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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

Alfonso Vanderlei Xicará Sum
Asesorado por el Mtro. Ing. Edinson Hernández Barillas

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALFONSO VANDERLEI XICARÁ SUM
ASESORADO POR EL MAESTRO ING. EDINSON HERNÁNDEZ BARILLAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO 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 Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 21 de abril 2023.

Alfonso Vanderlei Xicará Sum

EEPFI-PP-0375-2023
Guatemala, 21 de abril de 2023

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

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 INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO**, 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 **Alfonso Vanderlei Xicará Sum** carné número **201130114**, 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. Edinson Hernández Barillas
Asesor(a)

Edinson Hernández Barillas
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 19,646

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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIME-0374-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica 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 INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Alfonso Vanderlei Xicará Sum**, 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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCION ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2023

Decanato
Facultad e Ingeniería
24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.8.2023

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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO**, presentado por: **Alfonso Vanderlei Xicara Sum** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado digitalmente por AURELIA ANABELA CORDOVA ESTRADA Fecha: 30/05/2023 10:25:19 p.m. Razón: Orden de impresión Ubicación: Facultad de Ingeniería, USAC.

Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
Decana

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, mayo de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 8 CUI: 2462923260901

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su bondad, amor, misericordia infinita y por todas las bendiciones que en mi vida pone.
Mis padres	Pedro Xicará y Norma Sum, por el amor y apoyo incondicional que siempre me brindan y me impulsan a lograr todos los objetivos que pueda proponerme en la vida.
Mis hermanos	Evelyn y Marlon Xicará, por su apoyo y compañía incondicional en cada etapa de mi vida.
Mi abuela	Julia Santiago (q. e. p. d.) por darme ejemplo de compromiso, valentía, perseverancia y temor de Dios.
Mi novia	Melani Guzmán, quien a diario me comprende, me inspira, y me anima a seguir esforzándome para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios donde he podido adquirir conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por la formación integral que me ha proporcionado.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por abrirme las puertas a más conocimiento con su programa de estudios. .
Hidroeléctrica Santa María	Por brindarme la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Mis amigos	Todos y cada uno de los que Dios ha puesto a lo largo de mi vida, y que han sido gran apoyo en cada etapa.
Mi asesor	M A. Ing. Edinson Hernández Barillas, por guiarme durante el trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS VII
GLOSARIO IX
RESUMEN XIII

1. INTRODUCCIÓN 1

2. ANTECEDENTES 5

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7

4. JUSTIFICACIÓN 11

5. OBJETIVOS 13
   5.1. General 13
   5.2. Específicos 13

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN 15

7. HIPOTESIS 19

8. MARCO TEÓRICO 21
   8.1. Biogás 21
      8.1.1. Aprovechamiento energético 21
      8.1.2. Usos del biogás 22

8.1.3. Ventajas de la utilización 23
8.1.4. Limitaciones del biogás 24
8.2. Medio ambiente 24
8.2.1. Aguas residuales 25
8.3. Formación del biogás 26
8.3.1. Biodigestión anaeróbica 26
8.3.2. Fase de hidrólisis 27
8.3.3. Fase de acidificación 28
8.3.4. Fase acetogénica 29
8.3.5. Fase metanogénica 29
8.3.6. Propiedades del Biogás 29
8.4. Factores con influencia en la digestión anaerobia 31
8.4.1. Composición bioquímica de la materia prima 31
8.4.2. Temperatura 31
8.4.3. Nivel de pH 32
8.4.4. Nutrientes 33
8.4.5. Toxicidad 33
8.4.6. Tiempo de retención hidráulico 34
8.4.7. Agitación 35
8.5. Biodigestor 35
8.5.1. Reactor 36
8.5.2. Tipos de biodigestor 36

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS 39

10. MARCO METODOLÓGICO 43
10.1. Tipo de estudio 43
10.2. Diseño de investigación 43
10.3. Alcance 43

10.4. Unidad de análisis 44
10.5. Variable 44
10.6. Fases de estudio 46
10.6.1. Fase 1: investigación preliminar 46
10.6.2. Fase 2: diseño de investigación 46
10.6.2.1. Carga orgánica volumétrica..... 47
10.6.2.2. Productividad de metano..... 49
10.6.3. Fase 3: Parte experimental 50
10.6.3.1. Los materiales y su descripción: 50
10.6.4. Fase 4: Presentación de resultados 53

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN 55

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 57

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO 59

14. REFERENCIAS.....61

15. APÉNDICES 65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Esquema de solución 17
Figura 2. Diagrama sobre los usos del biogás 22
Figura 3. Etapas de la de digestión anaerobia 27
Figura 4. Diagrama de biodigestor discontinuo o tipo batch.....37
Figura 5. Tanque de plástico 52
Figura 6. Accesorios para Biodigestor 53
Figura 7. Cronograma de actividades 57

TABLAS

Tabla 1. Compuestos típicos de biogás 30
Tabla 2. Temperaturas y tiempos de fermentación anaerobia 32
Tabla 3. Variables e indicadores 44
Tabla 4. Información para la validación del método 47
Tabla 5. Recurso humano 59
Tabla 6. Recursos materiales 59
Tabla 7. Presupuesto 60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda biológica de Oxigeno
DQO	Demanda química de Oxígeno
CO2	Dióxido de carbono
°C	Grados Celsius
kg	Kilogramo
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
kW/h	Kilo vatio-hora
L	Litro
CH_4	Metano
mg	Miligramo
%	Porcentaje
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
SS	Sólidos suspendidos
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles
V	Volumen

GLOSARIO

Anaerobio	Medio que no utiliza oxígeno en su metabolismo.
BA	Biodigestión anaerobia.
Biogás	Es el nombre con que se le conoce al gas resultante de la descomposición de la biomasa.
Biol	Abono orgánico resultante de la biometanización anaerobia.
Biomasa	Materia de origen biológico.
Biometanización	Producción de metano a partir de materia de origen biológico.
Carbono orgánico	Es la cantidad de carbono de una variedad de compuestos orgánicos, descompuesta en una simple molécula que puede ser medida cuantitativamente
Demanda química	Describe la cantidad de oxígeno que se necesita para de oxígeno oxidar completamente la materia orgánica en los desechos y se determina experimentalmente al medir la cantidad de agente oxidante necesario para oxidar completamente una muestra del desecho

Desecho	Residuo que se considera inútil y se dispone en un basurero.
Desecho orgánico	Desecho de origen vegetal o animal.
Doméstico	Relacionado con el hogar.
Efectividad	Capacidad para lograr los máximos resultados de calidad con el mínimo agotamiento del recurso humano y técnico, utilizando la comunicación efectiva, la motivación y participación conjunta de sus colaboradores.
Energía	Capacidad de realizar un trabajo.
Equilibrio simbiótico	Interacción conjunta que ocurre cuando dos organismos se benefician uno del otro a tal punto que llegan a depender uno del otro para su supervivencia.
Gestión de recursos	Capacidad para optimizar y rentabilizar los recursos humanos, técnicos y económicos de que dispone, con el objetivo de mejorar los procesos, procedimientos y métodos de trabajo y contribuir a la eficacia y agilidad de los sistemas de gestión.

Proceso	La realización del servicio y los sistemas de operación, es decir, los procedimientos, los mecanismos y el flujo de actividades necesarias para la prestación del servicio. Cada uno de los pasos de la prestación y flujo de actividades para el servicio que experimenta el cliente, proporcionará evidencias para juzgar el servicio
pH	Es la relación del contenido de iones libres en solución y representa el grado de acidez o alcalinidad del agua residual.
Sustrato	Materias orgánicas que da origen al biogás.

RESUMEN

La presente investigación busca determinar el potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango, a fin de ofrecer una alternativa que permita tratar, gestionar y aprovechar mencionados residuos mediante el proceso de producción de biogás, y con ello contribuir con la reducción de la contaminación que provocan las áreas donde se acumulan los residuos orgánicos que se generan por consumo doméstico, así como los que contiene el agua que llega al embalse de la Hidroeléctrica Santa María.

Lo anterior se pretende lograr a través de la clasificación y cuantificación de los residuos orgánicos que se pueden recolectar en las diversas áreas que conforman la Planta Hidroeléctrica Santa María, incluyendo el embalse, subestación, oficinas administrativas, escuela y casa de máquinas.

Los residuos recolectados serán caracterizados y cuantificados, para luego mezclarlos y formar un sustrato que será sometido a tratamiento a través de un biodigestor, el cual será implementado dentro de las instalaciones de la Planta Hidroeléctrica Santa María. Con los resultados obtenidos mediante el biodigestor se podrá determinar el potencial de producción de biogás, el tiempo de digestión requerido en las condiciones ambientales locales, así mismo se podrá estimar el beneficio ambiental que se puede obtener a través del tratamiento y gestión de los residuos orgánicos mediante la digestión anaerobia y se evaluará los posibles usos energéticos con que se podría aprovechar el biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María.

1. INTRODUCCIÓN

La acumulación de residuos orgánicos es un problema provocado por diversas causas, entre ellas está la poca iniciativa de promover alternativas que permitan el manejo, tratamiento y aprovechamiento de estos mismos residuos, a fin contribuir con la mitigación de la contaminación del medio ambiente, la emisión de gases de efecto invernadero y el riesgo a propagación de enfermedades.

Por lo tanto, se contempla dar solución a la problemática expuesta, mediante la evaluación del uso de la digestión anaerobia para dar una alternativa de manejo y aprovechamiento a los residuos orgánicos, permitiendo obtener una fuente de energía en forma de biogás, además de poder obtener un producto rico en nutrientes que puede ser útil como fertilizante, y de esta manera contribuir con la reducción de la contaminación de las áreas donde se depositan y acumulan los residuos orgánicos que se pueden recolectar en las distintas áreas que conforman la Planta Hidroeléctrica Santa María, incluyendo subestación, oficinas administrativas, escuela y casa de máquinas, así como los residuos orgánicos que contiene el agua que llega al embalse de la Hidroeléctrica Santa María.

