vaca (T2) con la presencia del microorganismo (*Lactobacillus bulgaricus*), para ello se ha llevado a cabo un tiempo de fermentación del suero de leche de vaca durante 30 días para la reproducción de microorganismos anaeróbicos, una vez finalizado el tiempo de fermentación se distribuyó por cada capa. La primera capa se dispuso de excremento de cuy, seguida por una segunda capa de residuos orgánicos (restos de frutas y vegetales), Finalizando con la tercera capa con excremento de cuy, la fermentación se desarrolló durante 30 días evaluando con sensores el Ph, temperatura y CH<sub>4</sub> en el biorreactor.

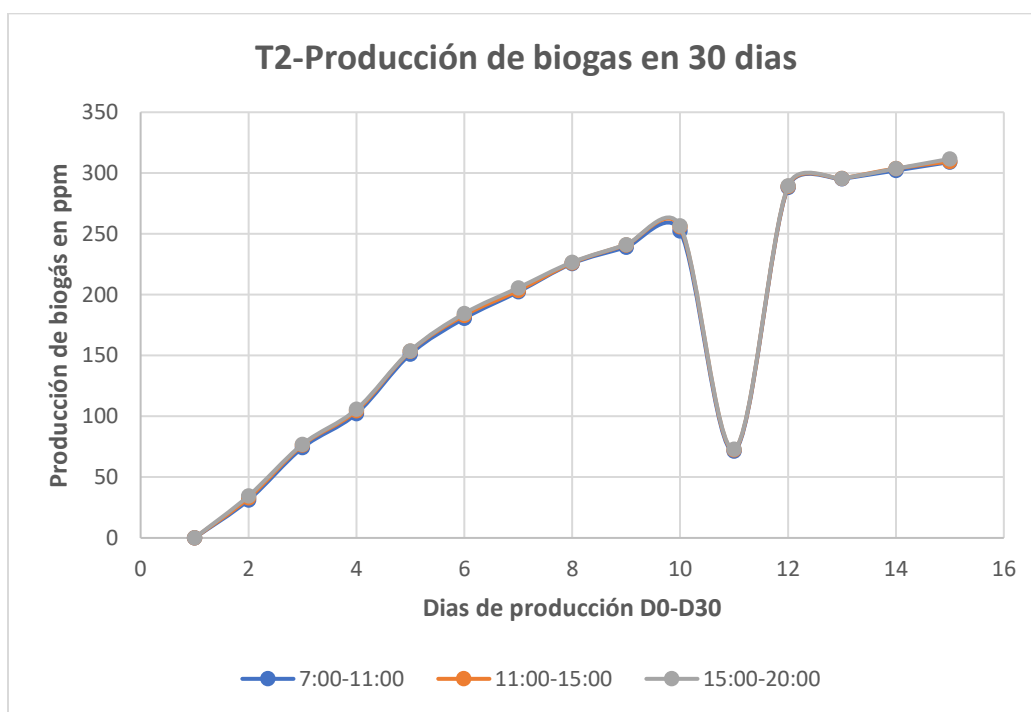
**Tabla 8.** T2 - Producción de biogás en 30 días

HORA/ Nº DIA	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30
7:00- 11:00	0.00	31.17	74.20	102.24	151.20	180.54	202.33	225.67	239.01	252.35	71.40	288.31	295.22	302.13	309.04
11:00- 15:00	0.00	32.89	76.40	104.55	153.55	183.03	203.45	226.21	240.97	255.73	72.49	288.95	295.61	303.77	309.53

15:00-20:00	0.00	34.61	77.05	105.78	153.89	184.61	205.69	226.77	241.21	256.65	73.09	289.61	295.63	303.65	311.67
-------------	------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	--------

**Tabla 9.** T2 - Producción acumulada de biogás

HORA/ N° DIA	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30
7:00-11:00	0.00	31.17	105.37	176.44	253.44	331.74	382.87	428.00	464.68	491.36	523.75	559.71	583.53	597.35	611.17
11:00-15:00	0.00	32.89	109.29	180.95	258.10	336.58	386.48	429.66	467.18	496.70	528.22	561.44	584.56	599.38	613.30
15:00-20:00	0.00	34.61	111.66	182.83	259.67	338.50	390.30	432.46	467.98	497.86	529.74	562.70	585.24	599.28	615.32



**Figura 12.** T2 - Producción de biogás en 30 días con 3 rangos de horarios

Los cuadros presentan la producción de biogás en partes por millón (ppm) por día y en tres rangos horarios (7:00-11:00, 11:00-15:00, 15:00-20:00) desde el día 0 hasta el día 30, así como la producción acumulada. Se observa un aumento progresivo en la producción diaria de biogás

durante los primeros 20 días, seguido de un crecimiento más lento por ello el día 21 se realizó una agitación en el biorreactor lo cual generó la disminución de la producción, pero el día 22 la generación del biogás fue mayor como se evidencia en el gráfico. El rango horario de 15:00-20:00 muestra la mayor producción en general. La producción acumulada continúa aumentando a medida que cada día se suma a la producción total de los días anteriores. Al día 30, la producción total acumulada de biogás es más alta en el rango horario de 15:00-20:00, seguido por el rango de 11:00-15:00 y luego el rango de 7:00-11:00. Estos datos son cruciales para evaluar la eficiencia y el rendimiento del sistema de digestión anaeróbica que produce biogás, lo que proporciona una visión valiosa para mejorar y optimizar el diseño y la operación de los digestores de manera sostenible y potenciar el uso de energías renovables en beneficio del medio ambiente.

### **Materia orgánica y levadura con agua**

En este tratamiento se ha utilizado suero de levadura con agua (T3) con la presencia del microorganismo (*Saccharomycotina*), para ello se ha llevado a cabo un tiempo de fermentación la levadura con agua durante 30 días para la reproducción de microorganismos anaeróbicos, una vez finalizado el tiempo de fermentación se distribuyó por cada capa. La primera capa se dispuso de excremento de cuy, seguida por una segunda capa de residuos orgánicos (restos de frutas y vegetales), finalizando con la tercera capa con excremento de cuy, la fermentación se desarrolló durante 30 días evaluando con sensores el Ph, Temperatura y CH<sub>4</sub> en el biorreactor.

**Tabla 10.** T3 - Producción de biogás en 30 días

HORA/ Nº DIA	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30
7:00- 11:00	0.00	20.75	43.62	66.49	75.84	94.20	110.31	126.42	142.53	158.64	164.75	180.86	196.97	205.08	219.19
11:00- 15:00	0.00	21.02	44.98	66.98	76.03	94.71	110.84	127.02	142.98	158.99	165.01	181.77	197.01	205.12	220.00

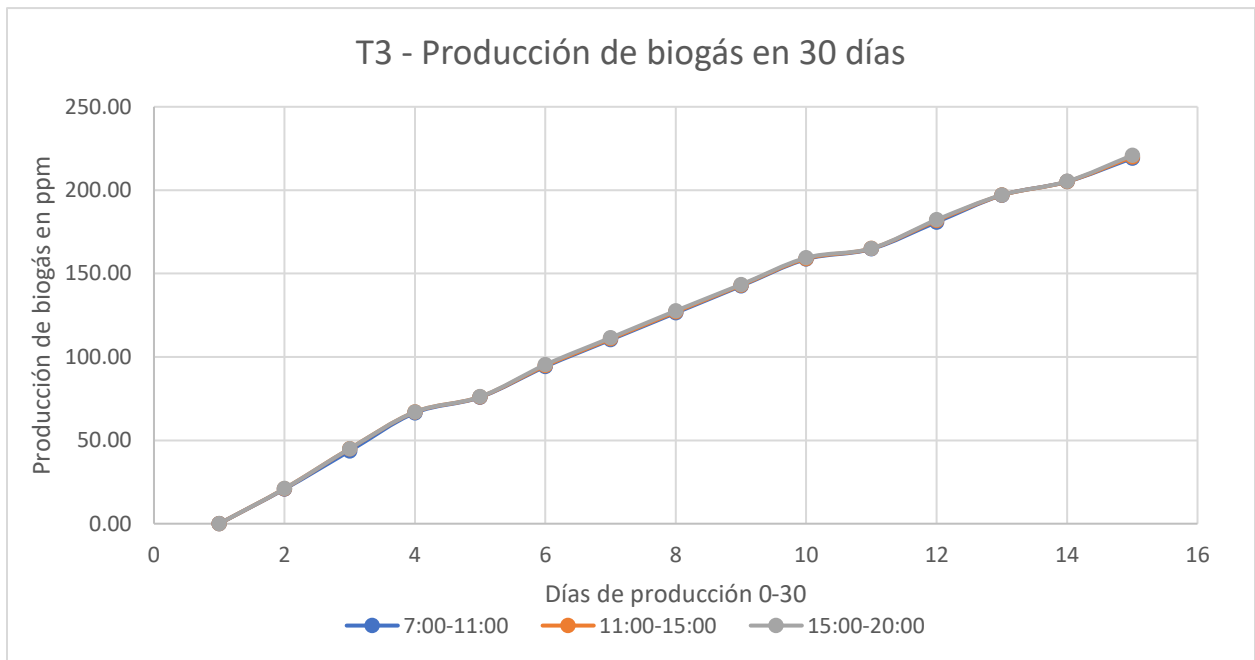


15:00-20:00	0.00	21.05	45.00	67.03	76.12	95.32	111.47	127.70	143.38	159.46	165.11	182.30	197.13	205.27	220.94
-------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**Tabla 11.** T3 - Producción acumulada de biogás

HORA/ Nº DIA	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30
7:00-11:00	0.00	20.75	64.37	110.11	142.33	170.04	204.52	236.74	268.96	301.18	323.40	345.62	377.84	402.06	424.28
11:00-15:00	0.00	21.02	66.00	111.96	143.01	170.74	205.55	237.86	270.00	301.97	324.00	346.78	378.78	402.13	425.12
15:00-20:00	0.00	21.05	66.05	112.03	143.15	171.44	206.79	239.17	271.08	302.84	324.57	347.41	379.43	402.40	426.21

**Figura 13.** Producción de biogás en 30 días y en 3 rangos de horarios



Los cuadros muestran la producción diaria de biogás en ppm durante un período de 30 días, en tres rangos horarios: 7:00-11:00, 11:00-15:00 y 15:00-20:00. En general, se observa un aumento gradual en la producción de biogás durante los primeros cinco días en cada rango horario, seguido de un crecimiento más lento en los días posteriores. Es interesante notar que el rango horario de

15:00-20:00 tiende a tener ligeramente mayores valores de producción en comparación con los otros dos rangos.

