



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A  
PARTIR DEL RASTROJO DE PIÑA EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLA  
CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

**Victor Humberto Calderón Zeledón**

Asesorado por el MSc. Ing. José Humberto Calderón Díaz

Guatemala, enero 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A  
PARTIR DEL RASTROJO DE PIÑA EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLA  
CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**VICTOR HUMBERTO CALDERÓN ZELEDÓN**  
ASESORADO POR MSC. ING. JOSE HUMBERTO CALDERÓN DIAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Jerez Juárez
EXAMINADOR	Inga. Lidia Valentina Jácome Cucú
EXAMINADOR	Inga. Nora Leonor García Tobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL RASTROJO DE PIÑA EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 16 de noviembre de 2022.

**Victor Humberto Calderón Zeledón**



EEPFI-PP-2101-2022

Guatemala, 16 de noviembre de 2022

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
**Escuela Ingeniería Mecánica Industrial**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Urquizú**

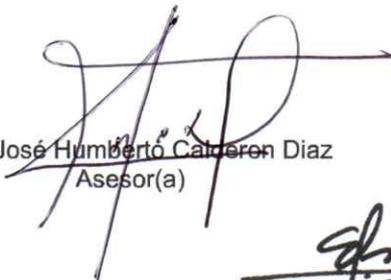
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EVALUACION DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL RASTROJO DE PIÑA EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y tratamiento de residuos - Tecnologías para el tratamiento y gestión de residuos**, presentado por el estudiante **Victor Humberto Calderón Zeledón** carné número **201212484**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

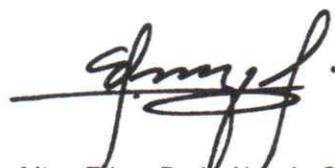
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. José Humberto Calderón Díaz  
Asesor(a)

  
Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría

  
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-1722-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EVALUACION DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL RASTROJO DE PIÑA EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **Victor Humberto Calderón Zeledón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL RASTROJO DE PIÑA EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por: **Victor Humberto Calderón Zeledón**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme permitido la vida y realizar una de mis metas más anheladas.
<b>Mis padres</b>	Norma Zeledón por nunca dejar de creer en mí y tener siempre una palabra de aliento, José Calderón por tu ejemplo de lucha y superación en esta vida.
<b>Mi esposa</b>	Alicia Garrido por tu comprensión, apoyo incondicional y aguantar tantos fines de semana sin mí, te estaré eternamente agradecido.
<b>Mis hermanos</b>	Ricardo, Josu y Norma Calderón Zeledón, por su amor y apoyo incondicional.
<b>Mi abuela</b>	Ricarda Monroy Álvarez (q. d. e. p.) por sus sabias enseñanzas y consejos durante el tiempo que Dios me dio la dicha de coincidir.
<b>Familia y amigos</b>	Tías, tíos, primos, gracias



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió conocer un mundo nuevo.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme los conocimientos adquiridos y formarme para la vida.
<b>EFPEM</b>	Por qué más que mi lugar de labores ha sido mi segunda casa y familia, Maestra Lucrecia Crispín y Lic. Salvador Navarro por su flexibilidad y comprensión muchas gracias.
<b>Mis amigos</b>	Por ayudarme en cada etapa de mi carrera.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. José Humberto Calderón Díaz, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
<b>Familia y amigos en general</b>	



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1 General.....	15
5.2 Específicos .....	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Influencia de las actividades productivas en el cambio climático.....	19
7.1.1. Gases de efecto invernadero y producción agrícola.....	21

7.1.2.	Agricultura como factor que contribuye considerablemente al cambio climático. ....	21
7.2.	El rastrojo de piña .....	23
7.3.	Transformación de Biomasa en energía .....	23
7.3.1.	Combustión .....	25
7.3.2.	Gasificación.....	25
7.3.3.	Pirólisis.....	26
7.3.4.	Digestión anaerobia. ....	26
7.4.	Digestión anaerobia .....	26
7.4.1.	Etapa hidrolítica.....	27
7.4.2.	Etapa acidogénica.....	28
7.4.3.	Etapa acetogénica.....	28
7.4.4.	Etapa metanogénica. ....	28
7.5.	Metano .....	29
7.5.1.	Potencial bioquímico de metano .....	29
7.6.	Biogás .....	30
7.6.1.	Formación y usos del biogás.....	30
7.6.2.	Ventajas del uso de biogás .....	31
7.7.	Biodigestor .....	31
7.7.1.	Plantas de globo.....	32
7.7.2.	Plantas de domo fijo .....	32
7.7.3.	Plantas tambor flotante .....	32
7.7.4.	Criterios de diseño de un biodigestor .....	33
7.8.	Parte y funciones del biodigestor .....	33
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	35
9.	METODOLOGÍA .....	39
9.1.	Diseño .....	39

9.2.	Tipo de estudio .....	39
9.3.	Fases.....	40
9.3.1.	Fase 1. Exploración bibliográfica .....	40
9.3.2.	Fase 2. Recolección de datos y casos .....	40
9.3.3.	Fase 3. Análisis de datos.....	41
9.3.3.1.	Cálculo de tiempo de descomposición de biomasa.....	41
9.3.3.2.	Medición de nivel metano en el digestor .....	42
9.3.3.3.	Usos de biomasa residual.....	43
9.3.3.4.	Biogás obtenido .....	43
9.3.4.	Fase 4. Propuesta de métodos y usos .....	43
9.3.5.	Definición operacional de variables .....	44
9.3.6.	Definición teórica de variables: .....	44
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	47
10.1.	Herramientas de recolección de la información.....	47
10.2.	Herramientas de estadística descriptiva.....	47
11.	CRONOGRAMA.....	49
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	51
13.	REFERENCIAS.....	53
14.	APÉNDICES.....	59



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

I.	Porcentaje de metano .....	42
II.	Cronograma .....	49
III.	Recursos necesarios para la investigación. ....	51



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>MV</b>	Megavatio
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CH<sub>4</sub>/g</b>	Metano por hora
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>W<sub>Biomasa</sub></b>	Peso biomasa
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Anaerobia</b>	Sin oxígeno.
<b>Base seca</b>	Es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa seca.
<b>Biodigestor</b>	Es un recipiente o tanque cerrado herméticamente que se carga con residuos orgánicos. En su interior se produce la descomposición de la materia orgánica.
<b>Biofertilizante</b>	Son fertilizantes orgánicos que proporcionan a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo, al mismo tiempo mejoran la calidad del suelo y ayudan a conseguir un entorno microbiológico óptimo y natural.
<b>Biogás</b>	Es un gas renovable compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono obtenido a partir de la degradación anaerobia de residuos orgánicos.
<b>Biomasa</b>	Es un tipo de energía renovable generada a partir de la combustión de materia orgánica, la cual se origina a partir de diferentes procesos que suceden en el día a día.
<b>Cromatografía</b>	Conjunto de técnicas que tienen como finalidad la separación de mezclas basándose en la diferente

capacidad de interacción de cada componente en otra sustancia.

**Cultivo** Son plantas que se pueden cultivar y cosechar extensivamente con fines de lucro o de subsistencia.

**Embalaje** Es todo aquello necesario en el proceso de acondicionar los productos para protegerlos, y/o agruparlos de manera temporal pensando en su manipulación, transporte y almacenamiento.

**Metano** Es un gas natural, incoloro e inodoro que se produce debido a la descomposición o la digestión de materia orgánica, como las plantas.

**Podado** Cortar o quitar las ramas superfluas de los árboles, vides y otras plantas para que después se desarrollen con más vigor.

**Potencial** Fuerza o poder del que se dispone para lograr un fin.

**Rastrojo de piña** Es aquel compuesto por la totalidad de la planta de piña (raíz, tallo, hijos secundarios y hojas), una vez que se descarta y se inicia un nuevo ciclo de siembra.

**Válvula** Es un instrumento de regulación y control de fluido.

**Zafra** Es la temporada de cosecha de la caña y producción de azúcar, que se desarrolla de noviembre a mayo.

## RESUMEN

El rastrojo es una parte de las plantas que es utilizado generar energía a través de diferentes procesos, uno de estos procesos puede ser la digestión anaeróbica que se realiza a través de un biodigestor cerrado, dicho proceso consta de depositar los desechos orgánicos en este caso el rastrojo En el biodigestor complementarlo con partes de agua por cada parte de biomasa y esperar a que a través de la descomposición anaeróbica el rastrojo del cultivo comience a generar una serie de gases con altos niveles en metano dióxido de carbono y óxido nitroso para al final utilizar dicho gas generado en diferentes formas las más comunes tienden a ser estufas o lámparas de gas, pero también puede ser utilizada en un motor de generación eléctrica a partir de biogás.