A través de la presente investigación se busca determinar el potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos que se pueden recolectar en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango. Con un enfoque en la caracterización y cuantificación de los residuos recolectados para obtener un informe de la composición del sustrato que se utilizará y con ello poder determinar la cantidad de biogás que se podrá producir y su contenido de gas metano. También, con este estudio se determinará el potencial de producción y acumulación de residuos útiles en la producción de

biogás, a través de proyecciones estadísticas basadas en el estudio de periodos semanales de recolección de residuos, en los diferentes puntos de acumulación de basura.

La metodología del trabajo de campo se realizará mediante un biodigestor tipo Bach, que se implementará dentro de las instalaciones de la Planta hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango. A través de la caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos que se pueden recolectar en cada sector, se pueden determinar los kilogramos de residuos orgánicos producidos y captados en las diferentes áreas que conforman las instalaciones de la Planta Hidroeléctrica Santa María, los cuales se utilizarán como sustrato en combinación con el agua que es captada en el embalse de la Planta Hidroeléctrica Santa María.

Mediante el análisis de los resultados y las ecuaciones, se determinará la carga volumétrica de la mezcla de sustrato orgánico cargada en el digestor, la tasa de producción de metano, que es un parámetro que mide la cantidad de metano producido en una unidad de tiempo en relación con el material colocado en el reactor. Las muestras de biogás obtenidas del proceso de digestión serán analizadas por cromatografía de gases para determinar los porcentajes de metano (CH4), dióxido de carbono (CO2), oxígeno (O2) y nitrógeno (N2). Así mismo de manera experimental, mediante un detector electrónico de metano, se determinará el contenido de este gas presente en el biogás.

En el capítulo uno se presentará las bases teóricas sobre biogás, su formación y utilización, sus propiedades, las fases de fermentación anaeróbica, factores ambientales y los biodigestores.

En el capítulo dos se desarrollarán los métodos y técnicas, el tipo de estudio, las variables, el muestreo; se efectuará la parte experimental para determinar la producción de biogás, la carga orgánica volumétrica y la productividad de metano.

En el capítulo tres se hará un análisis de los resultados obtenidos con el Biodigestor y con ellos se determinará el potencial de biogás de los residuos orgánicos recolectados, así mismo la cantidad de metano presente en el biogás producido, el posible uso que se podría dar al biogás producido, de la misma manera se discutirá sobre la estimación del beneficio ambiental.

En el capítulo cuatro se presentarán las conclusiones obtenidas de la investigación y recomendaciones pertinentes para la continuidad de esta.

2. ANTECEDENTES

En el artículo científico de Sarabia et al., (2017) con el nombre: Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales, se destaca la importancia de aguas residuales aplicables para la obtención de biogás, ya que produce un porcentaje de 64 % de metano, pero que también logra menor producción de H2S, logrando ser menos contaminante al ambiente.

Expone Aguilera (2017), la importancia de sustituir los combustibles fósiles por recursos provenientes de fuentes renovables, refiriendo la utilización de biogás como combustible para calefacción, para el uso en cocinas y para la generación de electricidad. También brinda un panorama de diferentes tipos de sustratos que pueden ser fuentes de oportunidad en la obtención de biogás, siempre acompañado de un desarrollo tecnológico.

Muestra la importancia de los biodigestores Taipe (2019), en la producción de biogás y biol, la cual se ve reflejada en su tesis de maestría, ya que allí presenta una investigación de orientación tecnológica y de aplicación, en la cual se muestran diferentes tipos de biodigestores para lograr un diseño de biodigestor prototipo, de donde logró obtener, mediante un muro trombe y la utilización de un invernadero, mantener la temperatura entre 25 y 26.6 °C. Así mismo, se “evaluó la producción de biogás del biodigestor, siendo el tiempo de retención de 28 días, y la producción estimada de biogás fue de 315.6 l/día, que se traduce en 2 horas 40 minutos de uso en una cocina doméstica”. (Taipe, 2019, p. 66).

En su artículo científico Coello et al., (2021), expone un estudio para la generación de biogás, el cual conlleva el uso de biomasa residual proveniente de desperdicios de comida de 198 hogares, dichos residuos llegan a los vertederos y pueden ser aprovechados. Aquí se analiza el potencial mediante el poder calorífico de los residuos.

Indican que Vergara y Velásquez (2022), los proyectos de biogás pueden ser útiles para la generación de electricidad, pero es necesario considerar que tienen tiempo de recuperación a largo plazo (mayor a 5 años) de manera que no la inversión que se realice no se justifica a corto plazo. También se recomienda realizar análisis periódicos de tipo fisicoquímico al agua y mantenimiento a los equipos electrógenos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la FAO (Food and Agriculture Organization), la agricultura, la ganadería y la deforestación generan la tercera parte de los gases de efecto invernadero a nivel mundial. Gran parte de esas emisiones se deriva de la fermentación de los residuos orgánicos.

Con la falta de alternativas del manejo de los residuos orgánicos, la falta de educación ambiental y el bajo nivel de exigencia en el cumplimiento leyes que promocionen el control y manejo de desechos, así como también la poca o nula búsqueda de alternativas energéticas, como la biomasa, y por el contrario el incremento de la acumulación de desechos provenientes de las distintas zonas domiciliares y comerciales, se hace evidente que el problema de contaminación del agua de los ríos no tiene control en Guatemala.

En el trayecto del río Samalá se ubica la Planta Hidroeléctrica Santa María, la cual, a través de su embalse, capta y aprovecha el recurso hídrico que proporciona mencionado río, para ser utilizado en el proceso de generación de electricidad por medio de turbinas hidráulicas. En el cauce del río Samalá de la región de sur Occidente de Guatemala, del municipio de Zunil, del departamento de Quetzaltenango, desembocan aguas residuales que a lo largo del trayecto del río suelen mezclarse con residuos orgánicos que son desechados por la población. Residuos que no han contado con ningún tipo de manejo y clasificación, y que representan un recurso que podría ser rentable al ser aprovechado como una alternativa de tratamiento de residuos orgánicos, así mismo como una fuente de energía renovable, esto al someterse a procesos de

tratamiento que permitan aprovechar esos residuos para poder ser convertidos en una fuente de energía renovable.

En las distintas áreas que conforman las instalaciones de Planta Hidroeléctrica Santa María, existe un bajo nivel de aprovechamiento de los residuos orgánicos que se pueden recolectar en los basureros y a través del agua captada en la presa de la Planta Hidroeléctrica Santa María.

Es evidente que no existe un aprovechamiento de los residuos orgánicos en la zona esto se debe al bajo nivel de conocimiento sobre las tecnologías que se pueden aplicar para sacar provecho de los residuos mencionados.

Uno de los principales efectos que genera la acumulación de desechos orgánicos es la propagación de enfermedades debido a que las zonas afectadas donde se acumulan residuos orgánicos, como basura, aguas del río, que contiene residuos orgánicos son una fuente de contaminación ambiental, dado que la basura suele recolectarse y desecharse en basureros donde no se tiene ningún tipo de control de clasificación de los residuos y desechos. Así mismo la natural contaminación que el agua del río recibe a causa de los residuos que desembocan en él.

La contaminación ambiental en zonas urbanas y rurales es provocada por la poca iniciativa de buscar alternativas y el desconocimiento del potencial energético que existe en los residuos orgánicos, esto se debe a que no se cuentan con estudios que demuestren el potencial que se está desperdiciando al no tratar los residuos orgánicos y reutilizarlos en temas de producción de biogás, por ello en la presente investigación se plantea como pregunta principal

¿Cuál es el potencial de producción de biogás obtenido a partir de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María en Quetzaltenango?

Para obtener una respuesta a la interrogante, se plantean las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el volumen y tipo de desecho orgánico que puede ser aprovechado en el proceso de producción de biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María?

- ¿Cuánto biogás puede producirse y aprovecharse a partir de la digestión anaerobia por medio de utilización de un biodigestor en la Planta Hidroeléctrica Santa María?

- ¿Cuál sería el aprovechamiento o uso del biogás dentro de la Planta Hidroeléctrica Santa María?

- ¿Cuál es el beneficio ambiental obtenido a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María?

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación corresponde a la línea de investigación de tecnologías para el tratamiento y gestión de residuos, de la maestría en energía y ambiente.

El conocer el potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos que se pueden recolectar en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el municipio de Zunil, del departamento de Quetzaltenango, es importante para determinar si puede haber un aprovechamiento del recurso en este sector, o descartar estos residuos como posible fuente de producción de biogás. Considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de residuos orgánicos por medio de digestión anaeróbica para convertirlos en recursos energéticos.

Con esta investigación se dará a conocer el aprovechamiento que se le puede dar a los residuos orgánicos que se pueden recolectar en la Planta Hidroeléctrica Santa María. Beneficiando principalmente al ambiente, debido a que con un correcto manejo y aprovechamiento de los desechos proporcionará producción de energía en forma de gas, y representará una cantidad de emisiones evitadas de CO_2, además de poder obtener fertilizantes en forma de Biol, los cuales son productos que pueden ser utilizados para consumo en aplicaciones de pequeña escala en la Planta Hidroeléctrica.

El estudio es un aporte a la Planta Hidroeléctrica Santa Mara como alternativa y metodología para el manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos, así mismo para el aprovechamiento del agua contaminada que no se

utiliza en el proceso de conversión energética que realiza la hidroeléctrica, debido a que ocasionalmente se produce un desborde de agua captada en el embalse. De la misma manera representará una alternativa de beneficio para las industrias involucradas en la siembra de árboles como parte del proyecto de reforestación del INDE, son ventajosos los subproductos obtenidos, como el Biol, que puede ser utilizado como fertilizante. De manera similar, beneficia al medio ambiente al ayudar a reducir las emisiones de CO_2.

Lo anterior se plantea con un enfoque al aprovechamiento adecuado de los residuos orgánicos que pudieran ser acopiados en las diversas áreas que conforman la Planta Hidroeléctrica Santa María, incluyendo el embalse, subestación, oficinas administrativas, escuela y casa de máquinas.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar el potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango.