La tabla de producción acumulada de biogás en ppm también muestra un incremento continuo durante los 30 días en cada rango horario. Al final del período, la producción acumulada es más alta en el rango de 15:00-20:00, seguido por el rango de 11:00-15:00 y el rango de 7:00-11:00. Estos datos son valiosos para evaluar el rendimiento de los digestores en la generación de biogás y proporcionan información esencial para el diseño y mejora de sistemas de producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos. La producción acumulada en ppm es un indicador clave para comprender el potencial y la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica, así como para tomar decisiones informadas para maximizar la producción de biogás en sistemas futuros. En conclusión, estos resultados respaldan el enfoque de energías renovables y el uso sostenible de recursos orgánicos para generar biogás, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y la promoción de prácticas ambientalmente responsables.

### **Eficiencia del prototipo**

En el ámbito de las reacciones químicas en la vida real, estas no siempre se desarrollan según lo previsto inicialmente. Variados factores contribuyen a generar una menor cantidad de producto en comparación con las predicciones de un experimento. Además de derrames y otros errores experimentales, en muchas ocasiones surgen pérdidas debido a reacciones incompletas o secundarias no deseadas, entre otros factores. Los científicos especializados en química necesitan emplear medidas para evaluar el éxito de una reacción. Para ello, se emplea el concepto de "porcentaje de rendimiento". Para calcular el porcentaje de rendimiento, se debe primero determinar la cantidad de producto que debería formarse mediante el uso de la estequiometría, conocida como rendimiento teórico. El rendimiento teórico representa la máxima cantidad de

producto que podría generarse a partir de las cantidades especificadas de reactivos. Por otro lado, el rendimiento real corresponde a la cantidad de producto producido efectivamente durante la reacción en el laboratorio. El porcentaje de rendimiento se obtiene mediante la relación entre el rendimiento real y el rendimiento teórico, brindando una valiosa perspectiva sobre la eficiencia de la reacción y la optimización de los procesos en el diseño y uso de digestores y otras técnicas en el ámbito de las energías renovables (26).

$$\text{Rendimiento porcentual} = \frac{\text{Rendimiento real}}{\text{Rendimiento teórico}} * 100\%$$

Para determinar el rendimiento real, sumamos la producción de biogás de cada tratamiento; debido a que los tratamientos han sido interrumpidos y solo tuvieron un tiempo estimado de 30 días. El T1 tuvo una producción de 690.12 ppm, el T2 tuvo una producción de 615.32 ppm y el T3 tuvo una producción de 426.21 ppm, dando un total de 1731.65 ppm.

Para hallar el rendimiento teórico, utilizamos el resultado obtenido de la ecuación de gases ideales, para ello utilizamos la masa del biogás de 69.41 g. debido a que, los sensores hacían lectura en ppm, se determinó que las unidades estaban en gramos por metro cúbico ( $\frac{g}{m^3}$ ).

Recordamos que la producción es de 69.41 g. y el espacio donde se generó el biogás era de 0.02732 m<sup>3</sup>, si dividimos ambos valores obtenemos 2540.63 g/m<sup>3</sup>.

Con los valores teórico y real, se realizó el cálculo del rendimiento.

$$\text{Rendimiento porcentual} = \frac{1731.65 \frac{g}{m^3}}{2540.63 \frac{g}{m^3}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento porcentual} = 68.16 \%$$

**Tabla 12.** *Características del biogás*

T	HORA/N° DIA	DIA 1	DIA 3	DIA 5	DIA 7	DIA 9	DIA 11	DIA 13	DIA 15	DIA 17	DIA 19	DIA 21	DIA 23	DIA 25	DIA 27	DIA 30
	7:00- 11:00	23	23	16	16	12	17	17	17	22	17	17	16	13	13	13
	11:00- 15:00	23	23	18	16	17	20	20	20	18	19	19	19	18	18	18
	15:00- 20:00	21	21	16	16	21	23	19	19	21	20	18	18	19	19	19

Ph	HORA/N° DIA	DIA 1	DIA 3	DIA 5	DIA 7	DIA 9	DIA 11	DIA 13	DIA 15	DIA 17	DIA 19	DIA 21	DIA 23	DIA 25	DIA 27	DIA 30
	7:00- 11:00	6.38	6.37	6.73	6.23	6.35	6.33	6.91	6.50	6.28	6.21	6.08	5.98	5.87	5.83	5.80
	11:00- 15:00	6.46	6.43	6.68	6.19	6.22	6.02	6.41	6.23	6.78	6.23	6.08	5.98	5.86	5.83	5.82
	15:00- 20:00	6.18	6.05	6.71	6.17	6.08	6.78	6.31	6.83	6.51	6.10	6.04	5.98	5.88	5.83	5.80

Se examinaron dos tablas que recopilaban datos de temperatura y pH durante treinta días en tres horarios diferentes (7:00-11:00, 11:00-15:00 y 15:00-20:00). Durante los primeros días, se observa un patrón constante de aumento gradual en cada intervalo en la tabla de temperatura, seguido de una variación más leve en los días siguientes. La hora de 15:00 a 20:00 generalmente tiene temperaturas más altas que las otras dos. En la tabla de pH, los valores fluctuaron ligeramente durante los primeros días en cada intervalo, pero se volvieron más estables en los días siguientes. Los valores de pH en el intervalo de 11:00 a 15:00 tienden a ser ligeramente más altos que los otros dos. Dado que la temperatura y el pH son componentes cruciales que afectan la eficiencia de las reacciones bioquímicas involucradas en la producción de biogás, estos datos son esenciales para evaluar la operación y el desempeño del digestor. Una comprensión más profunda de estos patrones puede ayudar a maximizar la producción de biogás y promover el uso sostenible de energías renovables en beneficio del medio ambiente.

En digestores anaeróbicos, el pH juega un papel importante en la producción de biogás. Un pH adecuado es esencial para que las reacciones bioquímicas que ocurren durante el proceso de digestión anaeróbica se desarrollen correctamente. Un pH demasiado alto o bajo puede detener a los microorganismos que descomponen la materia orgánica en biogás. Un pH ideal, que suele estar entre 6.5 y 7.5, promueve la actividad de las bacterias metanogénicas, que son responsables de la producción de metano, el principal componente del biogás. Otros grupos de microorganismos pueden predominar si el pH se aparta significativamente de este rango, lo que podría reducir la producción de metano y afectar negativamente el rendimiento del digestor. Por lo tanto, para mantener una producción de biogás eficiente y sostenible, es fundamental controlar y ajustar el pH en el digestor. Sin embargo, la temperatura es esencial para la población microbiana del digestor. Las bacterias anaeróbicas, que descomponen la materia orgánica en biogás, son sensibles a la temperatura y tienen un amplio rango de actividad. La actividad microbiana disminuye a temperaturas más bajas, lo que puede reducir la producción de biogás. Las temperaturas excesivamente altas, por otro lado, pueden inhibir o incluso matar a las bacterias anaeróbicas, lo que afecta negativamente el funcionamiento del digestor. Por lo tanto, mantener una temperatura adecuada en el digestor es fundamental para maximizar la actividad microbiana y, como resultado, la producción de biogás.

### **Contrastación de hipótesis**

Hipótesis nula (H0): La eficiencia de producción de biogás en los tratamientos T1 y T2 es igual o menor al 60%.

Hipótesis alternativa (H1): La eficiencia de producción de biogás en los tratamientos T1 y T2 es mayor al 60%.

Para realizar la contrastación, se tomarán los datos proporcionados de eficiencia en cada tratamiento:

T1: Eficiencia de 81%

T2: Eficiencia de 73%

Dado que ambos tratamientos T1 y T2 tienen eficiencias superiores al 60%, los datos respaldan la hipótesis alternativa (H1). Es decir, se puede concluir con un nivel de confianza que los tratamientos T1 y T2 alcanzan una eficiencia de producción de biogás mayor al 60%. Sin embargo, es importante señalar que el tratamiento T3 no cumple con el criterio establecido en la hipótesis, ya que su eficiencia es del 50%. Por lo tanto, se descarta el tratamiento T3 como opción viable para alcanzar una eficiencia mayor al 60%.

## 4.2. Análisis financiero

### 4.2.1 Análisis de costos

**Tabla 13**

*Aportes de capital social*

N°	SOCIOS	TIPO DE APORTE	IMPORTE	%
1.	MAYCKOL COMUN LIMACHE	Efectivo	600.00	10%
2.	Financiamiento Bancario	Efectivo	5,400.00	90%
<b>TOTAL APORTES</b>			6,000.00	100%

**Tabla 1**

*Inversión tangible*

N°	Activos		UNIDAD MEDIDA	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR COMPRA	I.G.V . 18%	PRECIO FINAL
	Tipo	Descripción						
1	<b>Biorreactor</b>	Biorreactor de 1.50 litros	Unidad	2,500.00	1	2,500.00	450.00	2,950.00
2		Tubería PVC	GLP	40.00	1	40.00	7.20	47.20

3		Tubera de CU	M	15.00	3	45.00	8.10	53.10
4		Tanque de Agua	Unidad	15.00	1	15.00	2.70	17.70
5	<b>Instrumentos y actuadores</b>	Sensores de Humedad o presión	Unidad	400.00	1	400.00	72.00	472.00
6		Sensores de Temperatura	Unidad	180.00	1	180.00	32.40	212.40
7		Medidor Ph	Unidad	250.00	1	250.00	45.00	295.00
8	<b>Controladores o sensores</b>	Fuente de alimentación	Unidad	45.00	1	45.00	8.10	53.10
9		Contolador zelio	Unidad	200.00	1	200.00	36.00	236.00
10		Módulo de Expansión	Unidad	150.00	1	150.00	27.00	177.00
11	<b>Soporte y control</b>	Estructura de Aluminio	Unidad	50.00	1	50.00	9.00	59.00
12		Papel Bond	Unidad	12.00	1	12.00	2.16	14.16
13	<b>Ofimática</b>	Impresiones y anillado	Unidad	27.00	10	270.00	48.60	318.60
14		Empastado	Unidad	24.00	7	168.00	30.24	198.24
15		Viáticos	Unidad	150.00	1	150.00	27.00	177.00
16		Revisión y Pruebas	Unidad	150.00	1	150.00	27.00	177.00
17		Otros (Material, orgánico, etc)	Unidad	20.00	1	20.00	3.60	23.60
<b>TOTAL</b>						<b>4,645.00</b>	<b>836.10</b>	<b>5,481.10</b>

Estas tablas detallan la inversión en activos tangibles y los aportes de capital social, respectivamente. La inversión en activos tangibles muestra los costos de los equipos necesarios para el proyecto, mientras que los aportes de capital social muestran la estructura de financiación del proyecto. La inversión inicial en equipos es crucial para el arranque del proyecto y debe ser financiada adecuadamente para asegurar la operación sin interrupciones. La estructura de capital social refleja las fuentes de financiamiento y la confianza de los inversores en la viabilidad del proyecto.