No existe evidencia de que el rastrojo de piña haya sido utilizado con algunos de los procesos anteriormente mencionados por lo que se pretende brindar información relevante y concluyente acerca del potencial energético de este.

El presente diseño de investigación busca sentar las bases para evaluar la capacidad que posee el rastrojo de piña en generar biogás a través de la biodigestión en un biodigestor cerrado, así como la realización de un análisis técnico para concluir la viabilidad del mismo.



# 1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que depende altamente de la agricultura, actualmente el departamento de Guatemala y de Santa Rosa comparten un área importante de plantación de cultivo de piña, dicho cultivo genera una cantidad de desechos orgánicos considerables puesto que es un cultivo que puede durar plantado aproximadamente hasta dos años y solo es podado durante ese tiempo a esa hojas podadas se les conoce como rastrojo, este desecho no es aprovechado ni manejado de una forma adecuada esto debido a la baja tecnificación, poca información y presupuestos limitados se vuelve un problema, pues el mal manejo de los desechos orgánicos puede generar consecuencias considerables dado que estos desechos generan una alta cantidad de gases de efecto invernadero, lo cual contribuye al calentamiento global que a su vez nos trae consecuencias ambientales tales como suelos áridos y bajos de nutrientes además como enfermedades respiratorias y otros fenómenos naturales tales como huracanes y tormentas.

Ahora bien, la generación de desechos orgánicos puede ser vista desde un punto positivo en el cual el buen manejo de estos nos puede generar una fuente de energía, en el presente trabajo se plantea la opción de utilizar lo que conocemos como rastrojo de la planta de la piña para aprovechar su potencial energético dicha opción no ha sido trabajada antes según la literatura en el país lo cual nos brinda una oportunidad para implementar el estudio en cuestión.

El estudio pretende demostrar y validar el potencial energético que posee el rastrojo de la planta de la piña, de tal forma que, al generar biogás con alto contenido en metano, dicho biogás se pueda utilizar en la cadena de producción

y embalaje de la piña a través de motores generadores de energía eléctrica a partir de biogás u otras aplicaciones dentro del proceso productivo de las empresas agrícolas que dedican a la producción de piña.

Para poder alcanzar los objetivos de esta investigación se utilizará un proceso metodológico que permitirá el uso de un biodigestor cerrado que permitirá aplicar el método de descomposición conocido como digestión anaeróbica y de esta forma poder generar biogás a partir del proceso de descomposición. A partir de la generación de biogás se utilizarán sensores y una válvula vortex que permitirá poder medir qué porcentaje de metano tiene, y de esta forma validar el potencial energético de los desechos orgánicos de la piña, la cosecha de piña es durante todo el año debido a la tecnificación a través del uso de reguladores de crecimiento y madurantes para inducir a la floración y maduración uniforme de los frutos, y la descomposición de la parte foliar por su consistencia de tener un alto contenido de fibra puede durar hasta seis meses, por lo que se plantea una mezcla de rastrojo con piña de desecho para poder reducir el tiempo de generación de biogás y aumentar su factibilidad.

Se realizará una investigación bibliográfica para fundamentar el por qué el manejo de los desechos orgánicos es importante y necesario para reducir el impacto en el cambio climático, además a través de revisiones bibliográficas se explicará y determinará qué es el rastrojo de piña y qué impacto tiene en el país, posteriormente se abordarán los temas de las formas de transformación que existen de la biomasa a la energía.

Después de determinar cuál es la forma que se utilizará para la transformación de la biomasa en energía que en este caso será la digestión anaeróbica se ampliarán los procesos que deberá llevar la digestión, la digestión anaeróbica tiene cuatro etapas, este estudio se enfocará en etapa metanogénica, y luego se ampliará información del elemento metano y su potencial para generar energía.



## 2. ANTECEDENTES

La presente investigación tiene como objetivo el aprovechamiento de los residuos del rastrojo de piña a través de la digestión anaeróbica que permitirá la producción de biogás, para este efecto se basa en los siguientes antecedentes.

Actualmente no existe una línea de investigación que nos permita establecer el aprovechamiento del desecho rastrojo de piña para la producción de biogás, únicamente se han identificado investigaciones relacionadas al tratamiento y aprovechamiento de rastrojo de caña de azúcar, excretas humanas y desechos orgánicos.

Como lo ha revelado el Banco Mundial (2020) la agricultura en Guatemala representa un 10.2 % del PIB, razón por la que en la temporada de Zafra constituye una fuente importante de biomasa de caña, 6.4 millones de toneladas de dicha biomasa sirven de generación de energía renovable, cuando se encuentran en su máxima potencia las centrales cogeneradoras pueden llegar a producir 562 megavatio.

De igual forma tenemos el estudio *Biogas potential of organic waste in Nigeria* realizado en Nigeria por Ngumah (2013) quien indica que a raíz del crecimiento del impacto negativo que tienen los combustibles fósiles en el medio ambiente y la salud pública, la energía renovable se ha convertido en una alternativa favorable, poniendo énfasis en la digestión anaerobia que ha sido utilizada para el tratamiento de desechos orgánicos (biomasa).

Los desechos orgánicos seleccionados en este estudio fueron heces de ganado, oveja, cabra, cerdo, gallinas de corral y humano, asimismo residuos de cultivos y desechos orgánicos municipales, según los datos obtenidos, en Nigeria se genera aproximadamente 542 millones de toneladas de los al año, dichos desechos tiene el potencial de generar 25.53 billones de metros cúbicos de biogás y 88.19 millones de toneladas de biofertilizante al año, los dos tienen un valor combinado de aproximadamente 29.29 billones de dólares.

El rastrojo de piña ha sido estudiado por su potencial energético en condiciones de laboratorio tal es el caso del estudio Determinación y composición de biogás a partir de rastrojo de la piña por medio de un sistema continuo escala laboratorio, realizado por Arce, Hernandez y Amador (2015), se da a conocer los resultados obtenidos del ensayo continuo de evaluación del sustrato de piña para la generación de biogás. El objetivo principal del ensayo era la determinación de la capacidad de generación de biogás obtenido del residuo agrícola orgánico (RAO) generado a partir de la producción industrial de la piña. Los resultados obtenidos muestran una producción promedio de biogás de 25.7 litros de metano por cada kilogramo de rastrojo de piña fresco (171.3 mL CH<sub>4</sub>/gr SV), es decir, se estima una generación de 25.7 metros cuadrados de biogás por cada tonelada de rastrojo fresco con una concentración de metano de 52 %.

El rastrojo de caña de azúcar ha sido utilizado en el estudio *Potencial del uso del rastrojo de caña de azúcar para producción de biogás* realizado en México Sánchez-Herrera (2017) quien indica que durante la zafra de caña de azúcar se estimó una generación de 1,082,245 toneladas de residuos de rastrojo. Lo cual planteó una excelente oportunidad para su utilización en la generación de biogás, usando biodigestores para su producción puede proveer al sector cañero una solución ambiental y de bienestar social.

Como se puede observar existe evidencia del uso de residuos orgánicos para uso de biogás y biofertilizantes. En Guatemala el mercado de electricidad por biomasa es abarcado en su mayoría por los ingenios azucareros, sin embargo, existen fuentes que también pudiesen ser utilizadas, pero no son aprovechadas, un ejemplo cercano de estos es el rastrojo de la producción de piña tal como podemos ver en el estudio *Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña* realizado en Costa Rica por Hernandez y Prado (2018) estimaron que la biomasa del rastrojo de piña y los costos asociados con el manejo en campo también identificaron el tratamiento que se le da a este residuo. Calcularon que el rastrojo para 43,000 hectáreas de cultivo es de 4,282,000,000 ton/año en base húmeda y 640,000 ton/año en base seca. Los costos oscilan entre US\$ 1,000 y US\$ 2,500 por hectárea, esto hace que existan oportunidades de mejora en el manejo y aprovechamiento de esta biomasa.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los procesos de producción y manejo de desechos orgánicos que quedan posterior a una cosecha tal y como es el rastrojo de piña tienen consecuencias perjudiciales tanto para el humano como para el planeta, en Guatemala el sector de: agricultura, silvicultura y otros específicamente el subsector de la agricultura: fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> son fuentes de contaminación atmosférica debido a que muchas de estas actividades son generadoras de GEI, específicamente óxido nitroso, el cual tiene un potencial de calentamiento 310 veces más grande al del dióxido de carbono. A diferencia de del cultivo de la piña el rastrojo no es aprovechado sino eliminado mediante la quema del desecho, por lo que también contribuyen a dichos gases

Así como lo confirma la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura en el año 2014 Guatemala se posicionó en el décimo séptimo lugar en la producción mundial de piña, a partir de la cual se generan 234,560 toneladas métricas, Las cifras anteriores muestran que Guatemala es uno de los mayores productores de piña a nivel mundial, generando la importancia de tener un tratamiento adecuado dentro del contexto de la gestión de producción y manejo de desechos orgánicos.