5.2. Específicos

- Caracterizar y cuantificar los residuos orgánicos que pueden ser aprovechados en el proceso de producción de biogás en la planta hidroeléctrica Santa María.

- Estimar el volumen de biogás generado mediante la implementación de un biodigestor en la Planta Hidroeléctrica Santa María.

- Evaluar los usos energéticos para el aprovechamiento del biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María.

- Estimar el beneficio ambiental obtenido a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos en la Planta Hidroeléctrica Santa María.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Mediante la presente investigación se analizará el potencial de producción de biogás mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango. Se aportará un esquema simplificado que contribuya con la mitigación del deterioro y contaminación de los espacios donde llegan a acumularse los residuos orgánicos, basándose principalmente en la gestión, manejo adecuado y tratamiento que se puede dar a los residuos a través de la digestión anaerobia para producir biogás, proporcionando como valor agregado alternativas energéticas.

El estudio estará enfocado en la caracterización y cuantificación de los residuos recolectados para obtener un informe de la composición de estos y así poder determinar la cantidad de biogás que podrán producir.

También con este estudio se determinará el potencial que estos desechos tienen para producir biogás a través de proyecciones realizadas con base en un estudio semanal de los diferentes puntos de acumulación de residuos, como una solución alternativa al manejo de los desechos acumulados en los espacios donde éstos se depositan.

Mediante la implementación de un biodigestor tipo Batch, dentro de las instalaciones de Planta Hidroeléctrica Santa María, se podrá dar tratamiento y aprovechar los residuos acumulados en distintos puntos de acopio, para la producción de biogás y biofertilizante.

- Alcance de tiempo: el estudio se enmarca en el periodo de tiempo dentro del año 2023.

- Alcance de espacio: la observación se llevará a cabo en el área que cubre las instalaciones que conforman Panta Hidroeléctrica Santa María, siendo estas: embalse, subestación, casa de máquinas, área de oficinas administrativas y escuela.

- Alcance metodológico: el estudio se desarrollará en fases de observación, medición y estimación del potencial de producción de biogás, para el manejo de los residuos orgánicos.

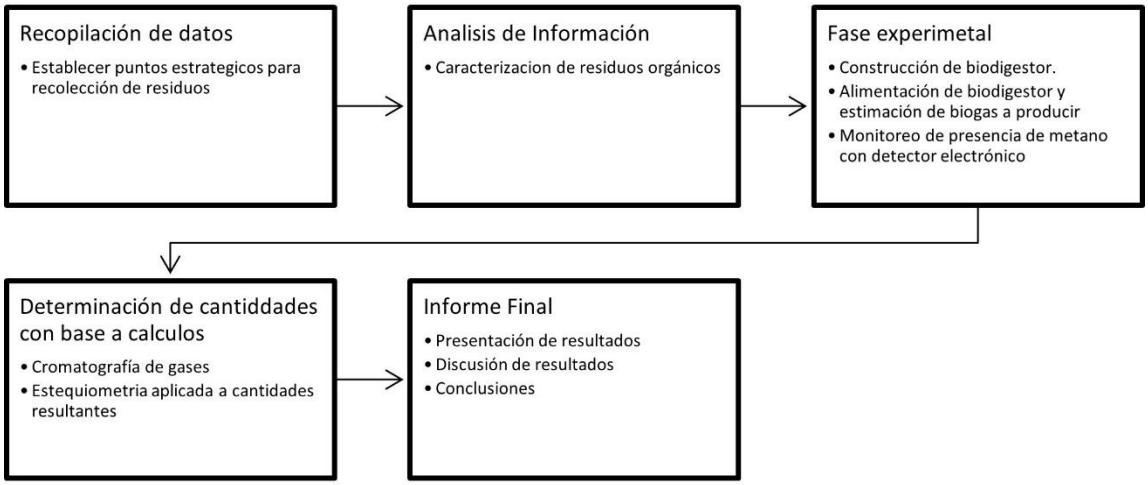
- Exploración del problema: se describe cómo afecta la no reutilización de residuos orgánicos y su plan de recolección.

- Método exploratorio: este método se utilizará para detallar la situación actual y las condiciones en que se encuentra el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos.

- Aplicabilidad de los resultados: estos son válidos y aplicables para los sectores que cubre las instalaciones de la Planta Hidroeléctrica Santa María, Zunil, Quetzaltenango.

Figura 1.

Esquema de solución



Nota. Esquema de solución. Elaboración propia, realizado con Word.

7. HIPOTESIS

Debido a que el estudio es del tipo descriptivo-cuantitativo, no se aplica la formulación de hipótesis.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Biogás

Según Alvarado (2017), corresponde a un tipo de gas que, mediante reacciones que descomponen la materia orgánica, se forma de manera natural en un proceso de fermentación con bacterias dentro de una digestión anaerobia. Aproximadamente se compone de un 60 % de CH4 y 40 % CO_2, “asimismo, contiene pequeñas cantidades de otros gases, entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico (H2S), hidrógeno (H2), nitrógeno (N2) y oxígeno (O2). Es un poco más liviano que el aire. “Particularmente el biogás se inflama a 700 °C” (Alvarado, 2017, p. 1).

El biogás combustiona gracias al contenido de metano, el cual pierde su propiedad de inflamabilidad en una concentración menor a 50 %. Además, el “poder calórico promedio de un metro cúbico de biogás es de cinco mil kilocalorías, lo que permite generar entre 1,3 – 1,6 kWh, lo cual equivale a medio litro de petróleo, aproximadamente” (Alvarado, 2017, p. 1).

8.1.1. Aprovechamiento energético

El aprovechamiento del biogás Espinosa (2021) menciona que gira en torno a dos fortalezas, siendo la primera el compromiso de lograr una transición energética que mitigue el cambio climático y la existencia de un marco legal que apoye los proyectos que conllevan la producción y uso de biogás

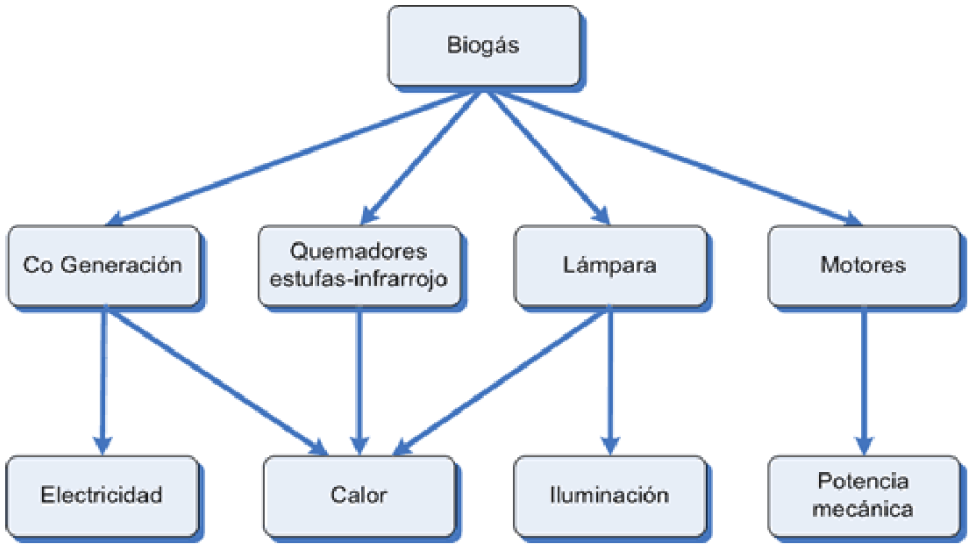
También es importante contar con “disponibilidad de tecnología, el financiamiento, y las alianzas entre sectores clave” (Espinosa, 2021, p. 65) para lograr el cambio de la matriz energética.

8.1.2. Usos del biogás

El proceso de biogás según Martín (2017), tiene dos usos, uno es el uso propio de biogás y el otro es el uso que se le da a los residuos derivados de la producción, los cuales reciben el nombre de digestatos y son utilizados como abono de origen natural.

Figura 2.

Diagrama sobre los usos del biogás



Nota. Descripción del diagrama sobre los usos del biogás. Obtenido de Karen Martínez, (2020). *Producción de biogás a partir de los residuos orgánicos generados por el estiércol de ganado en una finca ubicada en el municipio de Ipala, departamento de Chiquimula.* (http://www.repositorio.usac.edu.gt/15141/1/Karen%20Michelle%20Mart%C3%ADnez%20Figueroa.pdf), consultado el 3 de noviembre de 2022. De dominio público.

Los usos que se le dan al biogás pueden ser clasificados principalmente en: “Producción de electricidad. Producción de calor y vapor. Uso como combustible para vehículos. Producción de sustancias químicas” (Martín, 2017, p. 20).

Para el sector de transporte el biogás puede sustituir al gas natural, teniendo en cuenta que las características deben ser adecuadas para el cambio de combustible. Otro uso del biogás se puede lograr con la utilización de calderas, las cuales logran producir calor y transportar dicho calor

Es posible lograr una cogeneración al generar calor y electricidad al mismo tiempo. Esto se logra utilizando turbinas de gas y agua que proviene de un proceso de refrigeración de un motor, según Martín (2017). Si se logra aprovechar todo el calor producido en estos sistemas de cogeneración se puede “llegar a unos rendimientos de en torno al 85 %. Dicho rendimiento es mucho más alto que en el caso de utilizar solo el biogás para producir electricidad, donde el rendimiento rondaría el 35 %” (Martín, 2017, p. 21).

8.1.3. Ventajas de la utilización

Algunas ventajas importantes son:

- “Su producción es renovable.
- Sus procesos de producción primaria y de fabricación industrial determinan un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles” (Alvarado, 2017, p. 4).
- “Cumple con los requisitos de la EPA (Agencia de Protección Ambiental) para combustibles alternativos.