**Tabla 14**  
*Análisis de depreciación*

Nº	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL	PROYECCIÓN FINANCIERA					VALOR RESIDUAL	% DEPREC.
			2024	2025	2026	2027	2028		

1		Biorreactor de 1.50 litros	2,950.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	1,475.00	10%
2	<b>Biorreactor</b>	Tubería PVC	47.20	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	23.60	10%
3		Tubería de CU	53.10	5.31	5.31	5.31	5.31	5.31	26.55	10%
4		Tanque de agua	17.70	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	8.85	10%
5		Sensores de humedad o presión	472.00	47.20	47.20	47.20	47.20	47.20	236.00	10%
6	<b>Instrumentos y actuadores</b>	Sensores de temperatura	212.40	21.24	21.24	21.24	21.24	21.24	106.20	10%
7		Medidor Ph	295.00	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	147.50	10%
8		Fuente de alimentación	53.10	5.31	5.31	5.31	5.31	5.31	26.55	10%
9	<b>Controladores o sensores</b>	Controlador zelio	236.00	23.60	23.60	23.60	23.60	23.60	118.00	10%
10		Módulo de expansión	177.00	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	88.50	10%
11	<b>SopORTE y control</b>	Estructura de aluminio	59.00	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	29.50	10%
<b>TOTAL</b>			<b>4,572.50</b>	<b>457.25</b>	<b>457.25</b>	<b>457.25</b>	<b>457.25</b>	<b>457.25</b>	<b>2,286.25</b>	

Esta tabla muestra la depreciación de los activos fijos, como el biorreactor y equipo relacionado. Se proporciona un valor residual y un porcentaje de depreciación, lo que indica la disminución en el valor de los activos a lo largo del tiempo. La depreciación es un gasto no monetario que afecta los resultados financieros y fiscales del proyecto. Es importante para la planificación fiscal y la reinversión en activos.

**Tabla 15**  
*Costos fijos*

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD MEDIDA	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR COMPRA	I.G.V. 18%	PRECIO FINAL	C. Anual 12
1	Alquiler de movilidad adicional	Unidad	35.00	2	70.00	12.60	82.60	840.00
2	Alquiler de local (oficina+almacén)	Unidad	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Servicio energía eléctrica	Unidad	70.00	1	70.00	12.60	82.60	840.00
5	Servicio agua y desagüe	Unidad	300.00	1	300.00	54.00	354.00	3,600.00
6	Servicio de internet	Unidad	60.00	1	60.00	10.80	70.80	720.00
7	Servicio de telefonía celular	Unidad	60.00	1	60.00	10.80	70.80	720.00
10	Otros	Unidad	100.00	1	100.00	18.00	118.00	1,200.00
<b>TOTAL</b>					<b>660.00</b>	<b>118.80</b>	<b>778.80</b>	<b>7,920.00</b>



Los costos fijos incluyen aquellos gastos que no varían con la producción o las ventas, como alquiler, servicios públicos y otros costos misceláneos. Estos deben ser cubiertos independientemente de la rentabilidad del proyecto. Los costos fijos necesitan ser cuidadosamente presupuestados ya que deben ser pagados incluso si el proyecto no genera ingresos. La eficiencia en la gestión de costos fijos puede aumentar la margen de beneficio del proyecto.

**Tabla 16**  
*Costos del biorreactor (costos variables)*

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD MEDIDA	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR COMPRA	I.G.V. 18%	PRECIO FINAL	C. Anual 12	
1	Biomasa	Biomasa	Tonelada	100.00	5	500.00	90.00	590.00	6,000.00
2	Mantenimiento	mantenimiento preventivo	Servicio	500.00	1	500.00	90.00	590.00	1,500.00
3		reparaciones	Servicio	300.00	1	300.00	54.00	354.00	900.00
4	Transporte	Transporte y logística	Servicio	200.00	1	200.00	36.00	236.00	2,400.00
<b>TOTAL</b>						<b>1,500.00</b>	<b>270.00</b>	<b>1,770.00</b>	<b>10,800.00</b>

La tabla presenta una lista de costos asociados directamente con el funcionamiento del biorreactor, incluyendo la compra de biomasa, mantenimiento preventivo, reparaciones y transporte. Estos costos tienen un impacto directo en la producción y operación del biorreactor. La gestión efectiva de estos costos es fundamental para mantener la eficiencia y la rentabilidad del biorreactor. La planificación cuidadosa y la negociación de contratos pueden ayudar a reducir estos costos.

**Tabla 17**  
*Sueldos de operarios*

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD MEDIDA	SUELDO BRUTO	CANTIDAD	IMPORTE TOTAL	APORTES 9%	TOTAL PLANILLA	C. Anual 12
1	Controlador del biorreactor	Unidad	2,000.00	1	2,000.00	180.00	2,180.00	26,160.00
2	Asistente	Unidad	1,200.00	1	1,200.00	108.00	1,308.00	15,696.00
<b>TOTAL</b>					<b>3,200.00</b>	<b>288.00</b>	<b>3,488.00</b>	<b>41,856.00</b>

**Tabla 2**  
*Sueldos ventas*

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD MEDIDA	SUELDO BRUTO	CANTIDAD	IMPORTE TOTAL	APORTES 9%	TOTAL PLANILLA	C. Anual 12
1.	Colaboradores	Unidad	1,200.00	2	2,400.00	216.00	2,616.00	31,392.00
<b>TOTAL</b>					<b>2,400.00</b>	<b>216.09</b>	<b>2,616.00</b>	<b>31,392.00</b>

Estas tablas detallan los costos laborales asociados con el personal de ventas y operaciones, incluyendo sueldos brutos, aportes y costos totales. Se incluyen los aportes que representan los costos sociales adicionales por empleado, mostrando el costo total de la planilla. Los salarios y aportes son una parte significativa de los gastos operativos y deben ser monitoreados de cerca. Las decisiones de contratación deben alinearse con las necesidades del negocio y la eficiencia operativa para optimizar estos costos.

**Tabla 18**  
*Gastos financieros*

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD MEDIDA	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO FINAL	C. Anual 12
1.	Mantenimiento cuenta corriente	Unidad	20.00	1	20.00	240.00
2.	Intereses por préstamo bancario	Unidad	97.80	1	97.80	880.21
<b>TOTAL</b>					<b>117.80</b>	<b>1,120.21</b>

La tabla muestra dos tipos de gastos financieros: mantenimiento de cuenta corriente y los intereses de préstamo bancario. Se observa que el mantenimiento de cuenta corriente es un gasto menor en comparación con los intereses del préstamo. La suma de estos costos da un total anual, lo cual es un indicador importante para el cálculo de la rentabilidad y la capacidad de servicio de la deuda del proyecto. Es crucial mantener los gastos financieros controlados para no afectar negativamente la liquidez del proyecto. La planificación financiera debe considerar estos costos para garantizar la sostenibilidad financiera del proyecto.

**Tabla 19***Matriz de costos y gastos*

DESCRIPCIÓN	FIJOS	VARIABLES	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
<b>COSTOS DEL PRODUCTO</b>	<b>660.00</b>	<b>1,500.00</b>	<b>2,160.00</b>	<b>25,920.00</b>
Materiales		1,500.00	1,500.00	18,000.00
Costos Indirectos	660.00		660.00	7,920.00
<b>GASTOS DE ADMINISTRACIÓN</b>	<b>3,526.10</b>	<b>0.00</b>	<b>3,526.10</b>	<b>42,313.25</b>
Sueldos y salarios (operadores)	3,488.00		3,488.00	41,856.00
Depreciación equipos	38.10		38.10	457.25
<b>GASTOS DE VENTAS</b>	<b>2,616.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2,616.00</b>	<b>31,392.00</b>
Sueldos y salarios (ventas)	2,616.00		2,616.00	31,392.00
<b>GASTOS FINANCIEROS</b>	<b>117.80</b>	<b>0.00</b>	<b>117.80</b>	<b>1,120.21</b>
Interés de préstamo - mantenimiento cta cte	117.80		117.80	1,120.21
<b>COSTOS Y GASTOS TOTALES</b>	<b>6,919.90</b>	<b>1,500.00</b>	<b>8,419.90</b>	<b>100,745.46</b>
<b>MARGEN DE UTILIDAD</b>	11.8%		990.64	11,887.71
<b>VALOR DE VENTA</b>			9,410.55	112,926.57
<b>I.G.V.</b>	18%		1,693.90	20,326.78
<b>PRECIO FINAL</b>			<b>11,104.45</b>	<b>133,253.35</b>

La matriz de costos y gastos del proyecto muestra una estructura de costos bien definida con una diferenciación clara entre costos fijos y variables. Los costos variables asociados con los materiales representan una proporción significativa de los costos totales, lo que indica que la gestión eficaz de estos podría tener un impacto considerable en la rentabilidad general. Los gastos administrativos y de ventas, junto con los costos financieros, conforman los costos fijos que el proyecto debe cubrir independientemente de los niveles de producción. El margen de utilidad calculado del 11.8% y el precio final que incluye el IGV muestran que el proyecto tiene una capacidad de generación de beneficios; sin embargo, la viabilidad depende de la capacidad de mantener y potencialmente aumentar las ventas mientras se controlan los costos.