A diferencia del cultivo de caña de azúcar en donde el rastrojo tiene uso en la generación de biogás no existe una evidencia que el rastrojo de piña esté siendo aprovechado en Guatemala, esto es sinónimo de una inversión de alto costo económico, así como también la conciencia ambiental es un tema complejo de tratar, esto se debe a que involucra ejecutar procesos extras a los ya

establecidos para la producción de algún cultivo, ahora bien, el mal manejo de dichos desechos orgánicos puede ser perjudicial a gran escala debido a que pueden llegar a generar una alta cantidad de gases de efecto invernadero y contaminación atmosférica la cual aumenta la probabilidad de huracanes y aumenta la temperatura a nivel mundial desencadenando lo que conocemos como el calentamiento global, como resultado de lo anterior existe un impacto en la agricultura y la ganadería.

Que no se limita únicamente a desastres naturales, también genera una degradación en los suelos convirtiéndolos en áridos y sin capacidad de producir aparte altera los ecosistemas, es clave recordar que las consecuencias que desencadenan la contaminación atmosférica van desde infecciones respiratorias, cáncer de pulmón y accidentes cerebrovasculares, dichas consecuencias son perjudiciales para la salud del ser humano.

Actualmente muchas fincas piñeras no cuentan con la tecnificación necesaria para tratar de manera eficiente los desechos producidos derivados de su actividad productiva, así como la falta de estudios técnicos que determinen la capacidad de dichas fincas para producir biogás a partir del rastrojo de piña, que permite el aprovechamiento de este recurso como una alternativa energética renovable.

Por lo anterior se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- Pregunta central

¿Cuál es el potencial energético del rastrojo de piña para la producción de biogás en una finca del municipio de Villa Canales, Guatemala?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Cuál es la cantidad de desechos que se pueden aprovechar en la producción de biogás a partir del rastrojo de piña?
  - ¿Qué tipo de tecnología se requiere para la producción de biogás a partir del rastrojo de piña?
  - ¿Cuál es viabilidad técnica de aprovechamiento del biogás como fuente energética en los procesos de producción piñera?



## 4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente se justifica en el área de tecnologías y diseño de sistemas para el tratamiento y gestión de residuos, específicamente en la línea de investigación de gestión y tratamiento de residuos, de la Maestría en Energía y Ambiente.

Mediante la evaluación del potencial energético del rastrojo de piña para el aprovechamiento en la producción de biogás se busca generar alternativas energéticas sostenibles para el beneficio de las industrias en términos económicos y del medio ambiente, el rastrojo de piña es un recurso no que puede ser aprovechado en la cadena productiva de los residuos sólidos de la piña, por lo que este beneficiará a la reducción de la cantidad de gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica generada por la quema de dicho residuo.

El rastrojo de piña es un desecho que posee un potencial energético considerable a tomar en cuenta para producir biogás, la generación de dicho biogás podrá ser utilizada dentro de las instalaciones de las mismas fincas piñeras de esta forma generaríamos una cadena de producción autosostenible debido a que aportaríamos en términos ambientales la reducción de GEI, y de igual forma la reducción de costes económicos y de esta forma mejorar las condiciones económicas de los trabajadores y generar un desarrollo sostenible.

La presente investigación mediante una evaluación técnica busca beneficiar a los productores de piña, que conforman la cadena productiva y que aún no cuentan con los mecanismos técnicos y financieros para el

aprovechamiento del rastrojo de piña para la producción de biogás, generando un valor agregado a dichos procesos productivos, así como ayudaría a poder crear una cadena de producción autosostenible además de reducir los costos económicos por uso de energía eléctrica en las fincas piñeras, de esta manera tanto empresarios, productores y campesinos podrán mejorar su estilo de vida debido a que poseerán su propia fuente de energía.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Evaluar el potencial energético del rastrojo de piña para la producción de biogás en una finca del municipio de Villa Canales, Guatemala. relacionarla con la pregunta principal.

### **5.2 Específicos**

- Cuantificar la cantidad de desechos que se pueden aprovechar en la producción de biogás a partir del rastrojo de piña.
- Implementar la tecnología seleccionada que se requiere en el proceso para poder generar el biogás a partir del rastrojo de piña.
- Evaluar la viabilidad técnica del aprovechamiento energético del biogás producido a partir del rastrojo de piña en la finca.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

El potencial energético que posee el rastrojo de piña para la generación de biogás aportara en términos técnicos y financieros en la generación, aprovechamiento y manejo de los desechos orgánicos en Guatemala, donde actualmente no es aprovechado dicho rastrojo.

Este proceso de aprovechamiento y manejo de dicho desecho beneficiará a la reducción de la generación de gases efecto invernadero y contaminación atmosférica. Estos gases son causados por el mal manejo del rastrojo que queda después de cada cosecha. A partir de las conclusiones obtenidas se recomendará a las fincas una forma para mejorar el aprovechamiento del rastrojo de piña para evitar la generación de gases efecto invernadero y contaminación atmosférica.

Se evaluará la viabilidad técnica de un proceso de generación de biogás, y en qué medida aumentará la eficiencia y aprovechamiento de dicho desecho como fuente generadora de energía renovable y amigable con el medio ambiente en las fincas piñeras que finalmente reemplaza energías generadas por recursos no renovables.

Determinaremos la situación de proceso de manejo de desecho donde se utilizará la herramienta de diagrama de operaciones de proceso con lo cual se evaluarán los procesos que se utilizan para detectar los puntos débiles y las actividades que no aportan valor al medio ambiente.

La evaluación del sistema de desecho con el cual cuenta la piñera, nos permitirá determinar si es un sistema empírico y no sistematizado por lo que queda a discreción de los trabajadores el manejo de dicho desecho ocasionando así consecuencias ambientales y dañinas para el terreno.

El proceso deberá replantearse y evaluar las posibilidades de implementar un nuevo proceso desde cero, así de esta forma mejorar las condiciones del terreno y el aprovechamiento de dicho desecho para lograr aumentar la rentabilidad y autosostenibilidad de la piñera

Por lo tanto, países Latinoamericanos sobre todo Costa Rica se han interesado en el uso del rastrojo de piña como una medida que busca mitigar el cambio climático a través del uso de energía renovable a través del aprovechamiento de biomasa de residuos agrícolas, siendo Guatemala uno de los principales productores de piña el sector agrícola se verá beneficiado al poseer un estudio que les permitirá generar proyectos autosostenibles a futuro.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Influencia de las actividades productivas en el cambio climático**

Según Alfaro, Bardales, Basterrechea y Batzin (2019):

La tendencia al calentamiento global medida por aumento promedio de temperatura del planeta es clara, este calentamiento es producto de los gases de efecto invernadero generados por la actividad humana, que alteran la composición de la atmósfera, aumentando su capacidad de capturar calor. (p. 5)

Para el año 2010 en Guatemala esto ya se hacía notar según un reporte de UNICEF, Guatemala fue el segundo país más afectado por el cambio climático a nivel Centroamérica (UNICEF, 2012).

Según el informe de CEPAL (2015) indica que, “en Centroamérica y América del Sur, se observa que la temperatura ha aumentado entre 0.7 y 1 °C desde mediados de los años setenta, a excepción de la zona costera de Chile, que experimentó una reducción de 1 °C” (p.15).

Afirma UNICEF (2012) que:

A nivel mundial Guatemala se encuentra dentro de los diez países más vulnerables al cambio climático, debido a que el 80 % del PIB se produce en zonas de riesgo a desastres naturales, al igual que mucha de la población se encuentra viviendo en áreas de riesgo. (p.5)

Además, para el 2019 se estima que en Guatemala la temperatura media anual ha aumentado, al menos un grado Celsius, la precipitación se ha vuelto más intensa y la distribución anual de dicha precipitación ha cambiado. En general, los eventos climáticos extremos en el país han aumentado y se han intensificado debido al cambio climático. En los últimos veinte años Guatemala ha sido afectada por más de 15 tormentas extremas, que han afectado cerca de un millón de personas y pérdidas millonarias. Las proyecciones indican que para finales del siglo habrá un aumento de temperatura de entre tres y seis grados y se prevé una disminución de entre el 10 al 30 % de la precipitación a nivel nacional (Alfaro, Bardales, Basterrechea y Batzin, 2019).