- Su combustión produce menos elementos nocivos que los combustibles convencionales, reduciendo la posibilidad de cáncer.
- Menos irritante para la epidermis humana” (Alvarado, 2017, p. 4).

8.1.4. Limitaciones del biogás

Menciona (Espinosa, 2021), que el biogás presenta algunas debilidades que permiten identificar los desafíos al que está expuesto el biogás en términos de energía, siendo estas las políticas inestables al no estar correctamente formuladas y la poco apoyo financiero para promover éste tipo de proyectos.

8.2. Medio ambiente

Dice Alvarado (2017), el principio de la energía que se produce del biogás no es la eliminación de CO2 proveniente de biocombustibles, sino dar un uso a residuos orgánicos y subproductos que se generan de la industria agroalimentaria.

“En este caso la necesidad de eliminación de estos residuos y la generación de subproductos tales como fertilizantes parecen indicar de una manera general que los beneficios ambientales obtenidos superan a los inconvenientes” (Alvarado, 2017, p. 12).

“Un análisis detallado de las materias primas y de los gases emitidos puede aconsejar que se utilicen filtros correctores o combustiones a altas temperaturas como medidas correctoras para evitar la contaminación de la atmósfera o la producción de olores” (Alvarado, 2017, p. 13).

8.2.1. Aguas residuales

Derivado de “su gran contenido contaminante y tóxico, las aguas residuales, antes de que sean devueltas al medio ambiente, han de ser tratadas mediante depuración, la cual consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan los contaminantes” (Gil, 2019, p. 7).

Según Cordero (2017), se estimaba que en su mayoría, la población mundial se agrupa en territorios urbanos, de donde provienen una cantidad grande de contaminación concentrada en el agua.

Existen diferentes orígenes para las aguas residuales, siendo estos:

- Menciona Gil (2019), que las aguas residuales domésticas: Son aguas negras provenientes de los hogares, con un gran contenido de microorganismos, jabones, detergentes, grasas y materia orgánica.

- Aguas blancas: “Provienen tanto de fenómenos atmosféricos como la lluvia, la nieve o el hielo, como del riego y limpieza de las calles, parques y lugares públicos” (Gil, 2019, p. 7).

- Aguas residuales industriales: Es agua proveniente de afluentes de la industria, por ejemplo, residuos derivados de la fabricación, aguas para lavado, entre otros.

- Aguas residuales agrícolas: Estas se originan en labores agrícolas situadas en zonas rurales.

8.3. Formación del biogás

Hasta el día de hoy, (Alvarado, 2017), las necesidades energéticas que presenta el planeta son cubiertas en un 90 % por combustibles fósiles, los cuales son extinguibles, contaminantes y de uso ineficiente, ello derivado del interés principal en la consecución de energía que va más allá de sus efectos ecológicos.

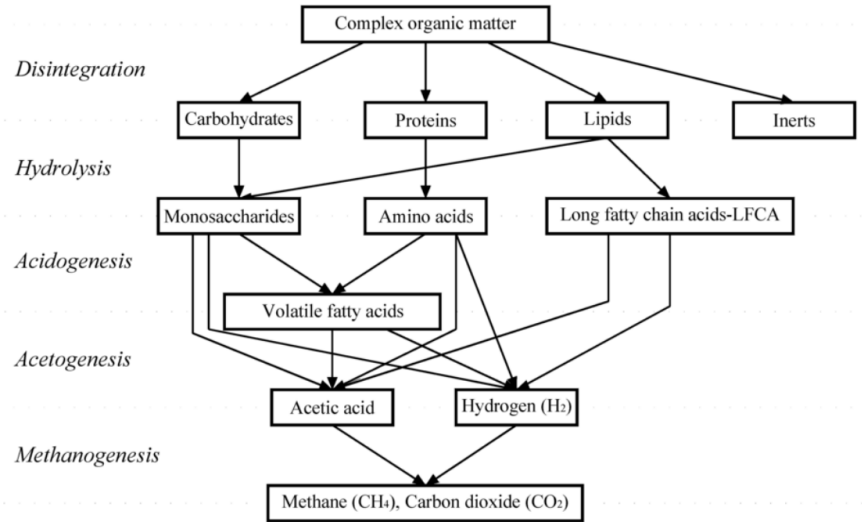
Para lograr biogás Ávila et al., (2018),es fundamental tener una relación de carbono-nitrógeno (C/N), así lograr un desarrollo adecuado en las baterías. La relación compuesta C/N debe estar entre los de proporción de 20 a 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno.

8.3.1. Biodigestión anaeróbica

Según Castillo (2013), este tipo de fermentación se conoce también como biometanogénesis o biodigestión anaerobia (BA), la cual, a partir de la falta de oxígeno provocada por diferentes tipos de bacterias, genera que la descomposición del material orgánico. Básicamente el proceso se desarrolla en 5 etapas, que van desde la descomposición de la materia, hasta la obtención del biogás.

Figura 3.

Etapas de la de digestión anaerobia



Nota. Descripción de la figura de las etapas de la de digestión anaerobia. Obtenido de Lenin Núñez (2017*). Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales.* (https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2986/MAS_IME_AUT_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y), consultado el 3 de noviembre de 2022. De dominio público.

8.3.2. Fase de hidrólisis

Dentro del desarrollo de la digestión anaeróbica, el primer paso es la hidrolisis, la cual puede determinar la duración del proceso como menciona (Cordero, 2017). Por lo que puede representar una limitación en la velocidad del desarrollo de la BA según (Castillo, 2013). Este proceso depende de:

- “Temperatura del proceso
- Tiempo de retención hidráulico

- Composición química del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas)
- Tamaño de las partículas
- Nivel de pH
- Concentración de NH4” (Castillo, 2013, p. 47).

En esta fase la materia prima orgánica se compone esencialmente por carbohidratos, grasas y proteínas que se transforman en componentes más simples. Los microorganismos contienen enzimas que provocan el proceso anaerobio, logrando la descomposición de carbohidratos en monosacáridos y las grasa y proteínas se puedan descomponer en ácidos grasos y aminoácidos respectivamente liberando H y CO2.

8.3.3. Fase de acidificación

Dice Martínez (2020), que esta etapa también se denomina acidogénesis y es donde se produce la fermentación debido a varios organismos. Aquí se produce CO_2, alcoholes, ácidos grasos volátiles e hidrógeno. Las bacterias fermentativas son muy transcendentales ya que “no solamente producen los elementos que serán utilizados en las siguientes etapas del proceso sino porque también eliminan cualquier traza de oxígeno presente en el sistema” (Cordero, 2017, p. 31).

“El nivel de pH es importante tanto para la presión parcial de hidrógeno como para el digestato, pues si el pH es mayor o menor a 5, será mayor la producción de ácidos grasos volátiles o de etanol respectivamente” (Núñez, 2017, p. 7).

8.3.4. Fase acetogénica

“Los productos de la acidogénesis se convierten en ácidos acéticos, hidrógeno y CO” (Gil, 2019, p. 5). En el desarrollo de este proceso la DBO y la DQO tienen valores mínimos y también decae el nivel de pH.

8.3.5. Fase metanogénica

Menciona Alvarado (2017), corresponde a la última fase dentro del proceso de BA, donde el metano es formado por bacterias pertenecientes a un grupo denominado achibacterias. Aquí los productos obtenidos de la acetogénesis se transforman en metano y CO2, aunque también se pueden obtener otro tipo de gases en menor proporción como: nitrógeno, hidrógeno y oxígeno

8.3.6. Propiedades del Biogás

El biogás tiene una densidad más ligera que el aire con un punto de inflamación entre 600 y 700 ºC. Cuando se quema biogás, la flama puede llegar a un máximo de 870 ºC, el poder calórico obedece a la cantidad contenida de metano Alvarado (2017). Y “puede variar desde 3,500 kcal/m3 (45 % CH_4) hasta 5,250 kcal/m3 (60 % CH_4), lo que supone de 4.07 kWh/m3 a 6,11 kWh/m3, respectivamente, puede llegar éste valor hasta los 6.95 kWh/m3, si el porcentaje de CH_4 alcanza el 70 %” (Alvarado, 2017, p. 5).

Tabla 1.

Compuestos típicos de biogás

Componente	Porcentaje aproximado
Metano (CH_4)	45-60
Dióxido de Carbono	40-60
Nitrógeno	2-5
Oxigeno	0.1-1
Sulfuro de hidrogeno	0-1
Amoniaco	0.1-1
Hidrógeno	0 -0.2
Monóxido de carbono	0-0.2
Constituyentes en Cantidades Traza	0.01-0.06

Nota. Descripción de los compuestos típicos de biogás. Obtenido de Carlos Alvarado, (2017). *Potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos biodegradables de la Terminal.* (http://www.repositorio.usac.edu.gt/4491/1/CAUSAS%2C%20EFECTOS%20Y%20SOLUCIONES%20DEL%20PROBLEMA%20DE.pdf), consultado el 6 de mayo de 2022. De dominio público.

"El CH4 es la base energética del biogás, el CO2 es el segundo componente de importancia, siendo un componente no energético, su proporción es función de la naturaleza del influente y/o de la técnica empleada en la fermentación" (Alvarado, 2017, p. 6).

El N2 según Alvarado (2017), obedece a la fuga de aire o al ser arrastrado por el agua dentro del proceso de la fermentación, el O2 también se debe a la fuga de aire, su existencia es tóxica para los metanógenos, y su exceso de concentración en el biogás está entre el 8 % y el 20 %, lo que implica un alto porcentaje de explosión.

8.4. Factores con influencia en la digestión anaerobia

“La actividad metanogénica es altamente susceptible a los cambios de las condiciones en los que se produce la BA” (Castillo, 2013, p. 59).

Menciona Martín (2017), que algunos factores significativos en la generación del biogás son la materia que se utilizará, humedad, temperatura, tiempo de retención dentro del digestor, y diferentes pretratamientos aplicados previos a la introducción al biodigestor.