**Tabla 20***Estimación de ingresos*

	<b>Mensual</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Producción mensual (10 Kg)	92	1104	1126	1148	1170	1193
Precio (10 kg) S/.	55	55	55	55	55	55
Ingreso	5060	60720	61930	63140	64350	65615

El proyecto muestra un crecimiento prometedor en términos de producción y ventas, lo que sugiere una expansión o una eficiencia operativa mejorada a lo largo del tiempo. El hecho de que el precio se mantenga constante, mientras los ingresos aumentan, indica que la demanda del producto es probablemente fuerte y que el mercado puede absorber la producción creciente sin necesidad de reducir precios. Este crecimiento en los ingresos puede ser un buen indicador de la viabilidad y escalabilidad del proyecto, asumiendo que la estructura de costos y las condiciones de mercado permanecen favorables.

#### 4.2.2. Flujo de caja económica financiero

**Tabla 21***Flujo de caja económico y financiero*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INICIO</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2023</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>
<b>Saldo inicial</b>	0.00	<b>60720</b>	<b>61930</b>	<b>63140</b>	<b>64350</b>	<b>65615</b>
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>60,720.00</b>	<b>61,930.00</b>	<b>63,140.00</b>	<b>64,350.00</b>	<b>65,615.00</b>
Ventas efectivo		60,720.00	61,930.00	63,140.00	64,350.00	65,615.00
Cobranza de ventas			0.00	0.00	0.00	0.00
<b>EGRESOS</b>	<b>7,251.10</b>	<b>57,816.00</b>	<b>58,394.16</b>	<b>58,978.10</b>	<b>59,567.88</b>	<b>60,163.56</b>
Inversión	7,251.10					
Pago energía eléctrica		840.00	848.40	856.88	865.45	874.11
Servicio agua y desagüe		3,600.00	3,636.00	3,672.36	3,709.08	3,746.17
Servicio internet		720.00	727.20	734.47	741.82	749.23
Pago compra mercaderías		10,800.00	10,908.00	11,017.08	11,127.25	11,238.52

Pago planilla de sueldos		41,856.00	42,274.56	42,697.31	43,124.28	43,555.52
<b>Flujo de Caja Económico</b>	<b>-7,251.10</b>	<b>2,904.00</b>	<b>3,535.84</b>	<b>4,161.90</b>	<b>4,782.12</b>	<b>5,451.44</b>
<b>Financiamiento</b>						
Pago de intereses		1,120.21	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Flujo de Caja Financiero</b>	<b>-7,251.10</b>	<b>1,783.79</b>	<b>3,535.84</b>	<b>4,161.90</b>	<b>4,782.12</b>	<b>5,451.44</b>

El flujo de caja indica que, después de la inversión inicial, el proyecto es capaz de generar suficientes ingresos para mantenerse y crecer. El flujo de caja económico se recupera después del primer año y continúa mejorando, lo cual es un indicador de la viabilidad económica del proyecto. El flujo de caja financiero positivo y creciente muestra que el proyecto tiene la capacidad de generar efectivo después de todos los gastos y costos operativos, lo cual es crucial para la sostenibilidad a largo plazo. La creciente tendencia en los flujos de caja sugiere que el proyecto es rentable y tiene un buen manejo de los costos. No hay financiamiento adicional requerido después del primer año, lo que indica que el proyecto se sostiene por sí mismo con los ingresos generados. En resumen, el proyecto de biorreactor parece ser financieramente saludable, con la capacidad de generar flujos de efectivo crecientes a lo largo del tiempo. Esto sugiere que el proyecto es capaz de pagar sus inversiones iniciales y operar con rentabilidad en los años proyectados.

#### 4.2.3. Análisis del VAN y TIR

**Tabla 3**  
*Indicadores económicos*

INDICADORES	VALOR	INTERPRETACIÓN DE LOS INDICADORES
1. VANE - Valor actual neto económico	5,450.94	El proyecto es FACTIBLE, porque que el VANE es positivo, y también mayor a cero.
2. TIRE - Tasa interna de retorno económico	42.90%	La TIRE resulta mayor al COK de 17%, por tanto, el proyecto es RENTABLE.
3. VANF - Valor actual neto financiero	4,493.49	El proyecto es FACTIBLE, porque que el VANF es positivo, y también mayor a cero.

4. TIRF - Tasa interna de retorno financiero	37.26%	La TIRF resulta mayor al COK de 17%, por tanto, el proyecto es RENTABLE.
5. B/C - Ratio costo beneficio	1.62	La ratio beneficio costo es mayor a 1.0, por tanto, se obtendrán beneficios económicos de 3.64
Valor presente de flujos positivos	11,744.59	
Valor presente de flujos negativos	7,251.10	

#### Análisis de indicadores financieros

- VAN (Valor actual neto) Económico: S/ 5,450.94:

El proyecto es factible económicamente porque el VAN es positivo, lo que indica que se espera que el proyecto genere más valor del que costará a lo largo de su vida útil. Un VAN positivo es una señal clara de que el proyecto es viable y debería ser considerado para la implementación.

- TIRE (Tasa Interna de Retorno Económico): 42.90%:

La TIRE es mayor que el costo de capital (COE) del 17%, por lo que el proyecto es rentable. Una TIRE sustancialmente mayor que el COE sugiere que el proyecto no solo es capaz de pagar su inversión inicial y costos de operación, sino que también proporciona un margen de ganancia considerable.

El VAN tanto económico como financiero es positivo, lo cual indica que el proyecto es viable desde ambas perspectivas. La rentabilidad está asegurada con una TIRE y TIRF que superan significativamente el costo de capital del 17%. Esto sugiere que el proyecto es una inversión atractiva y probablemente generará ganancias sustanciales para los inversores. Además, una ratio costo-beneficio mayor que uno confirma que los beneficios superan los costos incurridos. Basado en estos indicadores financieros, el proyecto de implementación de un biorreactor con tecnologías

de control para la producción de biogas y biol en la Granja Común-2022 viene a ser una inversión económicamente sólida y financieramente rentable.

#### **4.3. Discusiones de resultados**

De acuerdo a las investigaciones realizado para determinar la eficiencia de un biorreactor se ha contrastado que el T1 y T2 son muy eficientes ya que supera el 60 % de producción de biogás, así mismo se comparó la eficiencia con una investigación de RENDIMIENTO TEÓRICO DEL METANO CON BIOESTIMULACIÓN DE NIQUEL A LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LOS RESIDUOS ALIMENTICIOS, donde indica que el porcentaje del metano está entre un 60% y el dióxido de carbono se encuentra en un 40%, con una temperatura que se encuentra en un intervalo de 25-34 °C y el pH en un valor de 5.4 a 6,7. Esta investigación concuerda por sus resultados obtenidos en biodigestores (15).

Los resultados evidencian que el T2 (lactosuero) fue muy óptimo para la producción de biogás ya que ha generado un porcentaje del 73% de eficiencia, así mismo se ha comparado con la investigación de EFECTO DEL LACTOSUERO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIOABONO Y BIOL UTILIZANDO ESTIÉRCOL DE VACUNO

EN UN BIODIGESTOR BATCH EN SICAYA-2021, donde indica que mayor dosis de este tratamiento generó mayor biogás mientras que si este tratamiento obtuvo una cantidad menor de biogás (27).

Una solución para los residuos orgánicos y la combustión de gases de efecto invernadero sería la implementación de biorreactores en rellenos sanitario ya que ayudaría a generar biogás de manera ecoamigable con el medio ambiente. Según la investigación de la DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA A PARTIR DEL BIOGAS OBTENIDO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES DE LA PROVINCIA DE HUANCAYO genera un aproximado de 210 m<sup>3</sup>/h (2017), siendo un problema que desarrolla de manera paulatinamente (6).

La generación y composición del biogas lleva un proceso anaeróbico por ello la condición para su elaboración debe ser óptimo. Para la generación de este gas natural, debe haber una combinación de gases flammables como; (CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>). Según la investigación de PRODUCCIÓN DE BIOGAS A TRAVÉS DE LA CODIGESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS: HACIA UNA PLANTA CENTRALIZADA DE BIOGAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA, el biogas contiene un 50-70 % de metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) junto con el hidrógeno (H<sub>2</sub>) lo restante (28).

El biol siendo un abono orgánico líquido que contiene nutrientes y hormonas para las plantas, viene de un proceso anaeróbico producto de la fermentación de restos orgánicos (estiércol de animales y restos orgánicos). Según el INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA (INIA). La aplicación del biol es de un 1 L por 1.5 L de agua. Este biol se puede utilizar para plantas como: (habas, papas, hortalizas, maíz, etc). (29).



## CONCLUSIONES

- La implementación del biorreactor con tecnologías de control demostró una eficiencia del 60% al utilizar el método de rendimiento, considerando tanto el valor teórico como el valor real de la producción de biogás y biol. Estos resultados son alentadores y sugieren que las tecnologías de control utilizadas en el biorreactor son prometedoras para mejorar la eficiencia y el seguimiento de la producción de gases en la granja común, lo que podría significar un avance significativo hacia el uso sostenible de energías renovables en este contexto.
- La implementación de tecnologías de control en el prototipo del biorreactor fue exitosa y demostró ser óptima para el seguimiento de la producción de gases. Estas tecnologías permitieron un monitoreo preciso y detallado de los procesos en el biorreactor, lo que facilitó un análisis técnico exhaustivo. Los resultados obtenidos respaldan la eficiencia y funcionalidad de las tecnologías de control implementadas, lo que podría abrir nuevas

oportunidades para mejorar y optimizar el diseño de digestores anaeróbicos y su aplicación en la producción de biogás y biol.