Hasta el momento la evidencia recopilada según CEPAL (2015) indica que:

El cambio climático se manifiesta en aumentos de la temperatura atmosférica y oceánica, cambios en los patrones de precipitaciones, decrecimiento de los volúmenes de hielo y nieve, un incremento del nivel del mar y modificaciones de los patrones de fenómenos climáticos extremos. (p. 4)

Esto se ve reflejado en los cambios drásticos que hay de temperaturas o bien los eventos naturales como sequías, inundaciones, lluvias torrenciales, entre otros, eventos traen en sí, una serie de consecuencias derivadas de ello, como por ejemplo deslaves, derrumbes, hundimientos en las carreteras, saturación del suelo, drenajes colapsados, cierre de carreteras, aparición y propagación de enfermedades, entre otros.

Existen varios factores que contribuyen al cambio climático y a la creación de gases de efecto invernadero como lo son las siguientes:

### **7.1.1. Gases de efecto invernadero y producción agrícola**

La alimentación es una necesidad básica para los seres humanos, por ello la producción agrícola contribuye al cambio climático y a su vez se ve afectada con el crecimiento poblacional. La globalización ha ido creando distintos sistemas de producción y suministro de alimentos, importando y exportando, por lo tanto, antes de consumir cualquier alimento este ha pasado por una serie de procesos, desde su producción, almacenamiento, elaboración, envasado, empaquetado, y distribución.

El metano se genera por el ganado durante la digestión, por residuos orgánicos almacenados y las emisiones de óxido nitroso son producto de los fertilizantes orgánicos y minerales. A su vez la agricultura se ve afectada ya que los cultivos necesitan determinadas condiciones para su crecimiento y ciclos, como agua, luz, temperatura y minerales. El calentamiento global ha afectado y modificado estas condiciones (Arcenillas, 2021).

### **7.1.2. Agricultura como factor que contribuye considerablemente al cambio climático**

El principal responsable de la destrucción de la capa de ozono es el óxido nitroso, uno de los gases de efecto invernadero que más contribuyen al calentamiento global, la actividad agrícola aporta el 40 % de las emisiones totales. Si bien este gas se produce de manera natural a partir de los organismos que destruyen la materia orgánica tanto en suelos como en océanos, el aporte que ha realizado el ser humano a través de la agricultura cada vez es mayor, siendo esta la principal fuente antropogénica de este gas, puesto que se modifica la vegetación natural por cultivos modificando así las condiciones naturales del suelo y por lo tanto del ambiente (Tamashiro, 2019).

De acuerdo a Ecologista (2010):

El Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, atribuye al sector agrícola un 14 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero se debe tomar en cuenta la energía utilizada en la agricultura y los cambios de uso del suelo para aumentar la superficie agraria por lo que estas emisiones pueden superar el 30 % en total. (p. 8)

Según el IPCC las emisiones de GEI (sin considerar el CO<sub>2</sub>) del sector agrícola, sin incluir cambios de uso del suelo.

Para Ecologista (2010):

- Las emisiones más importantes de la agricultura son las de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), producido en los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis y/o abonos orgánicos (38 %).
- Les sigue el metano (CH<sub>4</sub>) generado en el proceso digestivo de los rumiantes (32 %) y en la descomposición de la materia orgánica en campos de arroz encharcados (12 %).
- La quema de biomasa (bosques y matorral, rastrojos, campos de caña de azúcar) emite metano y óxidos de nitrógeno en cantidades importantes (11 %).
- El estiércol y purines de la ganadería también emiten cantidades significativas de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (7 %). (p. 1)

## **7.2. El rastrojo de piña**

Para Hernández y Prado (2018) el “rastrojo de piña en campo es aquel compuesto por la totalidad de la planta de piña (raíz, tallo, hijos secundarios y hojas), una vez que se descarta y se inicia un nuevo ciclo de siembra” (p.58)

Por lo tanto, el rastrojo de piña es un compuesto orgánico que es desechado, usualmente se abandona hasta que se descomponga, lo que dura alrededor de un año para que se dé un nuevo uso al suelo, lo que lo convierte en materia contaminante para el medio ambiente, en países centroamericanos sobre todo Costa Rica se han interesado en el manejo adecuado de este residuo y aprovechamiento de esta biomasa (Corrales, 2020).

De los años 2008 al 2015, Guatemala como productor y exportador registró un incremento del 23 % en el número de quintales de piña cosechados, según Gandara (2016) “las exportaciones de piña guatemalteca alcanzaron los USD\$ 8,5 millones en el 2015, y los principales países a los que se exportó fueron EEUU (79 %), El Salvador (14 %) y Honduras (6 %)” (p.16). Sin embargo, a pesar de que Guatemala es productor de piña, no existen estudios enfocados a la reutilización de los desechos, desaprovechando el potencial energético que genera este cultivo.

## **7.3. Transformación de biomasa en energía**

De acuerdo con Cerdá (2012) la biomasa se define como:

La fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias

conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico. (p.117)

Se puede decir que la biomasa es la conversión de materia orgánica en energía, esta materia orgánica se puede agrupar en dos áreas agrícolas y forestales.

Cerdá (2012) hace la distinción de cuatro fuentes energéticas diferentes, las cuales define como:

- Biomasa sólida: es el aprovechamiento de la materia orgánica de origen vegetal o animal, esta se divide en (a) primaria, los cultivos vegetales específicos para la producción de biomasa para uso de energía. (b) secundaria, son aquellos que surgen de la poda. (2012, p.1)

Cerdá (2012) también menciona que:

- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU): son aquellos procedentes y relacionados con alimentos, pueden ser del hogar, restaurantes, distribuidoras, plantas de tratamiento y su transformación se realiza por incineración.
- Biocarburantes: hace referencia a los combustibles líquidos de origen biológico los cuales tienen características que los hacen adecuados para sustituir a la gasolina o para mezclar como aditivo.

- Biogás: es el proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos; esto sucede por medio de las bacterias que se desarrollan en ambientes sin oxígeno, en este proceso llamado digestión las bacterias producen biogás, este proceso de digestión puede ser aplicado a residuos de cosechas, agrícolas, ganaderos, cultivos energéticos, lodos, entre otros. (p. 122)

La valoración de la biomasa se realiza a través de cuatro procesos, los cuales se encargan de transformarla en energía.

### **7.3.1. Combustión**

La biomasa es expuesta a temperaturas altas con exceso de oxígeno, para que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reaccionen al oxígeno y forman dióxido de carbono y agua y liberar calor. Este método es el tradicional para obtener calor en los hogares, a nivel industrial o para generar energía eléctrica.

### **7.3.2. Gasificación**

La biomasa es sometida a altas temperaturas, al contrario de la anterior se somete a cantidades limitadas de oxígeno necesarias para una combustión completa. Dependiendo de si se utiliza aire u oxígeno, se obtienen distintos resultados. Con el aire se obtiene gas pobre con el que se puede obtener electricidad o vapor, con el oxígeno puro lo que produce gas síntesis el cual puede ser transformado en combustible puro.

### **7.3.3. Pirólisis**

La biomasa es sometida a altas temperaturas sin presencia de oxígeno. Este proceso es utilizado para producir carbón vegetal y tapara la obtención de combustibles líquidos semejantes a los hidrocarburos.

### **7.3.4. Digestión anaerobia**

Al contrario de los tres procesos anteriores, los cuales son procesos termoquímicos, este proceso es bioquímico y se realiza utilizando diferentes tipos de microorganismos que en ausencia de oxígeno degradan las moléculas a compuestos simples de alta densidad energética. La materia orgánica utilizada puede ser estiércol, residuos agrícolas, lodos de aguas residuales, residuos sólidos, entre otros.

El proceso en el que se centrará la presente investigación es en el de digestión anaerobia. Por lo tanto, ampliando la información anteriormente mencionada, se especificará el concepto y se detallarán las fases de esta.

## **7.4. Digestión anaerobia**

En términos generales es la fermentación de microorganismos en ausencia de oxígeno. La biomasa más utilizada para este proceso es aquella que posea alto contenido de humedad, como residuos de comida, de cultivos, ganaderos, lodos y aguas.