8.4.1. Composición bioquímica de la materia prima

“La primera característica que debe ser evaluada antes de someter a cualquier materia orgánica al proceso de digestión anaerobia es su composición bioquímica que debe ser la descomposición de la materia y generación de los productos finales” (Cordero, 2017, p. 34).

“En primer lugar la biodegrabilidad del sustrato influye en la velocidad del proceso y la calidad del biogás producido, a mayor porcentaje de metano, mayor será el poder calórico del biogás” (Rojas et al., 2020, p. 8).

8.4.2. Temperatura

Posiblemente éste es el factor de mayor importancia en el proceso BA, siendo que a temperaturas por debajo de 15 °C el proceso se desarrolla de manera lenta y es necesario tomar medidas que contrarresten las condiciones climáticas. Para tal fin se puede incrementar el tamaño del biodigestor o bien proporcionar calor (Cordero, 2017).

Tabla 2.

Temperaturas y tiempos de fermentación anaerobia

Tipo de fermentación	Temperatura °C			Tiempo de fermentación (Días)
	Mínimo	Óptimo	Máximo	
Psicofílica	4-10	15-18	20-25	Sobre 100
Mesofílica	15-20	25-35	35-45	30-60
Termofílica	25-45	50-60	75-80	10-15

Nota. Descripción de las temperaturas y tiempos de fermentación anaerobia. Obtenido de Juan Cordero (2017). *Evaluación del potencial energético de las aguas residuales urbanas generadas en ciudades de altura.* (http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28258/1/Trabajo%20de%20titulaci%c3%b3n.pdf), consultado el 11 de abril de 2022. De dominio público.

Según Cordero (2017), la temperatura, el proceso de BA trabaja generalmente en tres rangos: “debajo de 25 °C en el que trabajan microorganismos psicrófilos, en el rango entre 25 °C y 45 °C intervienen microorganismos mesófilos y los termófilos trabajan entre 45 °C y 65 °C”

8.4.3. Nivel de pH

Seguido a la temperatura, otro factor que toma relevancia es el nivel de pH, “ya que puede influencias las propiedades enzimáticas de las bacterias anaerobias durante la digestión, aunque en la mayoría de los casos es autoregulado en el proceso. El pH óptimo para la digestión anaerobia se encuentra entre 6,8 a 7,5” (Rojas et al., 2020, p. 8).

“Los microrganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microrganismos de la comunidad anaeróbica” (Castillo, 2013, p. 68).

“Con el fin de controlar o mantener el nivel de pH óptimo y hacer más eficiente el proceso en ocasiones es necesario, adicionar algún químico (ácido o base) ya sea a la materia prima que ingresa al proceso” (Cordero, 2017, p.34).

8.4.4. Nutrientes

“Una de las ventajas del proceso de digestión anaerobia es su bajo requerimiento de nutrientes debido a su limitada capacidad de crecimiento. Los principales nutrientes requeridos son nitrógeno y fósforo” (Cordero, 2017, p. 35).

“En el tratamiento de un solo residuo o algunas aguas residuales la degradación puede limitarse por la disponibilidad de nutrientes. La adición de elementos de traza como el níquel y el cobalto a la fermentación estimula los procesos anaerobios” (Alvarado, 2017, p. 10).

“El carbono y el nitrógeno son los principales alimentos de las bacterias metanogénicas, el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para formación celular” (Cordero, 2017, p. 35).

8.4.5. Toxicidad

Generalmente “se considera que los metanógenos son el grupo bacteriano más sensible a los tóxicos de los microorganismos implicados en la fermentación anaerobia. Sin embargo, se puede dar el caso de una aclimatación o una reversibilidad a ciertos efectos tóxicos” (Alvarado, 2017, p. 11).

“Algunos de estos efectos comunes en la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos son los asociados a la presencia de amoniaco, sulfuro de hidrógeno y ácidos grasos volátiles. La toxicidad de estos compuestos depende del pH” (Alvarado, 2017, p. 11).

.

8.4.6. Tiempo de retención hidráulico

Denominado TRH, es el tiempo que transcurre desde que el sustrato se agrega al reactor hasta que sale del mismo, de tal manera que la cantidad de bacterias que salen del reactor debe ser menores a las que se agregan y se producen en el proceso (Rojas et al., 2020). “Por lo general el tiempo mínimo es de 20 días. Dependiendo del contenido orgánico del sustrato y su biodegrabilidad este tiempo puede variar por debajo o encima de este valor” (Rojas et al., 2020, p. 8).

Como lo expone Castillo (2013), el TRH se calcula con la ecuación:

$$TRH = \frac{V_R}{V}$$

Siendo:

$TRH = tiempo\ de\ retención\ hidráulic$

$V_R = volumen\ del\ reactor$

$V = volumen\ de\ sustrato\ ingresado\ por\ unidad\ de\ tiempo$

8.4.7. Agitación

“Durante la puesta en marcha del proceso, la intensidad de la agitación debe ser baja, para permitir el crecimiento de los microorganismos anaerobios y aliviar el proceso de inestabilidades” (Núñez, 2017, p. 21).

Núñez (2017), mezclando la materia de origen orgánico “se pretende es que los microorganismos lleguen y se distribuyan en todo el sustrato, además se busca homogenizar la temperatura dentro del digestor y evitar la formación de espuma logrando de esta manera mejorar el rendimiento del proceso” (Cordero, 2017, p. 39). En consecuencia, la agitación incrementa la eficiencia dentro del proceso y ayuda a reducir el TRH.

8.5. Biodigestor

Un biodigestor “es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, entre otros) en determinada dilución de agua” (Alvarado, 2017, p. 16), de tal manera que, mediante la fermentación anaerobia se genere gas metano y fertilizantes orgánicos con un elevado contenido de potasio, fosforo y nitrógeno.

Con un biodigestor es posible “alimentar una cocina directamente o un sistema de generador de electricidad. Un metro cúbico de biogás equivale a medio metro cúbico de gas natural” (F. Martínez, 2013, p. 10)

8.5.1. Reactor

En el reactor ocurre el proceso de digestión anaerobia. El reactor puede tener diferentes formas y ser construido de diferentes materiales como el poliestileno, el acero inoxidable o bien concreto (Castillo, 2013).

El reactor debe cumplir con ciertas cualidades:

- “Impermeable al agua y al gas para evitar contaminaciones del sustrato o pérdidas del biogás.
- Aislante para minimizar las pérdidas de calor que favorecen la fermentación anaerobia” (Alvarado, 2017, p. 14).
- “Estabilidad estructural capaz de soportar cargas estáticas y dinámica.
- Contar con un sistema de agitación que mantenga homogéneo el sustrato dentro del reactor” (Castillo, 2013, p. 54).

8.5.2. Tipos de biodigestor

“Los biodigestores se clasifican, según su forma de operación y frecuencia de carga, o sea la frecuencia con la que se le introduce materia a descomponer” (Alvarado, 2017, p. 14).

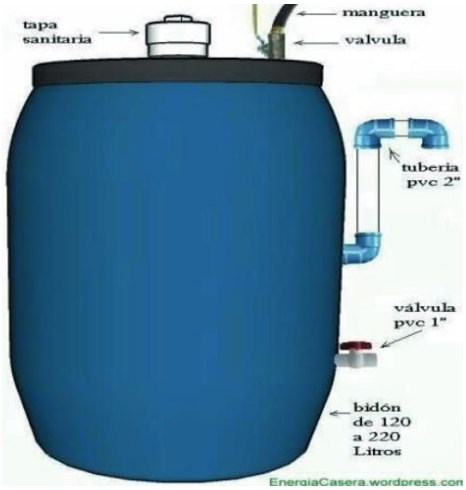
- Continuo: “Es utilizado para procesos de biodigestión ininterrumpida, el efluente es igual en cantidad al material que ingresa, la carga es diaria o interdiaria. En este tipo de digestores la producción de biogás es constante en el tiempo” (Cordero, 2017, p. 39). Tiene la finalidad de tratar las aguas negras y se puede lograr una producción a gran escala.

- Semicontinuo: “Básicamente es un proceso continuo, con la única diferencia de que parte de la materia prima se le añade cada cierto periodo de tiempo, ya que tiene una difícil degradación y no podría descomponerla de una manera continua” (Martín, 2017, p. 16).

- Discontinuo: “Es en el que el digestor es cargado y vaciado totalmente en cada digestión, en este proceso cada ciclo coincide con el tiempo de retención. Es un proceso lento ya que la digestión anaerobia tarda en iniciarse” (Martín, 2017, p. 16).

Figura 4.

Diagrama de biodigestor discontinuo o tipo batch



Nota. Descripción del diagrama sobre los usos del biogás. Obtenido de Karen Martínez, (2020). *Producción de biogás a partir de los residuos orgánicos generados por el estiércol de ganado en una finca ubicada en el municipio de Ipala, departamento de Chiquimula.* (http://www.repositorio.usac.edu.gt/15141/1/Karen%20Michelle%20Mart%C3%ADnez%20Figueroa.pdf), consultado el 16 de noviembre de 2022. De dominio público.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
ÍNDICE DE TABLAS
LISTA DE SÍMBOLOS
GLOSARIO
RESUMEN
OBJETIVOS
HIPOTESIS
INTRODUCCIÓN
ANTECEDENTES
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION
ALCANCES Y LIMITES

1. MARCO TEÓRICO
    1.1. Biogás
        1.1.1. Aprovechamiento energético
        1.1.2. Usos del biogás
        1.1.3. Ventajas de la utilización
        1.1.4. Limitaciones del biogás
    1.2. Medio ambientes
        1.2.1. Aguas residuales
    1.3. Formación de Biogás
        1.3.1. Biodigestión anaeróbica
        1.3.2. Fase de hidrólisis
        1.3.3. Fase de acidificación

1.3.4. Fase acetogénica
1.3.5. Fase metanogénica
1.3.6. Propiedades del biogás
1.4. Factores que influyen en la digestión anaerobia
1.4.1. Composición bioquímica de la materia prima
1.4.2. Temperatura
1.4.3. Nivel de pH
1.4.4. Nutrientes
1.4.5. Toxicidad
1.4.6. Tiempo de retención hidráulico
1.4.7. Agitación
1.5. Biodigestor
1.5.1. Reactor
1.5.2. Tipos de biodigestor

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
2.1. Parte experimental
2.1.1. Selección de material orgánico para sustrato
2.1.2. Implementación de biodigestor
2.1.3. Carga orgánica volumétrica
2.1.4. Productividad de metano
2.1.5. Proceso del experimento
2.1.6. Carga orgánica volumétrica
2.1.7. Productividad de metano
2.1.8. Determinación de biogás producido

3. RESULTADOS
3.1. Implementación de biodigestor
3.2. Estimación de potencial de producción de biogás

3.3. Alternativas de uso de biogás como fuente de energía
3.4. Estimación de beneficio ambiental

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
APÉNDICES
ANEXOS

10. MARCO METODOLÓGICO

10.1. Tipo de estudio

El estudio es cuantitativo-descriptivo ya que se pretende determinar la relación del uso de residuos orgánicos tratados mediante digestión anaeróbica para la obtención de biogás, para esto se realizarán pruebas evaluando el potencial energético del biogás obtenido con base al porcentaje de materia orgánica contenido en la muestra de sustrato, con el fin de encontrar la fracción de residuos orgánicos que debe contener el sustrato para que sea factible la obtención de biogás. Además, se plantea este método ambientalmente amigable como una opción para el aprovechamiento de este tipo de residuos.