- El estudio realizado proporcionó información valiosa sobre las reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) se utilizó tecnologías de monitoreo en comparación con enfoques empíricos tradicionales en la zona. Los resultados muestran que la producción de biogás con tecnologías de monitoreo fue significativamente mayor en comparación con las condiciones similares donde se aplicaron métodos empíricos (30) Esta diferencia sugiere que la adopción de tecnologías de control podría tener un impacto positivo en la reducción de GEI, lo que respalda su potencial contribución al manejo sostenible de residuos orgánicos y al desarrollo de prácticas más amigables con el medio ambiente en la región (30).
- El estudio reveló que los tres tratamientos evaluados mostraron una producción favorable de biogás y biol a lo largo de los días del proceso. Entre los tratamientos, destacó especialmente el que utilizó chicha de jora y suero de leche de vaca, evidenciando su potencial para una mayor producción de gases. Estos resultados indican que la elección adecuada de los sustratos y la aplicación de tecnologías de control pueden mejorar significativamente la producción de biogás y biol, lo que resulta prometedor para la optimización de la producción de energía renovable en la granja común.
- El análisis económico del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) proporciona una evaluación financiera positiva y alentadora para el proyecto de implementación del biorreactor con tecnologías de control en la Granja Común-2022 para la producción de biogás y biol. El VAN económico y financiero, con valores de S/ 5,450.94 y S/ 4,493.49 respectivamente, revela que el proyecto es factible desde ambas perspectivas,

indicando que se espera generar más valor del que costará a lo largo de su vida útil. La TIR económica y financiera, con tasas del 42.90% y 37.26% respectivamente, supera significativamente el costo de capital del 17%, confirmando la rentabilidad del proyecto. Estos indicadores sugieren que el proyecto no solo será capaz de recuperar la inversión inicial y cubrir los costos operativos, sino que también generará ganancias sustanciales para los inversores. El análisis del Ratio Costo-Beneficio (B/C) también respalda la viabilidad económica, ya que el B/C de 1.62 indica que se obtendrán beneficios económicos significativos, superando los costos incurridos en 3.64 veces. Además, el proyecto presenta un valor presente de flujos positivos de S/ 11,744.59, lo que subraya la solidez financiera del mismo.

- El biogás y biol producidos en el biorreactor demostraron ser factibles para su utilización en la combustión y aplicaciones específicas. Ambos productos mostraron eficiencia en su función prevista. Sin embargo, para la evaluación se hizo el análisis del biol para los 3 tratamientos dando como resultado el T1 un pH de 5.0 y con una conductividad de 1233.0 mS/m, materia orgánica 1.1 %, nitrógeno de 0.06%, fósforo 314.4 mg/kg, potasio 2338.1 mg/kg. Mientras que el T2 obtuvo un pH de 5.5 y una conductividad de 1156.0 mS/m, materia orgánica 0.9 %, nitrógeno de 0.05% y fósforo 452.7 mg/kg, potasio 2137.1 mg/kg y el T3 un pH de 3.3 una conductividad de 1686.0 mS/m, materia orgánica 1.1 %, nitrógeno de 0.06%, fósforo 533.8 mg/kg, potasio 4045.0 mg/kg. En los primeros dos tratamientos mostraron ser factibles para su uso, ya que se encuentran en un rango de 5 a 6 el pH, esto demuestra que al añadir un litro de agua el pH al biol llegaría a ser neutra y su uso sería más factibles para el riego de las plantas indicando plenamente su viabilidad y beneficios. se reconoce la necesidad de realizar estudios a largo plazo para analizar el tiempo de quema

del combustible y la eficiencia del biol. Estos estudios más extensos serán fundamentales para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de la producción y utilización de biogás y biol en la granja común, lo que representa una perspectiva valiosa para la promoción de prácticas ambientalmente responsables y el aprovechamiento efectivo de energías renovables.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un estudio de mayor duración para obtener resultados más sólidos y representativos. Un periodo de tiempo más prolongado permitirá observar las tendencias a largo plazo, así como identificar posibles variaciones estacionales que puedan afectar la producción de biogás y biol. Esto proporcionará una perspectiva más completa sobre la eficiencia y la estabilidad del sistema a lo largo del tiempo.

Se sugiere explorar el uso de otros tipos de residuos orgánicos, como el excremento de otros animales, para evaluar sus resultados en la producción de biogás y biol. La variación en las características de diferentes sustratos puede afectar la composición del biogás y la producción de metano. Realizar pruebas con diferentes tipos de residuos permitirá ampliar el conocimiento sobre las posibilidades de utilización de diversas fuentes de materia orgánica para la generación de energía.

Se recomienda considerar el uso de otro tipo de espacio donde se pueda generar el biogás. Si se opta por enterrar el prototipo del digestor, es probable que aumente su

temperatura interna debido a la naturaleza anaeróbica del proceso y el aislamiento térmico del suelo. Esta condición puede ser factible para incrementar la producción de biogás, pero también debe evaluarse con precaución para evitar posibles riesgos operacionales y garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. **CRUZ TUTACANO, Edwym Grover.** *Diseño de un bioreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la Irrigación de Majes - Caylloma.* Arequipa, Perú : Universidad San Agustín de Arequipa, 2017.

2. **RAMOS CUTIPA, José Manuel, Calisaya, Calisaya Elvis Saul y Phocco, Espetia Juan Jose.** *Diseño de un biorreactor para la obtención de biogás a partir de excretas de cuy monitoreado con un controlador industrial en la ciudad de Puno.* Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2018.

3. **HURTADO MERINO, Alberto Zacarias.** *Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la biomasa de residuos orgánicos agropecuarios Chulucanas – Piura.* Piura, Perú : Universidad Nacional de Piura, 2019.

4. **FERRER, Yoandy y PÉREZ, Heidy.** *Los microorganismos en la digestión anaerobia y la producción de biogás. Consideraciones en la elección del inóculo para el mejoramiento de la calidad y el rendimiento ICIDCA.* Ciudad de la Habana, Cuba : s.n., 2010, Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar, págs. 9-20.

5. **VERA LOOR, José y SCCIPA, MENDOZA, María** *PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE FERMENTACIÓN LÍQUIDA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE PIÑA Y NARANJA.*

2019, Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada “YACHASUN”, págs. 31-42.

6. **HUAYLINOS SOSA, Irving Aldo.** *Determinación de la potencia eléctrica a partir del biogás obtenidos de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo.* Huancayo, Perú : Universidad Continental, 2018.

7. **Martín Culma, Nazly Yolieth.** *Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global.* Revista Ciencias Agropecuarias., 2017.

8. **IRENA.** *Para Las Tecnologías de energías renovables: Cooperation en América Latina y el Caribe.* s.l. : IRENA, 2015.

9. **SERRAT DIAZ, Manuel y MENDEZ HERNANDEZ, Abelardo Allán** *Construcción y Validación Experimental de un Biorreactor Artesanal Tipo Tanque Agitado para Fermentaciones Sumergidas a Escala de Laboratorio.* Tecnología Química, 2015.

10. **GUERRERO ESCOBEDO, Emilio Khalil.** *Análisis Dinámico de biorreactor anaeróbico: Producción de biogás a partir de residuos orgánicos.* San Andrés Cholula, Puebla : s.n., 2021.

11. **CAPCHA EULOGI, Melissa, QUIPUZCO USHÑAHUA, Lawrence y MEZA CONTRERAS, Víctor** *Evaluación de la macroalga *Ulva lactuca* como aportante de nutrientes a un inóculo metanogénico en la producción de biogás y biol mediante digestión anaerobia de residuos orgánicos del comedor de la UNALM.* Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2016.

12. **MITTAL SHIVIKA, Erik y SHUKLA, P.R** *Barriers to biogas dissemination in India: A review*. 2018, Energy Policy, págs. 361-370.

13. **MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM)**. *Decreto Legislativo N° 1278*. Lima, Perú : s.n., 2016.

14. **BRICEÑO, Arciniega Laura Angélica**. *Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía*. Santiago de Querétaro, México : Centro de Investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica S.C., 2017.

15. **AYLAS JARA, Elmer Jesús**. *Rendimiento teórico del metano con bioestimulación de níquel a la digestión anaerobia de los residuos alimenticios*. Cerro de Pasco, Perú : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018.

16. **NORMA TÉCNICA PERUANA**. *Gestión de Residuos. Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos*. Lima, Perú : s.n., 2019.

17. **MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM)**. *Aprobar la Guía Metodológica para la Elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial*. Lima, Perú : s.n., 2013.

18. **MATHEWS, J.B. Robin** *Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. 2022, Cambridge University Press, págs. 541–562.

19. **NUÑO, Tatiana**. Si ignoramos las emisiones de metano, nunca reconduciremos la emergencia climática. *GREENPEACE*. [En línea] 07 de Mayo de 2021. <https://es.greenpeace.org/es/noticias/emisiones-contaminacion-metano/#:~:text=07%2D05%2D2021->

,Si%20ignoramos%20las%20emisiones%20de%20metano%2C%20nunca%20reconduciremos%20la%20emergencia,con%20diligencia%20la%20emergencia%20clim%C3%A1tica..

20. **NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP).** *Gas licuado de Petróleo, Instalaciones para consumidores Directos y Redes de Distribución.* Lima, Perú : s.n., 2012.

21. **CEGARRA, Sánchez.** *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológico.* Madrid, España : ISE, 2004.

22. **WESTREICHER, Guillermo.** Cilindro (Geometría). *Economipedia.* [En línea] 01 de Diciembre de 2020. <https://economipedia.com/definiciones/cilindro-geometria.html>.

23. **ESPINOSA, Saray.** Cómo sacar el área y volumen del cono. *Unprofesor.* [En línea] 27 de Enero de 2022. <https://www.unprofesor.com/matematicas/como-sacar-el-area-y-volumen-del-cono-5231.html>.

24. **TOMAS SERRANO, Antonio y HURTADO PÉREZ, Jerónimo.** *Determinación de la constante de los gases usando un manómetro y una balanza.* 2020, Revista Ciencia Recreativa, págs. 3401-3411.

25. **ROMAN SALINAS, Victor y ROQUE HUANCA, Bernardo** *PRODUCCIÓN DE METANO DE LA EXCRETA ANIMAL PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN LA REGIÓN ALTOANDINA.* 2022, Revista de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano, págs. 239-253.