Este proceso logra una mezcla de gases en especial metano y dióxido de carbono también conocidos como biogás, también se incluyen en menores cantidades otros componentes como nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, entre otros;

La descomposición depende de la materia prima en el proceso y la cantidad de gas es variable, a pesar de que su potencial calorífico no es grande, puede llegar a sustituir el gas, haciendo uso de este para fuentes de calor y combustibles de motores (Obaya y Lorenzo, 2005).

Según González (2014) este proceso es característico debido a que cuenta con distintas etapas consecutivas para la degradación de la materia, en cada etapa se presentan poblaciones distintas de microorganismos que actúan en el proceso de degradación. En términos generales se identifican cinco poblaciones bacterianas, estas a su vez catalizan tres procesos consecutivos: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, lo que se realiza en cuatro etapas: hidrolítica, acidogénica, acetilénica y metanogénica.

#### **7.4.1. Etapa hidrolítica**

Según González (2014):

Es una degradación de los compuestos orgánicos complejos como lípidos, proteínas hidratos de carbono y compuestos inorgánicos; Estos son despolimerizados por la acción de enzimas hidrolíticas en moléculas solubles y fácilmente degradables como ácidos grasos, aminoácidos, monosacáridos y compuestos inorgánicos. Estas nuevas moléculas al ser más simples se solubilizan más fácilmente en el medio. Los microorganismos encargados de esto son las bacterias hidrolíticas-acidogénicas. (p. 25)

#### **7.4.2. Etapa acidogénica**

Según González (2014):

En esta etapa los compuestos solubles resultantes de la etapa anterior pasan a ser transformados por medio de la fermentación de microorganismos y bacterias, para dar como resultado ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono como elementos principales. En este proceso se involucran bacterias acidogénicas, entre las más comunes se encuentran, enterobacterias, estreptococos, bacteroides, entre otros. (p. 26)

#### **7.4.3. Etapa acetogénica**

Según González (2014):

En esta tercera etapa aquellos compuestos de la etapa acidogénica, serán nuevamente transformados por las bacterias acetogénicas, lo cual logra conseguir como productos hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético, siendo este último elemento producido por la transformación de alcoholes, ácidos volátiles en conjunto con hidrógeno y dióxido de carbono; algunas de las bacterias acetogénicas son *Syntrophobacterwolunii*, que descompone el ácido propiónico, o *Syntrophomonas wolfei* que descompone el ácido butírico. (p. 26)

#### **7.4.4. Etapa metanogénica**

En presencia del ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, surgen los microorganismos causantes de la metanogénesis (formación de metano). “La principal manera para la creación de metano es la acetoclastica, produciendo un

70 % de metano y sólo microorganismos de los géneros Methanosarcina y Methanothrix son capaces de producir metano a partir de acético” (González, 2014, p. 26).

## **7.5. Metano**

También conocido por su fórmula química CH<sub>4</sub>, al contrario de lo que se cree es una sustancia incolora, inodora y no polar, se encuentra en forma de gas temperatura y presión normal, se caracteriza por su persistencia en la atmósfera. Es uno de los gases que más impacto tienen en el efecto invernadero. El manejo y uso de este gas tiene un impacto sobre el calentamiento global. Si bien existen otros gases que tienen impacto, cada vez más se ha estudiado el impacto del metano, siendo que la mayoría de las emisiones de este proviene de la actividad humana.

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2022) a nivel mundial, del 50 % al 65 % del total de emisiones de metano proviene de actividades humanas, el metano se emite en actividades relacionadas con la energía, la industria, la agricultura y el manejo de residuos orgánicos.

Como parte de las acciones que se han ido realizando para la mitigación del daño ambiental, se ha estudiado el aprovechamiento de este biogás, lo que hace importante comprender sus características mismas que permitirá su reutilización desde el proceso del rastrojo de piña.

### **7.5.1. Potencial bioquímico de metano**

Es utilizado para conocer si un residuo puede ser degradado y convertirse en metano, permite medirse por medio de una prueba, el valor de

experimentación está dado como mL CH<sub>4</sub>/g SV adicionados al reactor, es decir que la capacidad de biodegradación de un sustrato está indicada por el rendimiento de metano y por el porcentaje de sólidos que se adicionan o se destruyen en la digestión anaerobia. (Sánchez-Reyes *et. al.*, 2015)

Hasta el momento no se ha definido un método estandarizado para determinarlo, existen autores que han propuesto procedimientos de ensayos para inferir las diferentes relaciones sustrato/inóculo o al modificar las condiciones ambientales.

En estudios realizados en Costa Rica el rastrojo de piña “se estima una generación de 25,7 m<sup>3</sup> de biogás por cada tonelada de rastrojo fresco con una concentración de metano de 52 %” (Arce, Hernandez y Amador, 2015, p.1).

Es por ello que se tienen antecedentes del potencial que tiene el rastrojo de piña para la creación de metano.

## **7.6. Biogás**

Para González (2014) “los biogases no son más que gases renovables, compuestos principalmente por metano y dióxido de carbono, los cuales se obtienen a través de la degradación anaeróbica de residuos orgánicos” (p.25).

### **7.6.1. Formación y usos del biogás**

Según la Organización de Estados Americanos (2011) existen una serie de utilidades que se le pueden dar al biogás como combustible, puede emplearse en la cocción de alimentos, para alumbrado, combustible de motores y su

formación puede ser por medios naturales o a través de dispositivos específicos como lo son la degradación de material orgánico en un ambiente anaeróbico.

### **7.6.2. Ventajas del uso de biogás**

Según Villasur (2022) Esto dependerá de cómo se ha obtenido el mismo, sin embargo, en términos generales se puede indicar según las siguientes ventajas:

- Al ser idéntico al gas natural fósil, facilita el transporte y uso por las redes de gas natural.
- Puede ser comprimido por el mismo proceso que el gas natural, no lleva procesos adicionales.
- Es más limpio que otros combustibles fósiles.
- Es renovable.

El uso de biogás genera un aprovechamiento energético, ya sea por medio de desgasificar un vertedero o una planta especializada de biometanización, se hace por medio de utilizar combustible para generar energía. El biogás se puede realizar por medio de biodigestores y los hay de diferentes tipos.

### **7.7. Biodigestor**

Existen diversos tipos de biodigestores, los principales son plantas de globo, plantas de domo fijo y plantas de tambor flotante, por biodigestor debe entenderse todo recipiente hermético en el cual se depositan residuos orgánicos

mezclados con agua que al descomponerse y en ausencia de oxígeno generan biogás, no se necesita una forma o material específico para su creación o funcionamiento (Salamanca, 2009).

#### **7.7.1. Plantas de globo**

Este tipo de biodigestor se compone de una bolsa en la superior la cual contiene gas, tanto la entrada como la salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Entre las ventajas que se puede encontrar es el costo bajo, la facilidad de transporte, construcción simple, temperaturas altas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Algunas de las desventajas que tiene es el corto periodo de vida, es vulnerable a ser dañado, poco potencial de autoayuda. (Salamanca, 2009).

#### **7.7.2. Plantas de domo fijo**

Son recipientes fijos e inmóviles para gas, que se colocan en la parte superior del digestor. Cuando el gas se produce la mezcla se traslada al tanque de compensación y la presión del gas aumenta esto conjunto la diferencia de altura entre el nivel de mezcla del digestor y el nivel de mezcla del tanque de compensación. Algunas de sus ventajas son costos de construcción bajos, vida útil larga, se puede hacer una construcción subterránea, lo cual ahorra espacio, lo protege y su creación genera fuentes de empleo. Una de las desventajas son los frecuentes problemas con la permeabilidad de gases.

#### **7.7.3. Plantas tambor flotante**

Este estilo de biodigestor consiste en un digestor subterráneo y un recipiente móvil para gas. Este recipiente flota sobre la mezcla de fermentación

o en agua, el gas se recolecta en el tambor que se levanta o baja de acuerdo a la cantidad de gas. Las ventajas que se pueden encontrar son que es de operación simple y fácil de comprender, se observa el volumen de gas almacenado, la presión es constante, la construcción es sencilla. Las desventajas son los altos costos en el tambor, susceptibilidad a la corrosión y costos fijos de mantenimiento.

#### **7.7.4. Criterios de diseño de un biodigestor**

Definido por el diseño de la planta en función de las variables del proceso, ambientales y de utilización del sistema.