10.2. Diseño de investigación

El enfoque es mixto por las siguientes razones:

- Es cuantitativo, porque se utiliza la medición de variables para el control de procesos, para la determinación la generación de biogás.
- Es cualitativo, porque utiliza la revisión documental cuando se investiga antecedentes del problema y marco teórico relacionado.

10.3. Alcance

La investigación se llevará a cabo mediante la estimación de volúmenes y pesos de sustrato con relación a la obtención de volumen de biogás, y cantidad de metano presente en la muestra el biogás generado.

10.4. Unidad de análisis

Las variables que se medirán son: volumen y peso de sustrato creado base de mezcla de residuos orgánicos procesables recolectados, volumen de biogás generado y cantidad de contenido de metano en biogás producido.

10.5. Variable

Evaluar los factores de generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos.

Tabla 3.

Variables e indicadores

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
Determinar el potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María.	Volumen de biogás. Tiempo de producción de biogás Peso y volumen de residuos recolectados	Cuantitativa Cuantitativa Cuantitativa	Volumen de biogás en m³ Tiempo en días, semanas Porcentaje de metano presente en biogás en %	Toma y análisis de muestras de biogás Calendario Globo Detector de metano	Determinar la cantidad de gas metano presente en el biogás generado, mediante mediciones.
Caracterizar y cuantificar los residuos orgánicos que pueden ser aprovechados en el proceso de producción de biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María.	Peso de sustrato procesable Tiempo de recolección de materia	Cuantitativo Cuantitativa	Peso en Kg Volumen en m³ Tiempo en días	Análisis de muestra de los residuos recolectados para sustrato. Balanza. Metro. Guantes Valde	Medición de pesos de muestra mediante balanza y volúmenes Clasificación de residuos orgánicos.

Continuación de la tabla 3.

Estimar el volumen de biogás generado mediante la implementación de un biodigestor en la planta hidroeléctrica Santa María	*Productividad de metano en* *Tiempo de digestión anaerobia* *DBO, DQO presente en sustrato.* *Temperatura del ambiente*	*Cuantitativa* *Cuantitativa* *Cuantitativa* *Cuantitativa*	*Concentración de metano generado que compone el biogás en m³* *Tiempo de digestión, en día* *mg/L O_2* *Temperatura del entorno del biodigestor °C*	*Medición de porcentaje de metano presente y dióxido de carbono.* *Eficiencia de producción en m³/semana*	*Implementación de biodigestor en Planta.* *Monitoreo de biodigestor* *Cálculos con estadística descriptiva* *Revisión de temperatura en tiempo real según aplicaciones digitales*
Evaluar los usos energéticos para el aprovechamiento del biogás en la planta hidroeléctrica Santa María.	Volumen de biogás Volumen de Biol Peso de Biol Eficiencia de biodigestor en volumen/día	Cuantitativa Cuantitativa	Eficiencia del biodigestor Tiempo de consumo de biogás	Estequiometría. Comparación de eficiencia de producción en m³/semana	Identificación de aplicaciones a pequeña escala en planta Conceptualización teórica de poder calorífico de posibles maneras de consumo. Estequiometría
Estimar el beneficio ambiental obtenido a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos en la planta hidroeléctrica Santa María.	Emisiones evitadas de CO2	Cualitativa Cuantitativa	Emisión evitada de CO2	Estequiometría. Estadística descriptiva	Cálculo de equivalencias con estequiometría. Cálculos teóricos

Nota. Tabla de variables e indicadores. Elaboración propia, realizado con Excel.

10.6. Fases de estudio

A continuación, se describen las fases de estudio que se utilizaron para el presente trabajo.

10.6.1. Fase 1: investigación preliminar

Durante esta fase, se procederá a la obtención de permisos con las entidades competentes. Así como también se realizará revisión bibliográfica para recopilar información relacionada con el tema de investigación para la elaboración del proyecto.

10.6.2. Fase 2: diseño de investigación

La muestra de residuos orgánicos para efectuar los análisis se obtendrá de los residuos generados y recolectados a consecuencia del consumo doméstico de materia orgánica. La caracterización y la cuantificación de subproductos se efectuarán durante un tiempo establecido.

En paralelo a la recopilación de información, se realizará la toma de muestras para posteriormente proceder con la caracterización de los desechos sólidos que le conforman.

Tabla 4. *Información para la validación del método*

Nutriente	Residuo sólido %	Composta %
Nitrógeno		
Fosforo		
Potasio		
Alcalinidad parcial total		
Demanda de oxigeno		

Nota. Tabla de información para la validación del método. Elaboración propia, realizado con Excel.

10.6.2.1. Carga orgánica volumétrica.

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. “La carga se constituirá por la mezcla de un 20 a 25 por ciento de material orgánico y de un 80 a 75 por ciento de agua.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kilogramos de material/día; kilogramos de materia seca/día; kilogramos de sólidos volátiles/día. Todos expresados por metro cúbico de digestor. Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en Kilogramos de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105º Celsius hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco) / peso húmedo. El porcentaje

de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560º Celsius durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente:

((Peso seco – peso ceniza) / peso seco)

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es “la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua”.

La carga de mezcla que se debe adicionar diariamente se calcula como se indica a continuación:

$$VT = CTT \times 0.75$$
$$CD = {}^{VT}/_{TR}$$

Siendo:

VT: Volumen de trabajo en litros.
CTT: Capacidad total del tanque en litros.
CD: Carga diaria de mezcla que se debe añadir.
TR: Tiempo de retención en días.

Ejemplo: en clima cálido, para un biodigestor de 120 litros, el volumen de trabajo será 90 litros (120 L x 0.75= 90) y la carga diaria de mezcla será 4,5 litros (90L/20=4,5L).

10.6.2.2. Productividad de metano

Uno de los parámetros que permite evaluar la generación de metano a partir del proceso de fermentación de la materia orgánica es la productividad de metano o productividad metanoica (Weiland P. 1995). Este parámetro se define como la cantidad de metano generado en la unidad de tiempo respecto de la materia dispuesta en el reactor. La expresión matemática que permite calcular la productividad de metano de un determinado resto orgánico en un tiempo determinado, es la siguiente:

$$PCH4 = \frac{V_{ch4}}{V_{reactor} \times t}$$

Dónde:

V_{ch4}: Es el volumen de metano generado.
$V_{reactor}$: Es el volumen de materia dispuesta en el recinto fermentador.
t: Es el tiempo considerado.

La producción de metano, tiene un límite y este depende fundamentalmente de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor. La fórmula que permite estimar la máxima generación de metano para un producto determinado, es la siguiente:

$$M_{max} = \frac{V_{ch4}}{S_{orgánica\ total}}$$

Siendo:

V_{ch4}: Es el volumen de metano generado.

$S_{orgánica\ total}$: Es la cantidad de materia orgánica total utilizado en todo el proceso.

Las muestras de biogás obtenidas del proceso de digestión, se analizarán en la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada de la Universidad del Valle de Guatemala, mediante cromatografía de gases para determinar el porcentaje de metano (CH4), dióxido de carbono (CO2), oxígeno (O2) y nitrógeno (N2). El valor energético del biogás se medirá por el poder calorífico inferior (PCI), el cual varía en función del porcentaje de metano que contenga. Para medir el poder calorífico se quemará en idénticas condiciones de temperatura y presión un volumen determinado de biogás y el mismo volumen de un gas cuyo poder calorífico se conoce. Conociendo las masas de ambos gases y el poder calorífico del gas conocido, se puede calcular el poder calorífico del biogás.

10.6.3. Fase 3: Parte experimental

El diseño experimental se realizará por medio de la utilización de un biodigestor,

10.6.3.1. Los materiales y su descripción:

- El reactor y la entrada de materiales
    - Un tanque 120 litros de capacidad. Por lo general son azules con tapa de cierre hermético.
    - Tapón de limpieza sanitario de 4 pulgadas: Es una especie de adaptador con tapón.

- Tubo PVC sanitario de 3 pulgadas: Desde el tapón sanitario hasta 5cm antes del fondo del tanque.

- Para la salida del efluente:

  - Adaptador de tanque de 1 pulgada para conectar la válvula
  - Válvula de esfera PVC de 1 pulgada para la salida inferior del efluente.