26. **Libretext.** Rendimiento teórico y rendimiento porcentual. *LibreText Español.* [En línea] 30 de Octubre de 2022. [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica\\_Introductoria%2C\\_Conceptual\\_y\\_GOB/Qu%C3%ADmica\\_Introductoria\\_\(CK-](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Introductoria%2C_Conceptual_y_GOB/Qu%C3%ADmica_Introductoria_(CK-)



12)/12%3A\_Estequiometr%C3%ADa/12.09%3A\_Rendimiento\_te%C3%B3rico\_y\_rendimiento  
\_porcentual.

27. **EGOAVIL, Ericka Medalit Curila.** *Efecto del lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor batch en Sicaya-2021.* Huancayo : s.n., 2021.

28. **ARCINIEGA, Laura Angélica Briseño.** *PRODUCCIÓN DE BIOGAS A TRAVES DE LA CODIGESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y SEMISOLIDOS: HACIA UNA PLANTA CENTRALIZADA DE BIOGAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA.* Santiago de Querétaro : s.n., 2017.

29. **MENDOZA Dávalos, Katia.** *Preparación, uso y manejo de abonos orgánicos.* Ayacucho : Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, 2016. pág. 16, Folletos técnicos. 15.

30. **CURILLA, Egoavil Ericka Medalit y Diego, Flores Magaly Pamela.** *Efecto del lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor Batch en Sicaya - 2021.* Huancayo, Perú : Universidad Continental, 2022.

31. **INEI.** *Peru: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento.* Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima : s.n., 2020. pág. 5.

## ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	INDICADOR	INDICE	MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
<p>¿Cuál será la eficiencia del biorreactor implementado con tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la granja Común S.A.C.-2022?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál será la implementación y análisis técnico del tipo de biorreactor desarrollado con tecnologías de control?</p> <p>¿Cuáles serán las reducciones comparadas de GEI en relación a las tecnologías empíricas utilizadas en la zona?</p> <p>¿Cuáles serán los niveles de producción de biogás y biol en los días evaluados de proceso?</p> <p>¿Cuál será el beneficio económico generado por el biorreactor implementado con tecnología de control en la granja Común-2022?</p> <p>¿Cuál será la calidad de biogás y biol obtenido en el biorreactor de la granja Común -2022?</p>	<p>Determinar la eficiencia de un biorreactor implementado con tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la Granja Común S.A.C.-2022.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICOS</b></p> <p>Implementar y analizar técnicamente el prototipo de biorreactor desarrollado con tecnologías de control</p> <p>Conocer las reducciones comparadas de GEI en relación a las tecnologías empíricas utilizadas en la zona</p> <p>Determinar los niveles de producción de biogás y biol en relación a los días evaluados de proceso</p> <p>Determinar el beneficio económico generado por el biorreactor implementado con tecnología de control en la granja Común-2022</p> <p>Analizar la calidad del biogás y biol obtenido en el biorreactor de la granja Común -2022.</p>	<p>La eficiencia del biorreactor implementado en la granja "Común-2022" indicará niveles de eficiencia superiores a 60 %, superlativamente mejorados en cuanto a los biodigestores de tipo Hindú y Chino, gracias a la implementación de tecnologías limpias para el mejoramiento del proceso.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>La implementación se desarrollará mediante métodos de sistemas de adquisición como: LabVIEW, ARDUINO, ASSEMBLY, HASKELL, C, ADDER LOGIC, ERLANG, ETC, los cuales coadyubaran al control y validación del proceso, asegurando la eficiencia de producción de biogás y biol.</p> <p>La reducción comparada de GEI entre el biorreactor propuesto y los procesos empíricos de la zona corresponde a un 20 % de reducción.</p> <p>La producción de biogás con el modelo propuesto (1m x 2m), generara 1500 ppm por mes en la granja Común-2022.</p> <p>El beneficio económico mensual obtenido en la granja Común fue de 400.00 Soles, ya que se producirá 1500 ppm de biogás.</p> <p>La calidad de biogás obtenido en la granja común a partir de residuos de cuyes y restos de alimentos alcanza un 62 % de metano (CH4) y un 31% de dióxido de carbono (CO2).</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>*Tecnologías de control</b></p> <p>Nos ayudara a verificar la eficiencia del biogás y el biol indicando la optimización y el beneficio que nos pueden generar durante el primer mes que se implementara.</p> <p><b>Variables Dependientes.</b></p> <p><b>*Eficiencia de un biorreactor</b></p> <p>Nos ayudará a almacenar el material orgánico y fermentar la biomasa durante los días indicados correspondiente con todos los procesos implementados durante el monitoreo que se llevará a cabo con el programa de LabVIEW</p> <p><b>Variable interviniente</b></p> <p><b>*Microorganismos eficientes</b></p> <p>Nos ayudará a la descomposición de los residuos orgánicos introducidos en el biorreactor durante todo el mes, así mismo se verificará la adaptación del microorganismo en el proceso del biogás y biol y su eficiencia para la fermentación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dosis.</li> <li>✓ Tiempo de proceso</li> <li>✓ Ph</li> <li>✓ Humedad</li> <li>✓ Lixiviado</li> <li>✓ Volumen de producción</li> <li>✓ microorganismos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Litros, gr, kg.</li> <li>✓ %</li> <li>✓ Días</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Método referencial</li> <li>✓ Análisis químico (Laboratorio)</li> <li>✓ Observación</li> <li>✓ Observación</li> </ul>	<p>En la investigación se utilizará la técnica de observación, dado que el trabajo corresponde a un diseño experimental, ya que es un instrumento para adquirir datos que se presenta al momento de la observación y la opinión de explicativa. Lo cual se registrará para la recolección de datos e interpretación.</p> <p>El análisis de variables se desarrolló en el programa de estadístico de software de Microsoft Excel. Y como programa de monitoreo Labview.</p>	<p><b>Ficha referencial</b></p> <p>Se utilizó para recolectar información referencial existente, para su posterior análisis durante la ejecución del trabajo de investigación.</p> <p><b>Libreta de campo</b></p> <p>En la libreta de campo se tomaron nota sobre la instalación del biorreactor, asimismo, se plasmarán los datos obtenidos durante el proceso de fermentación para la obtención de biogás.</p>

Anexo N° 2: Validación del Instrumento de Evaluación de Biogás y Biol .

ARDUINO-LABVIEW

**FICHA: VALIDACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN BIORREACTOR IMPLEMENTADO CON TECNOLOGÍAS DE CONTROL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y BIOL EN LA GRANJA COMUN-2022”**

**I. DATOS GENERALES DEL EVALUADOR**

**APELLIDOS Y NOMBRES DEL EXPERTO:**

APOLAYA RUIZ WILLIAM ALEXANDER

**INSTITUCIÓN DONDE LABORA:**

CONSORCIO SUPERVISOR HOSPITALARIO HUANCAYO

**II. GENERALIDADES**

**2.1. NOMBRE DEL INSTRUMENTO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL:**

Instrumento para análisis de producción de biogás y biol

**2.2. SOFWARE UTILIZADO:**

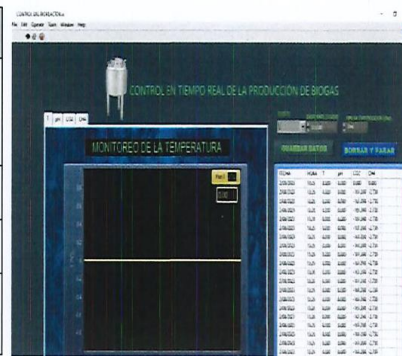
LABVIEW 2020 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), ARDUINO (The open-source Arduino Software- IDE).

**2.3. OBJETIVO DEL INSTRUMENTO:**

Monitorear con sensores de calidad en tiempo real del biogás y biol en la Granja Comun-Chilca-Huancayo 2022.

**2.4. COMPONENTES Y MÓDULOS DEL EQUIPO-VI (INSTRUMENTO VIRTUAL):**

Sensores y TAD	Modelo	Tipo de lectura
Sensores CH4 y CO2	SKU-SENO 535	GEI
Sensor térmico termistor	NTC-10K	Temperatura
Sensor de pH	Sensor SKU SENO 161	Potencial de Hidrógeno
Tarjetas de adquisición - TAD	Arduino 1, Arduino nano	Compilador Analógico



**2.5. ECUACIONES Y MODELOS DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO**

- Modelo logarítmico Steinhart - Hart. (Relación resistencia temperatura).
- Ecuación de calibración mediante soluciones de orden lineal ( $R2 = 0.9714$ , para el Biogás) corregida según la ecuación de grado cubico Hanna.

**2.6. MODELO DE TECNOLÓGICO EJECUTADOS POR EL INSTRUMENTO PARA EVALUACIÓN DE BIOGAS Y BIOL (IEB)**

**Presenta los modelos de biogás y biol**

- Modelo Científico
- Modelo Tecnológico

Modelos tecnológicos	Índice de CH4 ( $55 < IEB < 70$ ): Índice de CO2 ( $25 < IEB < 40$ ) pH (IEB 6-8) Temperatura ( $15\text{ °C} < IEB < 26\text{ °C}$ )
----------------------	--

**2.7. DE LAS LECTURAS VALIDADAS**

La validación de los parámetros CH4 y CO2, en la calidad de biogás y biol se encuentra dentro de los parámetros de 60 % a 80 %. El T1 obtuvo un 81% de generación de biogás durante los 30 días monitoreados, mientras que el T2 obtuvo un 73% de biogás, así mismo el T3 no tuvo una adecuada generación de biogás ya solo obtuvo un 50% durante los días evaluados. Estos datos respaldan la H 1, esto nos permite validar la lectura del sistema IEB- Arduino-LabVIEW. Los valores de temperatura oscilan entre  $16\text{ °C}$  a  $23\text{ °C}$  durante los 30 días monitoreados, para el pH corresponde a T1, T2 y T3 con un parámetro de 6.5 a 7.5 siendo óptimo para las condiciones de vida de los microorganismo anaeróbicos; por último, el modelos Científico y Tecnológico generan valores de  $R2 = 0.9714$  que respaldan la validación de las lecturas de Biogás y biol.

III. CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN

VALIDEZ DEL INSTRUMENTO VIRTUAL		DEFICIENTE				BAJA				REGULAR				BUENA				MUY BUENA			
ITEMS	CUMPLE CON:	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
		1. Precisión de la calibración de los sensores	Presenta sensores calibrados según los estándares y protocolos.												X						
2. Claridad en la estructura Modular de programación	Cumple con la programación modular y jerárquica, usa librerías estandarizadas Arduino-LabVIEW.														X						
3. Diseño del ejecutable	Presenta un instrumento ejecutable de fácil uso, lógico y con estándares de funcionalidad y usabilidad.															X					
4. De los modelos de estado de biol y biogás	Gestiona adecuadamente las condiciones de operacionalización de los modelos de estado de biogás y biol según parámetros de calidad.														X						
5. De las lecturas en tiempo real	Adquiere lecturas programadas en tiempo real con capacidad de generación de reporte.																X				
6. Administración de datos adquiridos	Gestiona y administra datos en tiempo real con capacidad de almacenamiento, mantenimiento y recopilación.																X				
7. Presentación de datos	Genera gráficas Waveform Chart, Report Table, en tiempo real para visualización y reporte de lecturas. Presenta reporte de errores.																X				
8. Intencionalidad	Es adecuado para analizar los índices de estado de biogás y biol de la granja Comun. Inferencia sobre elestatus IEB teniendo como base los datos adquiridos.																	X			
9. Metodología y propósito	El proceso de monitoreo en tiempo real con el IEB, cumple con el propósito de la investigación.																	X			
10. Costos y practicidad	Presenta cualidades de costo reducido y practicidad para el objetivo trazado de la investigación																	X			

Fecha:... 03/03/2023

Firma y sello del Evaluador:.....

WILLIAM ALEXANDER  
 APOLAYA RUIZ  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 Reg. CIP Nº 171423

**FICHA: VALIDACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN BIORREACTOR IMPLEMENTADO CON TECNOLOGÍAS DE CONTROL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y BIOL EN LA GRANJA COMUN-2022”**

**I. DATOS GENERALES DEL EVALUADOR**

**APELLIDOS Y NOMBRES DEL EXPERTO:**

..... *NEANDRU* ..... *INOCENCIO* ..... *RICHARNOU* ..... *NIXOU* .....

**INSTITUCIÓN DONDE LABORA:**

..... *EMPRESA* ..... *SINOMVDRU* .....

**II. GENERALIDADES**

**2.1. NOMBRE DEL INSTRUMENTO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL:**

Instrumento para análisis de producción de biogás y biol

**2.2. SOFTWARE UTILIZADO:**

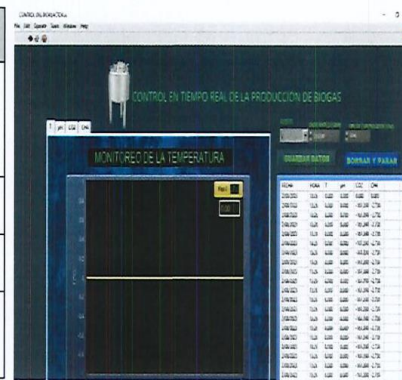
LABVIEW 2020 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), ARDUINO (The open-source Arduino Software- IDE).

**2.3. OBJETIVO DEL INSTRUMENTO:**

Monitorear con sensores de calidad en tiempo real del biogás y biol en la Granja Comun-Chilca-Huancayo 2022.

**2.4. COMPONENTES Y MÓDULOS DEL EQUIPO-VI (INSTRUMENTO VIRTUAL):**

Sensores y TAD	Modelo	Tipo de lectura
Sensores CH4 y CO2	SKU-SENO 535	GEI
Sensor térmico termistor	NTC-10K	Temperatura
Sensor de pH	Sensor SKU SENO 161	Potencial de Hidrógeno
Tarjetas de adquisición - TAD	Arduino 1, Arduino nano	Compilador Analógico



**2.5. ECUACIONES Y MODELOS DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO**

- Modelo logarítmico Steinhart - Hart. (Relación resistencia temperatura).
- Ecuación de calibración mediante soluciones de orden lineal ( $R2 = 0.9714$ , para el Biogás) corregida según la ecuación de grado cubico Hanna.

**2.6. MODELO DE TECNOLÓGICO EJECUTADOS POR EL INSTRUMENTO PARA EVALUACIÓN DE BIOGAS Y BIOL (IEB)**

Presenta los modelos de biogás y biol

- Modelo Científico
- Modelo Tecnológico

Modelos tecnológicos	Índice de CH4 ( $55 < IEB < 70$ ): Índice de CO2 ( $25 < IEB < 40$ ) pH (IEB 6-8) Temperatura ( $15\text{ °C} < IEB < 26\text{ °C}$ )
----------------------	--

**2.7. DE LAS LECTURAS VALIDADAS**

La validación de los parámetros CH4 y CO2, en la calidad de biogás y biol se encuentra dentro de los parámetros de 60 % a 80 %. El T1 obtuvo un 81% de generación de biogás durante los 30 días monitoreados, mientras que el T2 obtuvo un 73% de biogás, así mismo el T3 no tuvo una adecuada generación de biogás ya solo obtuvo un 50% durante los días evaluados. Estos datos respaldan la H 1, esto nos permite validar la lectura del sistema IEB- Arduino-LabVIEW. Los valores de temperatura oscilan entre  $16\text{ °C}$  a  $23\text{ °C}$  durante los 30 días monitoreados, para el pH corresponde a T1, T2 y T3 con un parámetro de 6.5 a 7.5 siendo óptimo para las condiciones de vida de los microorganismo anaeróbicos; por último, el modelos Científico y Tecnológico generan valores de  $R2 = 0.9714$  que respaldan la validación de las lecturas de Biogás y biol.

III. CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN

VALIDEZ DEL INSTRUMENTO VIRTUAL																						
ITEMS	CUMPLE CON:	DEFICIENTE				BAJA				REGULAR				BUENA				MUY BUENA				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Precisión de la calibración de los sensores	Presenta sensores calibrados según los estándares y protocolos.														X							
2. Claridad en la estructura Modular de programación	Cumple con la programación modular y jerárquica, usa librerías estandarizadas Arduino-LabVIEW.															X						
3. Diseño del ejecutable	Presenta un instrumento ejecutable de fácil uso, lógico y con estándares de funcionalidad y usabilidad.															X						
4. De los modelos de estado de biol y biogás	Gestiona adecuadamente las condiciones de operacionalización de los modelos de estado de biogás y biol según parámetros de calidad.															X						
5. De las lecturas en tiempo real	Adquiere lecturas programadas en tiempo real con capacidad de generación de reporte.																X					
6. Administración de datos adquiridos	Gestiona y administra datos en tiempo real con capacidad de almacenamiento, mantenimiento y recopilación.																X					
7. Presentación de datos	Genera gráficas Waveform Chart, Report Table, en tiempo real para visualización y reporte de lecturas. Presenta reporte de errores.																X					
8. Intencionalidad	Es adecuado para analizar los índices de estado de biogás y biol de la granja Comun. Inferencia sobre elestatus IEB teniendo como base los datos adquiridos.																X					
9. Metodología y propósito	El proceso de monitoreo en tiempo real con el IEB, cumple con el propósito de la investigación.																	X				
10. Costos y practicidad	Presenta cualidades de costo reducido y practicidad para el objetivo trazado de la investigación																	X				

Fecha: 02/08/2023

LEONARDO INOCENCIO NIXON CHARNOV  
 ESPECIALISTA AMBIENTAL  
 Reg. CIP. 168699

Firma y sello del Evaluador: .....



### Anexo N° 3: Operacionalización de Variable

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>			
<b>TECNOLOGÍA DE CONTROL</b>	Sensores de acides	*Control de parámetro de pH	*pH
	Sensores térmicos	*Control de parámetro térmico	*°C, *°J
	Sensores de contracción de metano	*Control de parámetro de metano	*M3
<b>VARIABLE INTERVINIENTE</b>			
	Microorganismos		
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>			
<b>EFICIENCIA DE UN BIORREACTOR</b>	Eficiencia producción de biogás	*volumen de producción	*Kg /Dias
		*tiempo de proceso	*Dias
	Eficiencia de producción de biol	*lixiviado liquido	*Litros/Dias

Anexo N° 4: Panel fotográfico



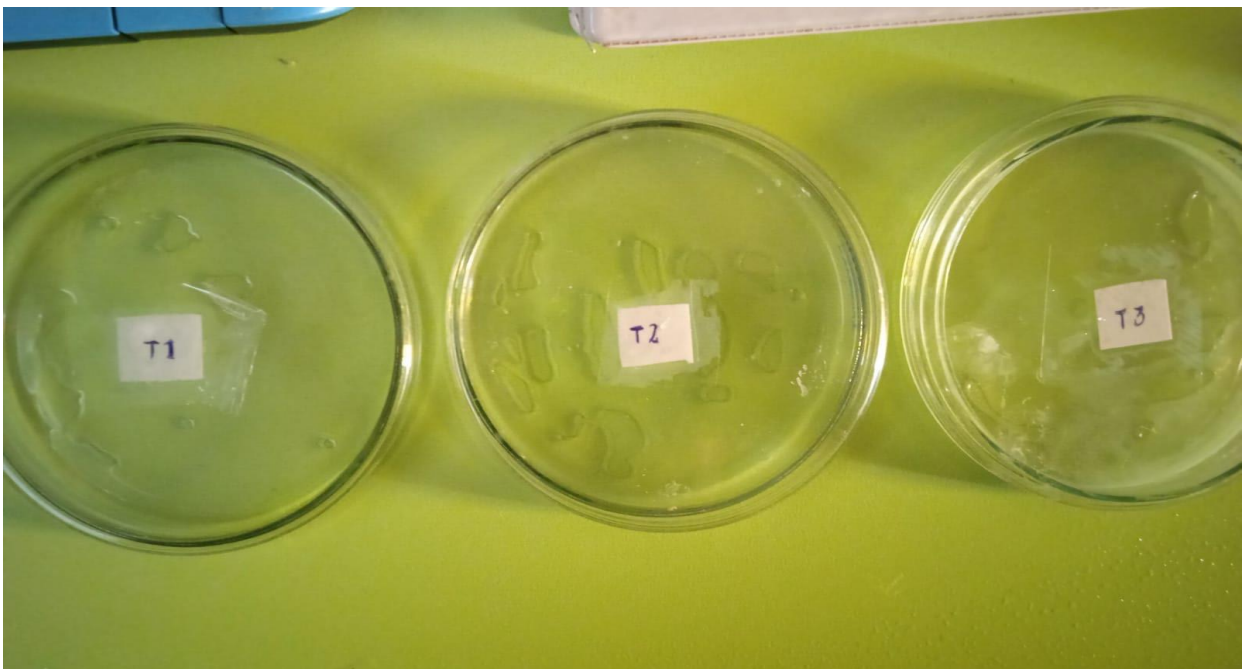
*Fotografía 01. Cuyes en la granja comun2022*