#### **7.8. Parte y funciones del biodigestor**

Según Aquae (2021) se compone de cinco partes que intervienen en un proceso, que pueden incluso realizarse a niveles caseros, estos son los siguientes:

- Cámara de carga. Se trata de un pequeño depósito donde se coloca la materia orgánica que alimenta el reactor.
- Reactor. Es el digestor propiamente dicho, un tanque alargado que se sitúa bajo tierra; Allí es donde se descomponen los desechos, conectado a las cámaras de carga y de descarga por dos extremos diferentes.
- Cámara de descarga. Colocada a menor altura que la cámara de carga, recibe los residuos provenientes del reactor, los cuales pueden utilizarse como abono y acondicionador del suelo.

- Cubierta de plástico. Se coloca por encima del reactor y cumple dos funciones; impedir la entrada de aire al interior y evitar la fuga del gas producido.
- Tubería. Conduce el gas que se produce en el reactor; Cuenta con una válvula de seguridad que impide que la presión al interior de la cubierta plástica rebase los niveles permitidos; este dispositivo también expulsa el agua que se condensa en la tubería.
- Llave de paso. Regula la salida del gas.

Dependiendo de la temperatura así será el tiempo que requieran las bacterias para la digestión. En promedio para 30 grados se necesitan diez días, para 20 grados 5 días. El tamaño de la cámara varía de acuerdo con el clima del lugar. (p.1)

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Influencia de las actividades productivas en el cambio climático
  - 1.1.1. Gases de efecto invernadero y producción agrícola
  - 1.1.2. Agricultura como factor que contribuye considerablemente al cambio climático.
- 1.2. El rastrojo de piña
- 1.3. Transformación de biomasa en energía
  - 1.3.1. Combustión
  - 1.3.2. Gasificación
  - 1.3.3. Pirólisis
  - 1.3.4. Digestión anaerobia.
- 1.4. Digestión anaerobia
  - 1.4.1. Etapa hidrolítica
  - 1.4.2. Etapa acidogénica

- 1.4.3. Etapa acetogénica
    - 1.4.4. Etapa metanogénica
  - 1.5. Metano
    - 1.5.1. Potencial bioquímico de metano
  - 1.6. Biogás
    - 1.6.1. Formación y usos del biogás
    - 1.6.2. Ventajas del uso de biogás
  - 1.7. Biodigestor
    - 1.7.1. Plantas de globo
    - 1.7.2. Plantas de domo fijo
    - 1.7.3. Plantas tambor flotante
    - 1.7.4. Criterios de diseño de un biodigestor
  - 1.8. Cómo funciona un biodigestor
- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
  - 2.1. Características del estudio
    - 2.1.1. Diseño
    - 2.1.2. Enfoque
    - 2.1.3. Alcance
    - 2.1.4. Unidad de análisis
  - 2.2. Variables
  - 2.3. Fases del desarrollo de la investigación
    - 1.3.1. Fase 1
    - 1.3.2. Fase 2
    - 2.3.3. Fase 3
    - 2.3.4. Fase 4
  - 2.4. Técnicas de análisis de información
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Diseño**

Dado que el objetivo de dicho estudio será determinar el potencial energético que posee la finca piñera en producir biogás a partir del rastrojo de piña se va a recurrir a un diseño no experimental el cual será aplicado de manera transversal, considerando que existe un sustento teórico suficiente en dicho tema, se procederá a realizar una investigación de tipo descriptivo para conocer a detalle el potencial energético del rastrojo de piña en la generación de biogás

### **9.2. Tipo de estudio**

El presente trabajo será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo puesto que es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

El enfoque cuantitativo que representa, como dijimos, un conjunto de procesos es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos. El orden es riguroso por lo anterior se considera como la mejor opción.

“De igual forma este método utiliza la recolección y análisis de datos para contestar preguntas de investigación y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de la estadística” (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p.5).

### **9.3. Fases**

La metodología por utilizar se dividirá en 4 fases generales en las cuales se podrá llegar a los resultados esperados a través de los diferentes pasos planteados.

#### **9.3.1. Fase 1. Exploración bibliográfica**

En esta primera fase se revisará toda la bibliografía pertinente para la explicación del tema de estudio y todos sus componentes. Así como también se utilizará una guía para poder definir metodológicamente cual es el proceso más adecuado para la realización de dicho trabajo.

Con la información generada y recopilada se formará la base para la explicación del proceso de generación de biogás a partir del rastrojo de piña por medio de la descomposición anaeróbica en un biodigestor cerrado.

#### **9.3.2. Fase 2. Recolección de datos y casos**

- Montaje y replicación del sistema a nivel laboratorio bajo las condiciones ambientales de Guatemala.
- Verificación de variables de interés en el estudio.
- Rendimiento bajo las condiciones ambientales de Guatemala.
- Estudio beneficio- costo de un modelo semi comercial del sistema armado en laboratorio.

- Cálculo de residuos del rastrojo de piña en la finca productora de piña.
- Estudio de viabilidad técnica del proyecto.

### **9.3.3. Fase 3. Análisis de datos**

Con los datos obtenidos en la fase anterior se procederá a realizar comparaciones estadísticas de rendimientos en términos de potencial energético de diferentes cultivos utilizados bajo la misma técnica.

Los rendimientos que se obtengan se analizarán bajo las condiciones ambientales de Guatemala, para poder realizar una comparación real y sustentable.

#### **9.3.3.1. Cálculo de tiempo de descomposición de biomasa**

Se calculará el tiempo que la biomasa tarde para comenzar a generar biogás en el biodigestor en la técnica utilizada que en este caso será la digestión anaeróbica.

Para esto se deberá generar las condiciones adecuadas que oscilan entre los siguientes parámetros.

- Nutrientes suficientes
- pH entre 6.5 y 7.6
- Temperatura mesófila (30 a 38 °C) o termófila (50 - 60 °C)
- Ausencia de oxígeno
- Ausencia de sustancias tóxicas

El tiempo promedio de generación podría variar entre 2 y 3 meses, aunque se tiene información de que el tiempo de retención mínimo es entre 15 y 20 días.

### 9.3.3.2. Medición de nivel metano en el digestor

El nivel de metano o la cuantificación de la concentración de CH<sub>4</sub> se medirá a partir del principal método que existe el cual es el análisis cromatográfico. Para este método se tomará una muestra del biogás y medir el porcentaje de concentración de metano y dióxido de carbono en procesos de laboratorio.

El biogás contiene aproximadamente un 60 % de metano y 40 % de dióxido de carbono, valor de referencia al cual se tendrá en cuenta al momento de realizar las mediciones y comparaciones en el proceso.

Para realizar esta medición se tomarán datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenará la siguiente tabla para documentar los resultados.

Tabla I. **Porcentaje de metano**

Fecha	Metano			Tipo de análisis (1= lectura de sensor, 2= cromatografía)
	%	Temp.	Día	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### **9.3.3.3. Usos de biomasa residual**

La biomasa que en el proceso no sea capaz de descomponerse y generar biogás se podrá utilizar en como abono para la fertilización de suelos, así como en alimentación animal este último aspecto aún se encuentra en vías de investigación.

### **9.3.3.4. Biogás obtenido**

El biogás obtenido en los biodigestores deberá contener de 60 a 80 % de metano y su poder calorífico deberá ser de aproximadamente 6 kWh/m<sup>3</sup> (800 BTU/pe<sup>3</sup>) por lo que esto permitirá emplear con propósitos de generación de energía.

### **9.3.4. Fase 4. Propuesta de métodos y usos**

En esta fase se pretende enumerar todos los posibles usos del biogás obtenido durante el proceso, para que de esta forma cualquier finca piñera o industria pueda replicarlo. Algunos de los usos generales pueden llegar a ser:

- En iluminación
- Medio de calentamiento para cocción de alimentos
- Como combustible para una caldera
- Para calentar un espacio
- En equipos de refrigeración.

### 9.3.5. Definición operacional de variables

- Peso de la biomasa ( $W_{Biomasa}$ ) a utilizar en Kilogramos (Kg) a través de una balanza.
- Porciones de agua a utilizar: 1/1 o 2/1 según la biomasa a utilizar.
- Biogás la medición se realiza por medio de un sistema vortex y el registro y transmisión de datos por medio de una señal de 4-20 mA.
- Porcentaje de metano en el biogás: porcentaje de CH<sub>4</sub> en el biogás producido a través de sensores o análisis cromatográfico.
- Peso de la biomasa aprovechada en kilogramo (Kg) en una balanza.
- Peso de la biomasa sobrante del proceso en kilogramo (Kg) en una balanza.

### 9.3.6. Definición teórica de variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

- Biomasa: cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.
- Potencial energético: es la capacidad que tiene un cultivo o biomasa en convertirse en energía

- Biogás: gas producido por la descomposición de materia orgánica.
- Viabilidad técnica: hace referencia a aquello que atiende a las características tecnológicas y naturales involucradas en un proyecto.
- Rastrojo de piña: es aquel compuesto por la totalidad de la planta de piña (raíz, tallo, hijos secundarios y hojas), una vez que se descarta y se inicia un nuevo ciclo de siembra.
- Desecho orgánico: son el conjunto de desechos biológicos óseo material orgánico producidos por los seres humanos, ganado y otros seres vivos.



## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

Para el desarrollo del análisis de información respectiva se utilizarán las siguientes herramientas de recolección de datos y se analizarán con las siguientes herramientas de estadística descriptiva:

### **10.1. Herramientas de recolección de la información**

- Tabla de pesos de biomasa
- Tabla de porcentajes de metano en el biodigestor
- Tabla de tiempos de descomposición del rastrojo
- Tablas de resultados del nivel de aceptación de la evaluación sensorial.

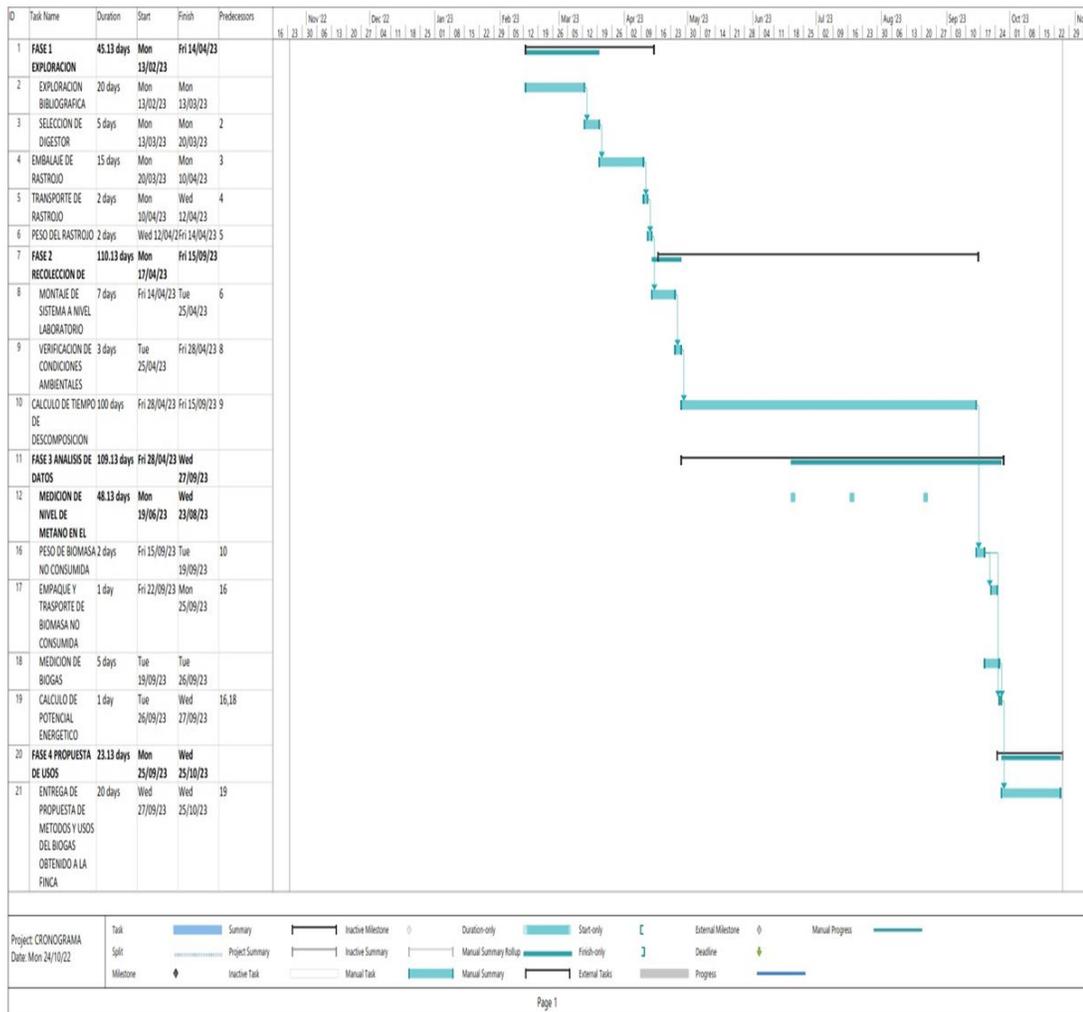
### **10.2. Herramientas de estadística descriptiva**

En este estudio se utilizará el Programa R, que nos permitirá realizar el estudio de las diferentes variables, análisis de distribución de los datos que se recolectan de las distintas variables y además facilitará la elaboración de gráficas de los datos de las variables a evaluar.



# 11. CRONOGRAMA

Tabla II. Cronograma



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría, siendo dicho trabajo cuantitativo-descriptivo; se ha estimado que se necesitaran los siguientes recursos.

Tabla III. **Recursos necesarios para la investigación.**

<b>Tabla de recursos</b>			
<b>Recurso</b>	<b>Costo</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Total</b>
<b>Humano</b>			
Asesor encargado MSc. José Humberto Calderon Zeledon	Q. 0.00	Q. 0.00	Q. 0.00
Estudiante de maestría Victor Humberto Calderon Zeledon	Q. 0.00	Q. 0.00	
<b>Material</b>			
Escritorio de melamina blanca	Q. 300.00	Q. 300.00	Q. 6,200.00
Silla ejecutiva	Q. 1,000.00	Q. 1,000.00	
Rastrojo de piña	Q. 0.00	Q. 0.00	
Contenedores	Q. 400.00	Q. 400.00	
Digestor anaerobio (escala laboratorio)	Q. 4,500.00	Q. 4,500.00	
Laboratorio	Q. 0.00	Q. 0.00	
<b>Tecnológico</b>			
Lenovo Ideapad 5	Q. 4,600.00	Q. 4,600.00	Q. 8,750.00
Celular Xiaomi 11T	Q. 4,000.00	Q. 4,000.00	
Modem de internet	Q. 150.00	Q. 150.00	

Continuación tabla II.

<b>Financiero</b>			
Pago de internet	Q. 250.00	Q. 250.00	Q. 3,150.00
Pago de plan celular	Q. 350.00	Q. 350.00	
Pago de licencia Office	Q. 500.00	Q. 500.00	
Pago análisis en laboratorio	Q. 1,500.00	Q. 1,500.00	
Gasolina	Q. 350.00	Q.350.00	
Alimentación (cuando sea necesario)	Q. 200.00	Q. 200.00	
<b>Total, del presupuesto</b>		<b>Q. 18,100.00</b>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación se considera que es factible la realización del estudio.

### 13. REFERENCIAS

1. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (14 de junio, 2022). Emisiones de metano. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-metano>.
2. Alfaro, G., Bardales, W., Basterrechea, M., y Batzin, R. (2019). *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria UVG. Recuperado de [https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/04/Resumen-ReporteCC\\_2019-04-09.pdf](https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/04/Resumen-ReporteCC_2019-04-09.pdf).
3. Aquae. (11 de marzo, 2021). Descubre todos los detalles acerca del biodigestor. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/biodigestor/>.
4. Arce, A., Hernandez, C., y Amador, R. (2015). *Programa biogas. Determinación de la cantidad y composición de biogás a partir de rastrojo de la piña (Ananas comosus) por medio de un sistema continuo a escala laboratorio*. Costa Rica: Grupo ICE. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/bd310837-a437-491a-8b74-b98053902d2c/20150309EnsayorastrojodepinNa.pdf?MOD=AJPERES&CVID=I0.sz0M#:~:text=Los%20resultados%20obtenidos%20muestran%20una,concentraci%C3%B3n%20de%20metano%20de%2052%25>.

5. Arcenillas, J. (11 de mayo, 2021). La agricultura y el cambio climático. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/la-agricultura-y-el-cambio-climatico#:~:text=La%20agricultura%20contribuye%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico,-Antes%20de%20llegar&text=La%20agricultura%20en%20particular%20libera,se%20libera%20por%2>.
6. Banco Mundial. (12 de febrero, 2020). *Agricultura, valor agregado (% del PIB)*. – Guatemala: Autor. Recuperado de [https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?name\\_desc=true&locations=GT](https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?name_desc=true&locations=GT).
7. Cerdá, E. (julio, 2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE*, 1(83), 117-140. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Emilio-Cerda/publication/277264682\\_Energia\\_obtenida\\_a\\_partir\\_de\\_biomasa/links/5a699bf0a6fdccf8849594f8/Energia-obtenida-a-partir-de-biomasa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Emilio-Cerda/publication/277264682_Energia_obtenida_a_partir_de_biomasa/links/5a699bf0a6fdccf8849594f8/Energia-obtenida-a-partir-de-biomasa.pdf).
8. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Chile: Autor. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/4/S1420656\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/4/S1420656_es.pdf).

9. Corona, I. (2017). *Biodigestores* (Tesis de licenciatura). Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, México. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>.
10. Corrales, J. (21 de marzo, 2020). Manejo de la biomasa del cultivo de piña. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/manejo-biomasa-cultivo-pina-t45054.htm>.
11. Ecologista. (mayo, 2010). Agricultura y cambio climático. *Ecologistas en acción*, 1(67), 1-2. Recuperado de <https://www.ecologistasenaccion.org/19945/agricultura-y-cambio-climatico/>.
12. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2012). *Cambio climático en Guatemala. Efectos y consecuencias en la niñez y adolescencia*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.unicef.org/guatemala/media/1391/file/Cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20Guatemala.pdf>.
13. Gandara, N. (8 de agosto, 2016). Las cifras de la piña que demuestran un importante crecimiento. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/economia/produccion-de-pia-gana-mas-terreno/>.
14. González, A. (2014). *Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia*

(Tesis de maestría). Universidad de Sevilla, España. Recuperado de <https://idus.us.es/handle/11441/27048>.

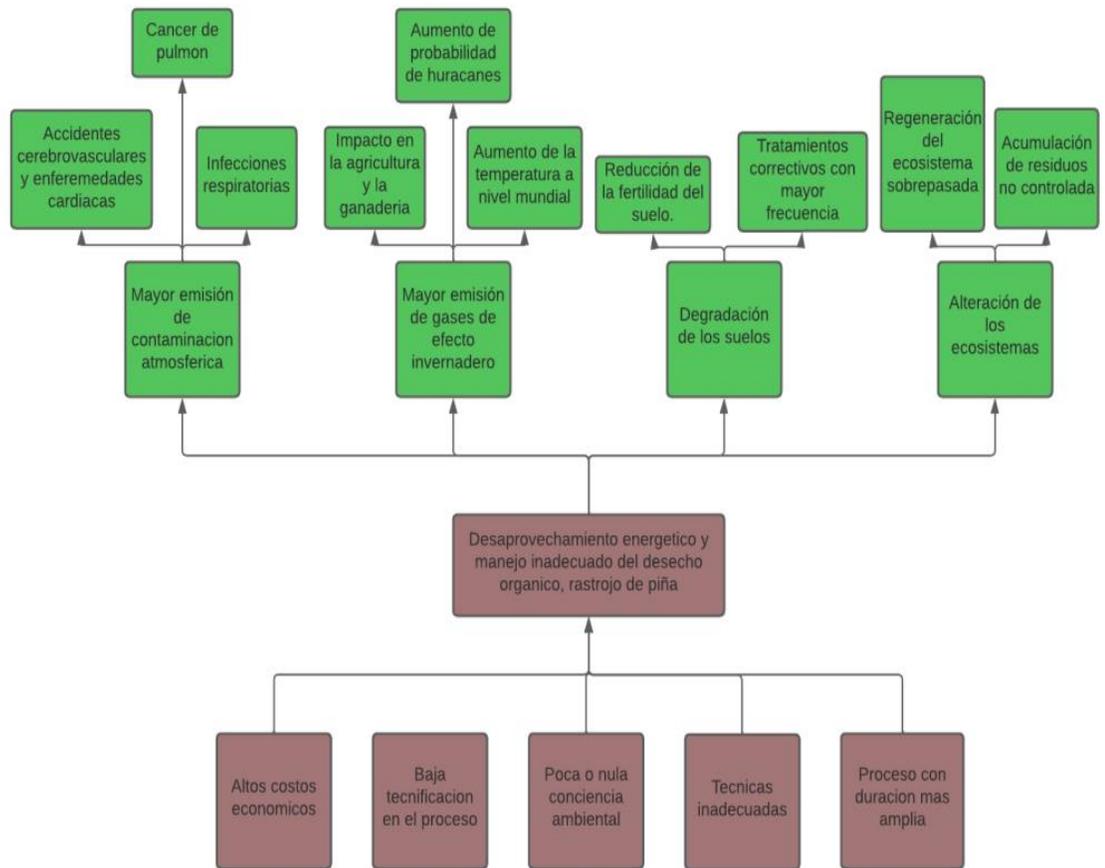
15. Hernández R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2003). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
16. Hernandez, R., y Prado, L. (marzo, 2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Cuadernos de investigación UNED*, 10 (2), 455-468. Recuperado de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-42662018000200455#:~:text=A%20partir%20de%20las%20visitas,un%20nuevo%20ciclo%20de%20siembra](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662018000200455#:~:text=A%20partir%20de%20las%20visitas,un%20nuevo%20ciclo%20de%20siembra).
17. Ngumah, C. (marzo, 2013). Biogas potential of organic waste in Nigeria. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(1), 110-116.
18. Obaya, M., y Lorenzo, Y. (febrero, 2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Cuba*, 39 (1), 35-48.
19. Organización de los Estados Americanos. (2011). *Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo)*. Estados Unidos: Autor.
20. Sánchez-Herrera, D. (marzo, 2017). Potencial del uso del rastrojo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) Para producción de biogás. *Agro productividad*, 10(11), 112-116. Recuperado de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/54>.

21. Sánchez-Reyes, C., Patiño-iglesias, M., y Alcatara- Flores, J. (marzo, 2015). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental - UNAM*, 32(2) 191-198.
22. Tamashiro, S. (2 de diciembre,2019). Registran cuánto gas de efecto invernadero emiten los cultivos agrícolas. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/registran-cuanto-gas-de-efecto-invernadero-emiten-los-cultivos-agricolas/>.
23. Villasur, S. (26 de septiembre, 2022). Energía de biogás: ventajas y desventajas de tenerla. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://energia.roams.es/energia-renovable/biogas/ventajas/>.



## 14. APENDICES

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

Planteamiento	Objetivos	Variables	Instrumentos
<p>Pregunta general</p> <p>¿Cuál es el potencial energético del rastrojo de piña para la producción de biogás en una finca del municipio de Villa Canales, Guatemala?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar el potencial energético del rastrojo de piña para la producción de biogás en una finca del municipio de Villa Canales, Guatemala. relacionarla con la pregunta principal.</p>	<p>Volumen de rastrojo de piña. (Kg)</p> <p>Tiempo de descomposición de rastrojo de piña. (s)</p> <p>Volumen no aprovechable de rastrojo de piña. (kg)</p> <p>Biogás obtenido del rastrojo de piña. (Nm3)</p>	<p>Peso de contenedor del rastrojo de piña por medio de pesa industrial.</p> <p>Obtención de biogás a partir de biodigestores por medio de la digestión anaeróbica.</p> <p>Peso de recurso energético no aprovechable en el contenedor del biodigestor por medio de pesa industrial.</p>
<p>Preguntas específicas</p> <p>¿Cuál es la cantidad de desechos que se pueden aprovechar en la producción de biogás a partir del rastrojo de piña?</p> <p>¿Qué tipo de tecnología se requiere para la producción de biogás a partir del rastrojo de piña?</p> <p>¿Cuál es viabilidad técnica de aprovechamiento del biogás como fuente energética en los procesos de producción piñera?</p>	<p>Objetivo específico</p> <p>Cuantificar la cantidad de desechos que se pueden aprovechar en la producción de biogás a partir del rastrojo de piña.</p> <p>Implementar la tecnología seleccionada que se requiere en el proceso para poder generar el biogás a partir del rastrojo de piña.</p> <p>Evaluar la viabilidad técnica del aprovechamiento energético del biogás producido a partir del rastrojo de piña en la finca.</p>	<p>Eficiencia del rastrojo de piña para la producción de biogás.</p> <p>Tiempo de obtención del biogás.</p> <p>Porcentaje del recurso energético en la biomasa.</p> <p>•Porcentaje de metano en el biogás.</p>	<p>Medición del biogás por medio de válvula vortex instalada en el digestor.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.