- Para la salida del biogás y almacén del gas:

  - Conector de tanque de ½ pulgada
  - Válvula de esfera con roscas de ½ pulgada
  - Adaptador para manguera
  - Adaptador “T” para manguera
  - Manguera
  - Globo mediano

- Para unir las partes y sellar:

  - Pegamento para PVC
  - Silicona selladora transparente, ¡resistente a hongos!: Para sellar alrededor de las uniones al tanque e impedir filtración.
  - Cinta aislante
  - Abrazaderas para manguera

- Para mezcla de desechos:

  - Residuos orgánicos

- Para identificación del gas:

Como el metano no huele, un escape de gas podría ser muy peligroso porque nadie se daría cuenta; de manera que se le debe añadir al gas natural sustancias olorosas, como sulfuro de dimetilo, metanotiol o etanotiol.

Figura 5.

Tanque de plástico

Nota. Imagen de tanque de plástico para biodigestor. Obtenido de Camilo Rodríguez (2017). *Los biodigestores: fuente de desarrollo sostenible y calidad de vida en comunidades rurales.* (https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/787/PROYECTO%20DE%20GRADO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y), consultado el 1 de octubre de 2022. De dominio público.

Figura 6.

Accesorios para Biodigestor

Nota. Imagen de llaves de paso. Obtenido de Camilo Rodríguez (2017). *Los biodigestores: fuente de desarrollo sostenible y calidad de vida en comunidades rurales.* (https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/787/PROYECTO%20DE%20GRADO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y), consultado el 1 de octubre de 2022. De dominio público.

La producción de metano, tiene un límite y este depende fundamentalmente de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor. La fórmula que permite estimar la máxima generación de metano para un producto determinado, es la siguiente

$$M_{max} = \frac{V_{ch4}}{S_{orgánica\ total}}$$

10.6.4. Fase 4: Presentación de resultados

Se presentará el trabajo final del estudio realizado, en el cual se expone las conclusiones finales después de realizar el trabajo bibliográfico y de campo.

La caracterización y la cuantificación de subproductos se efectuarán durante una semana continua, bajo condiciones controladas, esto quiere decir a presión y temperatura constantes, bajo la tabla de información se presentará el

porcentaje de residuos solido generado y el porcentaje de composta generado durante el periodo de estudio.

Las variables a analizar y presentar son:

- Carga orgánica volumétrica. Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor
- La carga de mezcla que se debe adicionar diariamente se calcula como se indica a continuación:
- Productividad de metano
- Máxima generación de metano

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La técnica de análisis de información se hará desarrollando un cuadro comparativo de los datos obtenidos antes de la ejecución del proyecto y los datos obtenidos después de la ejecución de este.

También se hará una documentación a través de una foto biografía que se recopilará durante el desarrollo del proyecto.

Para el análisis estadístico, se empleará el *software InfoStat*, el cual provee todos los detalles que determinarán la confiabilidad de los datos y darán luces sobre la tendencia en la generación de residuos orgánicos y su relación con la producción de biogás.

La información de los estudios previos será catalogada de acuerdo con los puntos en común en la realización de los resultados producidos por la parte experimental.

Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tablas de datos de la caracterización de los residuos.
- Tablas de datos de la cuantificación de los residuos.
- Tabla de datos de DBO y DQO.
- Tabla de porcentaje de composta.
- Diagrama de las cargas orgánicas volumétricas.
- Diagrama de productividad de metano.
- Diagrama de temperatura en la parte experimental.

- Curva compuesta de temperatura versus tiempo

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

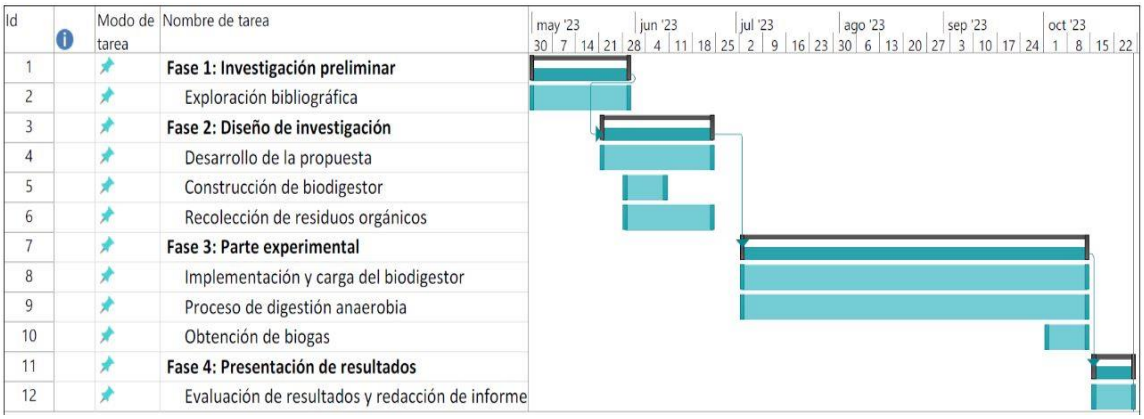
- Promedio de productividad de metano
- Diagrama de máximos y mínimos: aplicado a temperaturas
- Promedios y desviaciones estándar de la producción de metano
- Diagrama de dispersión: para la representación de temperaturas contra el tiempo.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El seguimiento de actividades encaminadas al logro de los objetivos establecidos, se describen en el siguiente cronograma

Figura 7.

Cronograma de actividades



Nota. Cronograma de actividades. Elaboración propia, realizado con Project.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La realización de la presente investigación se llevará a cabo mediante el uso de fondos económicos del estudiante de la maestría. Por lo tanto, a continuación, se describe cada uno de los recursos que se considera tomar en cuenta:

Tabla 5.

Recurso humano

Recurso humano
Investigador (estudiante)
Asesor y revisor de la investigación
Colaboradores

Nota. Tabla de recurso humano. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 6.

Recursos materiales

Recursos materiales
Impresora
Computadora
Materiales y útiles de oficina
Combustible
Internet
Cámara fotográfica
Medidor de metano

Nota. Tabla de recursos materiales. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 7.

Presupuesto

Actividad	Monto en quetzales
Viáticos	Q. 500
Asesoría	Q. 2,500
Materiales insumos, equipos de medición y servicios técnicos para el desarrollo de la investigación.	Q. 1,000
Análisis de laboratorio (DBO, DQO, CROMATOGRAFÍA DE GASES)	Q. 2,000
Construcción de biodigestor	Q. 800
Transporte	Q. 250
Otros (papel, impresiones, material vario)	Q. 600
Total	**Q. 7,650**

Nota. Tabla de presupuesto. Elaboración propia, realizado con Excel.

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

14. REFERENCIAS

Aguilera, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM - Estelí*, *6*(24), 60–81. https://doi.org/10.5377/FAREM.V0I24.5552

Alvarado, C. (2017). *Potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos biodegradables de la Terminal zona 4* [USAC]. http://www.repositorio.usac.edu.gt/8418/

Ávila, M., Campos, R., Brenes, L., y Jiménes, M. F. (2018). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Revista Tecnología En Marcha*, *31*(2), 159–170. https://doi.org/10.18845/TM.V31I2.3633

Castillo, R. (2013). *Valores agregados de la biodigestión anaerobia del Jacinto de agua* [Universidad de Cuenca]. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5052

Coello, S., Rodríguez, B., González, Y., e Hidalgo, J. (2021). Aprovechamiento energético de la biomasa residual: caso de estudio de los restos de comida de familias de estudiantes de la Universidad de Guayaquil, para producción de biogás. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *12*(2), 15–25. https://doi.org/10.29166/REVFIG.V12I2.3251

Cordero, J. (2017). *Evaluación del potencial energético de las aguas residuales urbanas generadas en ciudades de altura* [Universidad de Cuenca]. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28258

Espinosa, K. (2021). *Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable: análisis del potencial de la ciudad de Quito* [Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8410

Gil, Á. (2019). *Análisis económico y viabilidad de la digestión anaerobia y pretratamientos* [Universidad Pontificia Comillas]. https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/34356?show=full

Londres. (2016). *Biodigestor: Energía Alternativa Resumen*. http://elarcadepitusa.blogspot.com/2008/06/la-senda-verde-un-refugio-muy-especial.html

Martín, V. (2017). *Estudio y diseño de un sistema térmico alimentado por biogás para generación eléctrica a vapor* [Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/23307

Martínez, F. (2013). *Identificación de contaminantes, prevención y aprovechamiento de desechos orgánicos en la producción de biogas y biodiesel, en curtidoras y mataderos de la Ciudad de León, ubicados en la ladera del Río Chiquito, septiembre 2012-junio 2013* [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/800

Martínez, K. (2020). *Producción de biogás a partir de los residuos orgánicos generados por el estiércol de ganado en una finca ubicada en el municipio de Ipala, departamento de Chiquimula* [USAC]. http://www.repositorio.usac.edu.gt/15141/

Núñez, L. (2017). Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales [Universidad de Piura]. In *Universidad de Piura*. https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2986

Rojas, C., Contreras, H., Mosquera, Y., y Rodríguez, M. (2020). Determinación del potencial de biogás de diferentes sustratos para la codigestion anaerobia con excretas animales. In *Determinación del potencial de biogás de diferentes sustratos para la codigestion anaerobia con excretas animales*. Universidad Santo Tomas. https://doi.org/10.15332/DT.INV.2020.02801

Rodríguez, C. (2017). *Los biodigestores: fuente de desarrollo sostenible y calidad de vida en comunidades rurales.* (https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/787/PROYECTO%20DE%20GRADO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y),

Sarabia, M.., Laines, J., Sosa, J., y Escalante, E. (2017). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *33*(1), 109–116. https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.10

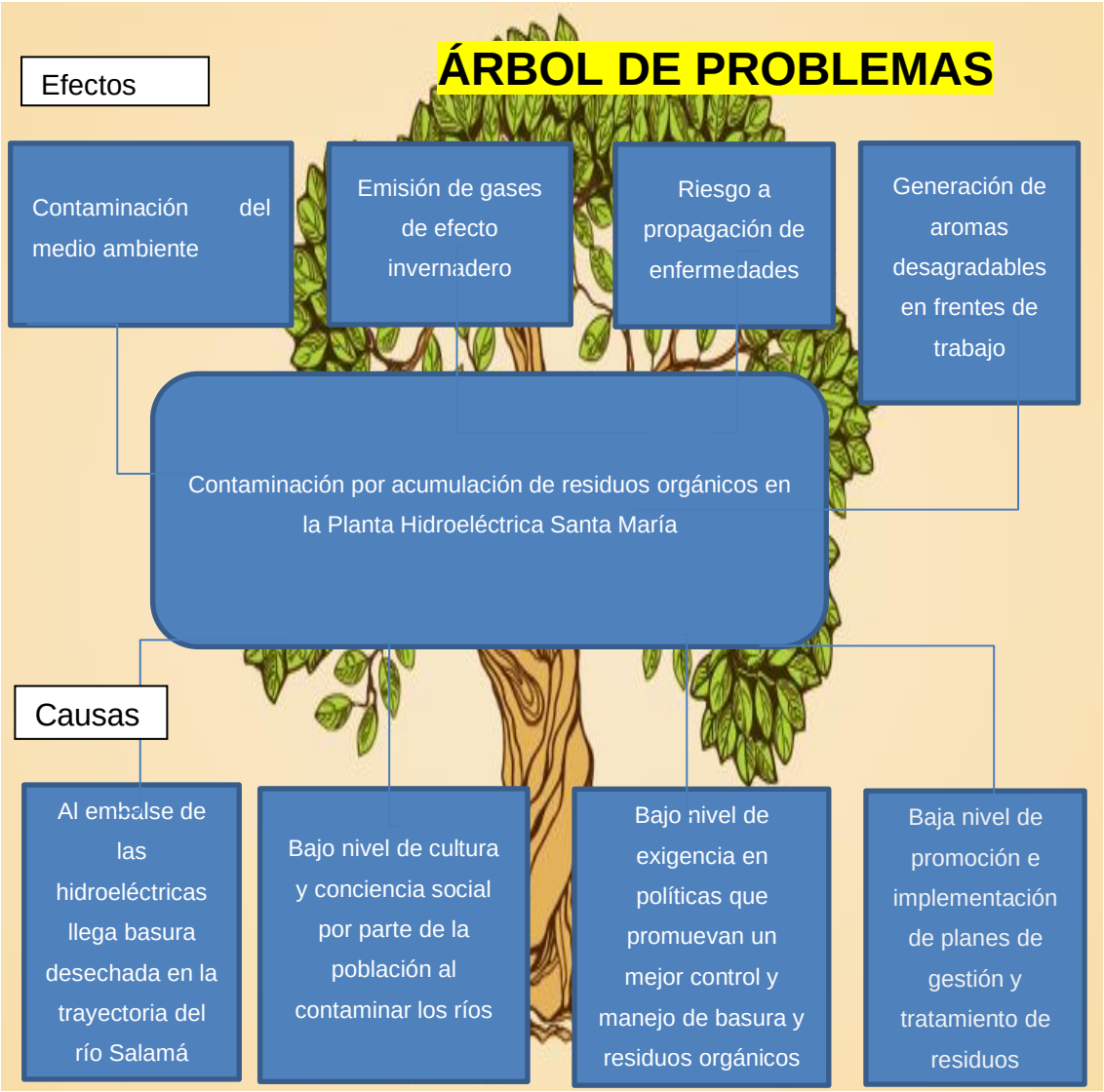
Taipe, J. (2019). Diseño de un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol [Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Universidad Nacional del Centro del Perú*. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5492

Vergara, M., & Velásquez, C. (2022). Potencial energético del biogás con fines de generación eléctrica. *Revista Científica de Educación Superior y Gobernanza Interuniversitaria Aula 24 - ISSN: 2953-660X*, *3*(6), 37–43. https://doi.org/10.56124/AULA24.V3I6.0005

15. APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol de problemas



Nota. Tabla de recursos materiales. Elaboración propia, realizado con Visio.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

Planteamiento del problema	Objetivos	Variables e indicadores	Diseño Metodológico
Pregunta general ¿Cuál es el potencial de producción de biogás obtenido a partir de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango? **Preguntas especificas** ¿Cuál es el volumen y tipo de desecho orgánico que puede ser aprovechado en el proceso de producción de biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María? ¿Cuánto biogás puede producirse y aprovecharse a partir de la digestión anaerobia por medio de utilización de un biodigestor en la Planta Hidroeléctrica Santa María? ¿Cuál sería el aprovechamiento o uso del biogás dentro de la Planta Hidroeléctrica Santa María? ¿Cuál es el beneficio ambiental obtenido a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María?	**General** Determinar el potencial de producción de biogás de los residuos orgánicos recolectados en la Planta Hidroeléctrica Santa María, ubicada en el departamento de Quetzaltenango. **Específicos** 1. Caracterizar y cuantificar los residuos orgánicos que pueden ser aprovechados en el proceso de producción de biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María. 2. Estimar el volumen de biogás generado mediante la implementación de un biodigestor en la Planta Hidroeléctrica Santa María. 3. Evaluar los usos energéticos para el aprovechamiento del biogás en la Planta Hidroeléctrica Santa María. 4. Estimar el beneficio ambiental obtenido a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos en la Planta Hidroeléctrica Santa María.	• Cantidad de residuos orgánicos recolectados (kg). • Cantidad de residuos orgánicos procesables (kg) • Cantidad de biogás obtenido (m³) • Tiempo de obtención de biogás (días, semana, mes) • Cantidad de biogás obtenido (L, m³) • Cantidad de DBO y DQO del sustrato (mg/L O_2) • Cantidad de metano presente en biogás producido (% LEL).	Caracterizar los residuos orgánicos recolectados. Medición de pesos y volúmenes de los residuos orgánicos que se recolectan en puntos estratégicos de Planta Hidro. Santa María. Análisis de muestra de sustrato de entrada en laboratorio. Procesamiento de residuos orgánicos. mediante digestión anaerobia. Análisis de laboratorio de la muestra de biogás producido, mediante cromatografía de gases. Estequiometria de resultados. Comparación de costos y beneficios de aplicaciones que utilicen biogás.

Nota. Tabla de matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 3.

Currículo del asesor

EDINSON HERNÁNDEZ BARILLAS

M.A. Ingeniero Electricista

PERFIL PROFESIONAL

Experiencia en producción, eficiencias, rendimientos, mantenimiento, traslados, montajes y puesta en marcha de maquinaria industrial (Extrusoras, impresoras flexográficas, peletizadoras, cortadoras, laminadoras, slitters, inyectoras y sopladoras).
Gestión del mantenimiento de compresores de aire, chillers, torres de enfriamiento y subestaciones eléctricas. Y mantenimiento a instalaciones de edificios (tablayeso, fontanería, obra gris, electricidad y techos).

CURSOS

-Eficiencia energética y gestión de la energía, según ISO 50001.
-Mantenimiento en Gestión de activos.
-Análisis de Vibraciones NIVEL I.
-Seminario de aire comprimido.
-Sistemas de automatización industrial.
-Premio a la excelencia Académica Facultad de ingeniería.
-Certificación de sensores y actuadores eléctricos.
-Certificación de instalaciones eléctricas y mediciones industriales.
-Programación de PLC y variadores de frecuencia.

DATOS DE CONTACTO

Móvil: 4285-8477
Correo electrónico: edinson.barillas@gmail.com
Linkedin: Edinson Hernández Barillas
Edad: 30 años
Villa Nueva, Guatemala

EXPERIENCIA LABORAL

Gerente de Producción de Inyección
HERTEC S.A. (enero 2023 – Actualidad).
- Gestión de la producción.
- Validación de pruebas de calidad.
- Aumento de disponibilidad y eficiencia de la planta
- Evaluación de rendimientos

Jefe de Proyectos y Servicios periféricos
HERTEC S.A. (octubre2021 – enero 2023).
- Mantenimiento, traslado, instalación y puesta en servicio de inyectoras, peletizadoras, extrusoras, cortadoras, impresoras y sopladoras.
- Mantenimiento, instalación y puesta en servicio de bombas centrífugas, compresores de aire, chillers, torres de enfriamiento y subestaciones eléctricas.
- Diseño de circuitos de tuberías agua, aire comprimido y tableros de energía eléctrica.

Jefe de Proyectos y Servicios
POLYTEC INTERNACIONAL S.A. (08/2017 - 09/2021)
- Mantenimiento, traslado, instalación y puesta en servicio de extrusoras, laminadoras, impresoras flexográficas, peletizadoras, slittersy cortadoras.
- Instalación y mantenimiento a compresores, chillers, torres de enfriamiento y subestaciones eléctricas.

Instructor Profesional de Electricidad
INTECAP (02/2014 - 07/2017)
- Instalación de transformadores
- Análisis de circuitos de AC y DC.
- Automatización
- Programación de PLC y variadores de frecuencia.
- Máquinas eléctricas rotativas
- Energía Renovable

HISTORIAL ACADÉMICO

Maestro en Energía y Ambiente
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Especialización en Energía
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Ingeniero Electricista. Colegiado 19,646
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Perito en Electricidad Industrial.
INTECAP VILLA NUEVA

COMPETENCIAS

- Certificado en Eficiencia Energética ISO 50001
- Implementación de Sistemas integrados de gestión (Inocuidad, Calidad y SSO). Esquema FSSC 22000, ISO 9001 e ISO 45001.
- Manejo de INVENTOR
- Manejo de AUTOCAD
- Manejo de REVIT
- POWER BI

Nota. Curriculo del asesor. Elaboracion propia, realizado con Word.

Apéndice 4.

Carta de aceptación de protocolo

Guatemala, 10 de abril 2023.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del estudiante ALFONSO VANDERLEI XICARÁ SUM, carné número 999008694, he procedido a la revisión del protocolo cuyo título es "DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Xicará Sum, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

Ing. Edinson Hernández Barillas
M.A. Energía y Ambiente
Asesor

Edinson Hernández Barillas
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 19,646

Nota. Carta de aceptacion. Elaboracion propia, realizado con Word.