*Fotografía 02. Granja Comun-2022*



*Fotografía 03. Fermentación de cada tratamiento.*



*Fotografía 04. Microcultivo de microorganismos.*



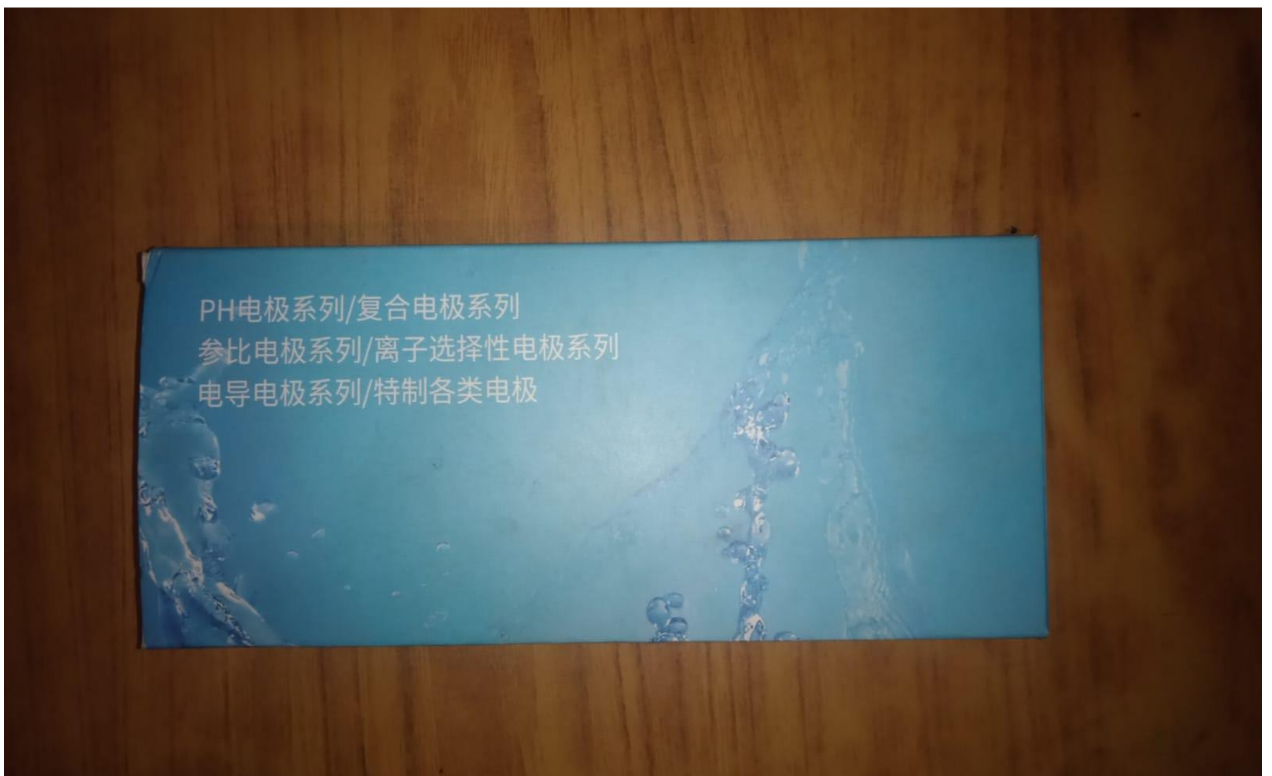
*Fotografía 05. Tarjeta de Adquisición (Arduino 1-Arduino nano)*



*Fotografía 06. Sensor Termico.*



*Fotografía 07. Sensor de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.*



*Fotografía 08. Sensor de pH.*



Fotografía 09. Instalación de sensores en el Biorreactor.



Fotografía 10. Programación de Sensores con el programa LabView.



*Fotografía 11. Inicio de T1 durante 30 días..*



*Fotografía 12. Inicio de T2 durante 30 días.*



*Fotografía 13. Control de Biol de T1, T2 y T3, Tratamiento en plantas.*



# Anexo N° 5: INFORME DE ENSAYO

## MUESTRA DE T1



Instituto Nacional de Innovación Agraria

### INFORME DE ENSAYO N° 112332-SA/AB/ LABSAF - SANTA ANA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Comun Limachi Maycol  
 Propietario / Productor : Comun Limachi Maycol  
 Dirección del cliente : Huancayo-Huancayo  
 Solicitado por : Comun Limachi Maycol  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 03 muestras  
 Producto declarado : Abono  
 Presentación de las muestras(s) : Frasco de plástico  
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
 Procedencia de muestra(s) : El Tambo-Huancayo-Junin  
 Fecha(s) de muestreo : 2022-12-01 (\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-11-18  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarens - LABSAF Santa Ana  
 Fecha(s) de análisis : 2023-12-21  
 Cotización del servicio : 399-SA-23  
 Fecha de emisión : 2023-11-24

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5
Código de Laboratorio	AB4458-SA-23	-	-	-	-
Matriz Analizada	Abono	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2022-12-01	-	-	-	-
Hora de inicio de Muestreo (h)	8:00:00	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	T1	-	-	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>		
pH	unid. pH	-	5.0	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	-	1233.0	-	-
Materia Orgánica	%	-	1.1	-	-
Nitrogeno	%	-	0.06	-	-
Fósforo Disponible	mg/Kg	-	314.4	-	-
Potasio Disponible	mg/Kg	-	2338.1	-	-



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarens  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Seños Grande - Huachoyan km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junin

Página 1 de 2  
F-46 / Ver.04  
www.inia.gob.pe



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 112332-SA/AB/ LABSAF - SANTA ANA

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.11, AS-11. 2000. Fósforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18 (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D, Revision 5, 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry.

### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandro Méndez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.



*[Firma]*  
Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO

### N° 112333-SA/AB/ LABSAF - SANTA ANA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Comun Limachi Maycol  
 Propietario / Productor : Comun Limachi Maycol  
 Dirección del cliente : Huancayo-Huancayo  
 Solicitado por : Comun Limachi Maycol  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 01 muestra  
 Producto declarado : Abono  
 Presentación de las muestras(s) : Frasco de plástico  
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
 Procedencia de muestra(s) : El Tambo-Huancayo-Junin  
 Fecha(s) de muestreo : 2023-01-01 (\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-11-16  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarens - LABSAF Santa Ana  
 Fecha(s) de análisis : 2023-12-21  
 Cotización del servicio : 399-SA-24  
 Fecha de emisión : 2023-11-24

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5
Código de Laboratorio	AB4459-SA-23	-	-	-	-
Matriz Analizada	Abono	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-01-01	-	-	-	-
Hora de inicio de Muestreo (h)	8:00:00	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	T2	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados		
pH	unid. pH	-	5.5	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	-	1156.0	-	-
Materia Orgánica	%	-	0.9	-	-
Nitrogeno	%	-	0.05	-	-
Fósforo Disponible	mg/Kg	-	452.7	-	-
Potasio Disponible	mg/Kg	-	2137.1	-	-



**Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarens**  
 Acreditado con la Norma  
 NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Saños Grande - Hualahoyo km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junin

Página 1 de 2  
 F-46 / Ver.04  
[www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 112333-SA/AB/LABSAF - SANTA ANA

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.11, AS-11. 2000. Fósforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18 (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.12, AS-12.0 EPA 8010 D. Revision 5, 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandra Méndez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.



*[Firma]*  
Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO

### N° 112334-SA/AB/LABSAF - SANTA ANA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	:	Comun Limachi Maycol
Propietario / Productor	:	Comun Limachi Maycol
Dirección del cliente	:	Huancayo-Huancayo
Solicitado por	:	Comun Limachi Maycol
Muestreado por	:	Ciente
Número de muestra(s)	:	01 muestra
Producto declarado	:	Abono
Presentación de las muestras(s)	:	Frasco de plástico
Referencia del muestreo	:	Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	:	El Tambo-Huancayo-Junin
Fecha(s) de muestreo	:	2023-03-01 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	:	2023-11-16
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Santa Ana
Fecha(s) de análisis	:	2023-12-21
Cotización del servicio	:	399-SA-25
Fecha de emisión	:	2023-11-24

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5
Código de Laboratorio	AB4460-SA-23	-	-	-	-
Matriz Analizada	Abono	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-03-01	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	8:00:00	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	T3	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados		
pH	unid. pH	-	3.3	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	-	1696.0	-	-
Materia Orgánica	%	-	1.1	-	-
Nitrogeno	%	-	0.06	-	-
Fósforo Disponible	mg/Kg	-	533.8	-	-
Potasio Disponible	mg/Kg	-	4045.0	-	-



PERU Ministerio de Agricultura e Irrigación



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Saños Grande - Hualishoyo km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junin

Página 1 de 2  
F-46 / Ver.04  
www.inia.gob.pe

## INFORME DE ENSAYO

### N° 112334-SA/AB/ LABSAF - SANTA ANA

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 8045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley and Black).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.11, AS-11. 2000. Fosforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18 (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D, Revisión 5, 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry.

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

(\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandro Méndez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.



Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO