



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO  
EN LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE  
PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

**Aramis Benjamín de León Velásquez**

Asesorado por Dr. Ricardo Antonio Silva Hernández

Guatemala, agosto 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACION DEL APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO  
EN LA DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE  
PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ARAMIS BENJAMÍN DE LEÓN VELÁSQUEZ**

ASESORADO POR DR. RICARDO ANTONIO SILVA HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2022

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. Edgar Yanuario Laj
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
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 INVESTIGACION DEL APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO  
EN LA DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA EN AGUAS RESIDUALES DE  
PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 14 de enero de 2022.

**Aramis Benjamín de León Velásquez**



**EEPFI-PP-0299-2022**

Guatemala, 14 de enero de 2022

**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: **APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO EN LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Gestión ambiental**, presentado por el estudiante **Aramis Benjamin De Leon** carné número **199812285**, 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 Gestion Industrial.

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"*

**Dr. Ricardo Antonio Silva Hernández**  
Doctorado en Gestión de Proyectos  
CPA. Colegiado No. 21,106

Mtro. Ricardo Antonio Silva Hernandez  
Asesor(a)

Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez  
Coordinador(a) de Maestría



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





EEP-EIME-0299-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria 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: **APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO EN LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA** , presentado por el estudiante universitario **Aramis Benjamin De Leon**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.576.2022

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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO EN LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**, presentado por: **Aramis Benjamín De León Velásquez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, agosto de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Creador, sustentador y dador de la vida.
<b>Mis padres</b>	Benjamín Elizario de León López y Odilia Argentina Velásquez Miranda por el esfuerzo, el compromiso, el amor y la dedicación.
<b>Mis hermanos</b>	Judith, Zuly y Gustavo de León, por el apoyo, el acompañamiento y el ánimo.
<b>Mi esposa</b>	Sonia Leticia Gonzáles Orozco por su amor, compañía y ayuda.
<b>Mis hijos</b>	Diego Benjamín, Emmanuel Alejandro, y Ariana Sofía de León Gonzáles; con amor por ser parte de mi vida y de esta meta.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser alma mater de la educación y formación profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por la enseñanza y formación académica en la disciplina de la ingeniería.
<b>Mi asesor</b>	Dr. Ricardo Antonio Silva Hernández, por su disposición y guía durante este trabajo de graduación.
<b>Mis catedráticos</b>	Por el tiempo, la paciencia y por compartir sus conocimientos.
<b>Mis compañeros</b>	Por compartir y acompañarme para alcanzar esta meta.
<b>Mis amigos</b>	Por la amistad y el aprecio, como parte de mi vida, de esta carrera y de la meta alcanzada.
<b>Mi familia</b>	Por el abrigo, el soporte, el consejo y la fraternidad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1 Contexto y descripción.....	11
3.2 Preguntas de investigación.....	11
3.2.1 Pregunta central.....	11
3.2.2 Preguntas auxiliares.....	12
3.2.3 Delimitación .....	12
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1 General.....	15
5.2 Específicos .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17

7.	MARCO TEÓRICO .....	21
7.1	Generación de gas metano .....	22
7.2	Conducción .....	23
7.3	Uso final del biogás .....	24
7.3.1	Combustible para un motor o generador .....	24
7.3.2	Generación de energía térmica .....	25
7.3.3	Cogeneración .....	25
7.3.4	Quemado del metano .....	26
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	35
9.	METODOLOGÍA .....	37
9.1	Características del estudio .....	37
9.1.1	Enfoque .....	37
9.1.2	Alcance .....	37
9.1.3	Diseño .....	38
9.2	Fases del estudio .....	38
9.2.1	Fase 1: Revisión documental.....	38
9.2.2	Fase 2: Analizar el proceso de lagunas de oxidación....	39
9.2.3	Fase 3: Análisis de la calidad de gas.....	39
9.2.4	Fase 4: Diagnosticar requisitos para el proyecto .....	39
9.2.5	Fase 5: Diagnosticar y determinar los peligros potenciales .....	39
9.2.6	Fase 6: Definir los puntos críticos del proyecto .....	39

9.2.7	Fase 7: Desarrollar un sistema de monitoreo de puntos críticos.....	40
9.2.8	Fase 8: Definir acciones correctivas .....	40
9.2.9	Fase 9: Crear un sistema de documentación del proyecto .....	40
9.2.10	Fase 10: Hacer un plan de manejo del proyecto.....	40
9.2.11	Fase 11: Desarrollar un plan de capacitación para la operación del proyecto.....	41
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	43
11.	CRONOGRAMA.....	45
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	47
13.	REFERENCIAS.....	49



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	20
2.	Laguna de oxidación abierta .....	22
3.	Biodigestor carpado.....	27
4.	Generador guascor para biogás .....	28
5.	Generador con motor para biogás marca Jenbacher .....	28
6.	Sopladores de gas.....	31
7.	Filtros de gas .....	32
8.	Chiller industrial.....	33
9.	Cronograma .....	45

## TABLAS

I.	Potencial de calentamiento global GEI.....	8
II.	Consumo de gas en algunas aplicaciones .....	9
III.	Composición aproximada del biogás.....	23
IV.	Propiedades fisicoquímicas del biogás.....	25
V.	Valores aproximados para el proyecto .....	47



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Q<sub>e</sub></b>	Capacidad de adsorción
<b>CO</b>	Carga orgánica
<b>COV</b>	Carga orgánica volumétrica
<b>Q</b>	Caudal
<b>C<sub>e</sub></b>	Concentración en el equilibrio
<b>CPO</b>	<i>Crude palm oil</i>
<b>DBO</b>	Demanda biológica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>US\$</b>	Dólares de los Estados Unidos de América
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>kWh</b>	Kilowatt-hora
<b>MWh</b>	Mega watt-hora
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>OyM</b>	Operación y mantenimiento
<b>POM</b>	<i>Palm oil mill effluent</i>
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>RFF</b>	Racimo de fruta fresca



<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>TRM</b>	Tasa representativa del mercado
<b>TRH</b>	Tiempo de retención hidráulica
<b>ST</b>	Sólidos totales
<b>Vol.</b>	Volumen

## GLOSARIO

<b>Aceite crudo de palma (ACP)</b>	Aceite semisólido a temperatura ambiente, de color rojo anaranjado. Obtenido mediante extracción mecánica del fruto de palma de aceite por prensado de la pulpa o mesocarpio.
<b>Aceite de palmiste</b>	Aceite de origen vegetal obtenido mediante prensado mecánico de la almendra de palma de aceite.
<b>Aguas residuales de tipo especial</b>	Aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de estas.
<b>Aguas residuales de tipo ordinario</b>	Aguas residuales generadas por actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de estas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

<b>Biodigestor</b>	Sistema natural o espacio confinado que aprovecha la digestión anaerobia para generar biogás.
<b>Biofiltro</b>	Equipos diseñados para remover valiéndose de medios biológicos el contenido de gases no deseados, como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno, en un sistema de combustión de biogás rico en metano para generación eléctrica.
<b>Biogás</b>	Gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire).
<b>Biorreactor</b>	Es lo mismo que un biodigestor.
<b>CER</b>	Certificado de reducción de emisión. Es el documento que se otorga para hacer constar que una entidad operacional designada, ha verificado la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
<b>Cover</b>	Utilizado indistintamente para referirse al aislamiento superior colocado a un biodigestor.
<b>Cuerpo receptor</b>	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

<b>Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)</b>	Medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.
<b>Demanda Química de oxígeno (DQO)</b>	Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
<b>DNA</b>	Autoridad Nacional Designada. Es el ente nombrado por el gobierno del país participante, para dar fe de la autenticidad de los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.
<b>DOE</b>	Entidad operacional designada. Entidad independiente que evalúa el cumplimiento de los requisitos del mecanismo de desarrollo limpio por parte de un proyecto registrado.
<b>Fertirriego</b>	Práctica agrícola que permite el reusó de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos, así como en fertilización de cultivos que no se consuman crudos o precocidos.

<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero, Geomembrana Material sintético utilizado para aislar el fondo de un biodigestor y también para cubrir el mismo con el fin de capturar el biogás producido en su interior.
<b>Geotextil</b>	Material sintético utilizado para brindar protección a la geomembrana de cualquier material punzante, que pudiera encontrarse en toda el área de contacto con el suelo.
<b>HDPE</b>	Polietileno de alta densidad.
<b>Licencia Ambiental</b>	Documento oficial extendido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), obtenido como consecuencia de la resolución final del procedimiento administrativo que aprueba el instrumento ambiental.
<b>Línea base</b>	Escenario referencial hipotético de lo que sucede en ausencia de un proyecto.
<b>Liner</b>	Se usa indistintamente para referirse al aislamiento de la parte inferior de un biodigestor.
<b>Medidas de mitigación</b>	Es el conjunto de medidas destinadas a prevenir, reducir, minimizar y corregir la magnitud de los impactos negativos al ambiente, identificados dentro del proceso de evaluación ambiental como posibles

consecuencias del desarrollo de una obra, industria, proyecto o actividad específica.

<b>Monitoreo</b>	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reúso y lodos.
<b>Muestra</b>	Parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
<b>Planta de beneficio</b>	Planta mediante la cual se lleva a cabo el procesamiento de los frutos frescos obtenidos de las cosechas en plantaciones para obtener aceite crudo de palma y otros subproductos.
<b>Seguridad ocupacional</b>	Conjunto de acciones orientadas a prevenir la ocurrencia de accidentes laborales, así como a identificar, evaluar, prevenir y controlar los factores de riesgo a la seguridad de los colaboradores y de los centros de trabajo.



# 1. INTRODUCCIÓN

El cuidado del medio ambiente es un tema en el que todos están involucrados sobre todo la industria, quienes deben velar por generar la menor cantidad de contaminación al medio ambiente, por lo cual se establecen ciertas normativas que regulan los valores máximos permisibles de vertimientos tanto de sólidos, líquidos o gases que pueden ser liberados al ambiente.

En la actualidad los residuos generados en la extracción de aceite de palma se han visto como una oportunidad de aprovechamiento, lo que los convierten en subproductos que pueden ser usados para procesos como biogás, pellets, compostaje, cogeneración, fertirriego, entre otras aplicaciones; pero para poder llegar a esto la biomasa o los residuos generados deben tener un tratamiento, para que puedan ser usados en las aplicaciones mencionadas anteriormente.

En presente informe se realiza por la necesidad de encontrar una solución al buen tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma africana, para que haya un buen proceso en el tratamiento se debe de tener varios aspectos que tomar en cuenta, entre los que se pueden mencionar las leyes nacionales para las descargas de aguas, y tener presente los parámetros que esta ley exige.

Las aguas residuales de una planta de extractora de aceite de palma africana, presenta parámetro que hay que tratar antes de descargarlos, entre los cuales se puede mencionar, demanda química de oxígeno, temperatura y partículas disueltas de aceite, por medio de unas lagunas de oxidación y por



medio de un sistema anaeróbico la demanda química del oxígeno se reduce hasta llegar a los valores establecidos en ley y por medio tiempo de retención del líquido en las lagunas la temperatura de líquido se baja a temperatura ambiente y se atrapan las partículas de aceite. Una vez se tienen los valores de las aguas residuales en los valores normados, se mandan a descargar.

Actualmente en las plantaciones de palma, que es época de verano, se debe utilizar el sistema de riego para mantener su producción estable, en este sistema se disuelve el agua de las lagunas para utilizarlo como un sistema de fertirriego, ya que el agua de las lagunas posee muchas propiedades para beneficio de las plantas de palma.

Se debe recordar que, en las lagunas de oxidación al momento de realizar la descomposición de la materia orgánica por medio del sistema anaeróbico de las lagunas de oxidación, en este proceso se genera gas metano, el cual si no está captado se va hacia la atmósfera, el gas metano ocasiona en la atmósfera genera calentamiento global.

Para evitar que el gas metano se valla hacia la atmósfera, se realiza un trabajo de carpado de las lagunas para capturar todo ese gas producido y se envía a un tratamiento para luego introducirlo a unos motores de combustión interna y así poder utilizarlo como combustible para generar electricidad.

El área de estudio de este proyecto es el área ambiental, tanto en las aguas residuales, como en el gas que esta produce para generar energía limpia.

El proyecto es una nueva innovación, y trae varios beneficios, entre los cuales se puede mencionar la generación de energía limpia, disminución de

olores en lagunas, energía eléctrica más barata y el proyecto factible para una inversión ya que si puede recuperar la inversión a un mediano plazo.



## 2. ANTECEDENTES

Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad, embalses contruidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo.

“En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.” (Gamarra, 2022, pág. 1)

Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO del efluente. Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

Los principales procesos biológicos son:

1. Oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias. La respiración bacteriana provoca la degradación de la DBO5 del agua residual hasta CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O produciendo energía y nuevas células.
2. Producción fotosintética de oxígeno. La fotosíntesis algal produce, a partir de CO<sub>2</sub>, nuevas algas, y O<sub>2</sub>, que es utilizado en la respiración bacteriana.
3. Digestión anaeróbica de la materia orgánica con producción de metano.  
CHONS + H<sub>2</sub>O → CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub> + NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>S + calor  
Materia nuevas células Orgánica bacterianas. (Gamarra, 2022, pág. 2)

Las características del efluente de la planta extractora de aceite de palma africana son: elevada temperatura, bajo pH, alta carga orgánica medida como DQO (con la ventaja de que un alto porcentaje es biodegradable), alta carga de sólidos suspendidos, y grasas y aceites residuales (generalmente considerado de difícil degradación).

El concepto del sistema de gestión de biogás es el siguiente:

- 1) Adaptación al biogás de las dos plantas eléctricas Diesel, para que funcionen como sistema Dual-Fuel (quemando los dos combustibles al mismo tiempo). Para lograrlo se inyecta el biogás en la tubería de succión de aire del motor, entre el filtro de aire y el turbo. Este sistema Dual-Fuel permite economizar entre un 40 y un 80 % del ACPM (combustible Diesel), según el tipo de adaptación (con o sin la regulación automática del flujo de biogás en función de la carga del motor).
- 2) Por la ubicación del sistema de inyección del biogás, entre el filtro de aire y el turbo, no es indispensable instalar un compresor para la succión del biogás. El sistema de conducción y filtración se diseñó de tal modo que la succión del turbo sea suficiente para conducir el biogás de la laguna a las plantas eléctricas, ubicadas a 200 metros de distancia, en cantidad suficiente para alimentar los motores.
- 3) Para alimentar las plantas eléctricas sin riesgo de corrosión de los motores, en particular de las piezas de cobre y de bronce en contacto con el aceite del motor, es necesario reducir la concentración de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) del biogás. Para lograrlo se implementó un sistema de filtración biológica con bacterias del género Thiobacillus,

que crecen en el medio gracias a una microinyección de oxígeno en el biogás. El sistema de filtración biológica tiene dos etapas (dos medios de soporte): la superficie de la laguna, y una torre empacada con material orgánico. La primera etapa permite reducir la concentración de H<sub>2</sub>S a menos de 400 ppm, y la segunda a valores inferiores a 80 ppm. Adicionalmente se incluyó en línea un filtro químico tradicional con óxido de hierro que sirve de pulimento y de sistema de emergencia, y reduce la concentración de H<sub>2</sub>S a valores inferiores a 30 ppm. (Conil, 1999)

Debido a que el biogás no se puede usar en plantas de energía solar térmica sin limpieza, es esencial reducir la humedad y todos los compuestos que pueden acortar la vida útil de cualquier equipo que use, y el biogás como combustible.

Una de las partes fundamentales de una planta de biogás destinada al uso del biogás como biocombustible es la planta de captación y limpieza.

Esta planta de captación y limpieza involucran un conjunto de equipos y tecnologías que son necesarias para una adecuada planificación y uso del biogás.

Estas plantas incluyen partes como:

- Sistema de tuberías y equipos (pote de condensados, separadores de espumas, filtros de partículas, filtros de grava, etc.,).
- Sistema de transporte. Soplantes centrifugas, de canal lateral y rotativas. Auxiliares como apagallamas, juntas de expansión y válvulas.
- Sistema de gestión del biogás. Antorcha, gasómetros y auxiliares.

El origen del biogás se encuentra en la descomposición anaeróbica (putrefacción) de la materia orgánica, y su contenido en metano (CH<sub>4</sub>) se encuentra en un amplio rango de valor, que oscila básicamente entre 35 a 70 %, y que depende en gran medida de su método de producción y tipos de materias involucradas. La concentración en metano es quien le otorga al biogás su característica como combustible. Este gas si se liberara a la atmósfera contribuiría al aumento del efecto invernadero, el metano (CH<sub>4</sub>) es 21 veces más contaminante que el CO<sub>2</sub>. (Limpieza de biogás, 2022, pág. 1)

En la tabla 1 se puede ver que potencial de calentamiento global posee el biogás.

Tabla I. **Potencial de calentamiento global GEI**

<b>GAS</b>	<b>GWP</b>
Dióxido de Carbono- CO <sub>2</sub>	1
Metano-CH <sub>4</sub>	21
Óxido Nitroso-N <sub>2</sub> O	310
Hexafluoroetano	2.500
Tetrafluorometano	6.300

Fuente: IPCC. 2013, *Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático 2013*

En este sentido, el aprovechamiento del biogás, como combustible o materia prima para la producción de otros productos, es la mejor opción, e implica un beneficio para el medio ambiente, no sólo porque se evita la emisión del gas metano a la atmósfera, sino porque además se reduce la emisión de otros gases causantes del efecto invernadero, que resultarían, por ejemplo, de la combustión de combustibles fósiles. Como fuente de energía renovable, el biogás es una fuente inagotable, limpia y que se puede utilizar de forma autogestionada. Es una de las energías renovables más accesible, dada la facilidad de su obtención.

Asimismo, su uso genera una menor contaminación ambiental y constituye una alternativa viable al agotamiento de energías fósiles, como el gas natural y el petróleo, dónde además se viene observando un incremento de los precios durante los últimos años. (Limpieza de biogás, 2022, pág. 1)

Hay varios usos para el biogás, en la tabla 2 se puede ver algunos ejemplos y la cantidad de gas que se utiliza en algunas aplicaciones.

Tabla II. **Consumo de gas en algunas aplicaciones**

<b>Equipo</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
Estufa de cocina	0.15-0.20
Lampara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0.10
Producción de 1KWh de corriente eléctrica con Biogás	0.70
Calentadores para crianza de animales	0.15-0.25
Motor Biogás-Diesel	0.42

Fuente: Uribe Trujillo, C., 2019. *Aprovechamiento Térmico y Eléctrico del Biogás*. Consulta: 17 de julio del 2022. Recuperado de: <https://docplayer.es/97174443-Aprovechamiento-termico-y-electrico-del-biogas-por-carlos-andres-uribe-trujillo.html>

Con un poder calorífico inferior (PCI) que se encuentra en el orden de los 4.000 a 6.000 kcal/m<sup>3</sup>, el biogás se puede aprovechar para producción y venta de electricidad y calor, emplear como biocarburante de automoción, utilizar para introducirse en la red de distribución de gas natural o como materia prima para la producción de H<sub>2</sub> y metanol. No obstante, la vía de aprovechamiento más eficaz



del biogás es la cogeneración, con la que se obtiene al mismo tiempo energía eléctrica y térmica. (Limpieza de biogás, 2022, pág. 1)

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

#### **3.1 Contexto y descripción**

Las lagunas de oxidación de aguas residuales en las plantas extractoras de aceite de palma africana, en el momento de la descomposición de la materia producen gas metano, el cual si no se capta se va hacia la atmosfera, produciendo problemas en la capa de ozono y produce calentamiento al planeta. Captado el gas producido y haciéndole un proceso de filtrado se envía a unos generadores los cuales, transforman la energía térmica en energía mecánica y la energía mecánica en energía eléctrica, en el proceso la quema del metano las temperaturas que alcanza dentro de los cilindros arriba de 500 °C el metano ya no es dañino para la atmósfera.

Las lagunas si no están carpadas el gas metano se va hacia la atmosfera y también si no están carpadas las lagunas producen olores, y si se cuenta con comunidades cercanas esto podría ocasionar problemas legales.

#### **3.2 Preguntas de investigación**

A continuación, las preguntas que esta investigación pretende responder:

##### **3.2.1 Pregunta central**

¿Cómo evitar que los gases producidos por la descomposición de la materia en una laguna de oxidación de una extractora de aceite de palma africana lleguen a la atmosfera?

### **3.2.2 Preguntas auxiliares**

- ¿Como mejorar las propiedades de las aguas residuales de planta extractora de aceite de palma africana para hacer descarga?
- ¿Cuánto de energía se puede producir con aguas residuales de una extractora de aceite de palma africana?
- ¿Qué beneficio se tendría con hacer carpas y captación de gas metano en las lagunas de oxidación?

### **3.2.3 Delimitación**

Este proyecto abarcará todo el proceso de tratamiento de aguas residuales, desde su salida de la planta procesadora hasta el uso final de descargas de aguas residuales, en el proceso intermedio de tratamiento se usará el gas que se produce en la descomposición de la materia orgánica para la producción de energía eléctrica.

## 4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realizará debido a la necesidad de darle un buen tratamiento a las aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma africana.

El tratamiento de aguas residuales se realizará en base a un sistema de lagunas de oxidación, en las cuales se debe realizar el trabajo de disminución de carga orgánica, elevar el pH del agua, y bajar temperatura del líquido y atrapar partículas de aceite.

El tratamiento aguas residuales se tomará desde que salen de la planta de producción hasta el destino final. El tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma africana debe de cumplir con una normativa de descargas de aguas residuales.

El presente proyecto se regirá por la línea ambiental, específicamente con la producción de gas metano en la descomposición de la materia orgánica en lagunas de oxidación y será de mucho beneficio, ya que por medio de los motores de combustión interna, se transformará la energía mecánica en energía eléctrica, la cual es una energía limpia, y esto ayudara en la disminución de consumo de combustibles fósiles (diésel), también existe la posibilidad de conectarse al sistema de red eléctrica, y poder vender energía.

El carpado de las lagunas ayudará en la no salida del gas hacia la atmosfera y reducción de olores en los lugares aledaños a la planta, con esto habrá menos problemas con las comunidades cercanas.

Con la generación de energía limpia, y dependiendo la cantidad de los motores instalados y la cantidad de energía generada, se puede beneficiar a alguna comunidad más cercana vendiéndole energía más barata.

El metano que se produce en las lagunas de oxidación de una planta extractora de aceite de palma africana es muchos más dañino para el ambiente que el  $CO_2$ , por eso es importante que se le haga su respectivo tratamiento para evitar que llegue hasta la atmosfera.

Se produce energía limpia y a bajo costo, utilizando el gas que se produce en la descomposición de la materia como combustible de motores.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Evitar que el gas metano producido por las lagunas anaeróbicas llegue a la superficie para no dañar la capa de ozono, y evitar calentamiento global.

### **5.2 Específicos**

1. Evitar malos olores en laguna de oxidación.
2. Ahorro de combustibles fósiles con generación de energía limpia.
3. Llegar a parámetros nacionales establecidos para las descargas de aguas residuales.



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

La principal necesidad que se cubrirá con esta investigación es disminuir considerablemente los problemas que provocan la contaminación del metano, producido en la descomposición de materia orgánica en aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma africana y el uso final que se le da las aguas residuales, al momento de la realización de este proyecto disminuirán los problemas ambientales con las comunidades y problemas legales por demanda de olores en lagunas.

Actualmente ya hay varias opciones para captar gas y distintas formas para hacer un biodigestor, también, marcas y precio de los motores de gas, se ofrecen diferentes opciones de compra y también estos tipos de proyectos se pueden inscribir en la ONU y poder optar para inscribirse en los CER o certificados de carbón.

Este tipo de proyecto cubrirá varias necesidades, entre las cuales se pueden mencionar, ahorro de consumo de combustibles fósiles (diésel), disminución de gases para disminuir el efecto invernadero, tanto en el metano como en la quema de diésel, producción de energía eléctrica industrial más barata y más limpia.

En varios países de Centroamérica, la mayoría de las plantas de beneficio cuenta con estos proyectos, al menos en Europa, hay exigencias de certificación y las certificaciones exigen mejoras continuas en las plantas de beneficio. Un proyecto como este da mejor presentación a las empresas que comercializan venta de aceite de palma africana.



Estos aspectos serán el pilar para la planificación de elaboración del presente proyecto, por lo que a continuación se definirán las fases en las que se dividirá el mismo:

Fase 1: Revisión documental: En esta etapa se debe revisar toda la documentación que puede servir de soporte para la investigación y desarrollo del proyecto, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

Fase 2: Analizar el proceso lagunas de oxidación: Se debe hacer un reconocimiento de las lagunas y se analizará, si hay que hacer modificaciones en el diseño de la laguna y si esta es de la capacidad se necesita, se tiene un tiempo estimado de realización de 8 días.

Fase 3: Análisis de la calidad de gas: se medirá la cantidad de metano que produce, el ácido sulfhídrico y el dióxido de carbono que produce también para ver qué tipo de filtro se usara, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

Fase 4: Diagnosticar requisitos para el proyecto: realizar un estudio de impacto ambiental permisos municipales y estudio de seguridad ocupacional, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

Fase 5: Diagnosticar y determinar los peligros potenciales: Se determinará todos los peligros que el personal que labore en lagunas y generación puedan estar expuestos, el estudio de seguridad industrial nos ayudara en esta fase se tiene un tiempo estimado de realización de 12 días.

Fase 6: Definir los puntos críticos del proyecto: aquí se debe estudiar los puntos críticos de los componentes del gas y los puntos críticos de las aguas residuales, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

Fase 7: Desarrollar un sistema de monitoreo de puntos críticos: Se establecerán los límites que permitirán garantizar un proceso de generación estable de energía y calidad del gas para una buena operación del motor de combustión interna, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

Fase 8: Definir acciones correctivas: en esta fase se va a crear un manual de funciones y procedimientos, posibles problemas y posibles soluciones en calidad de gas y problemas en la generación de electricidad, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

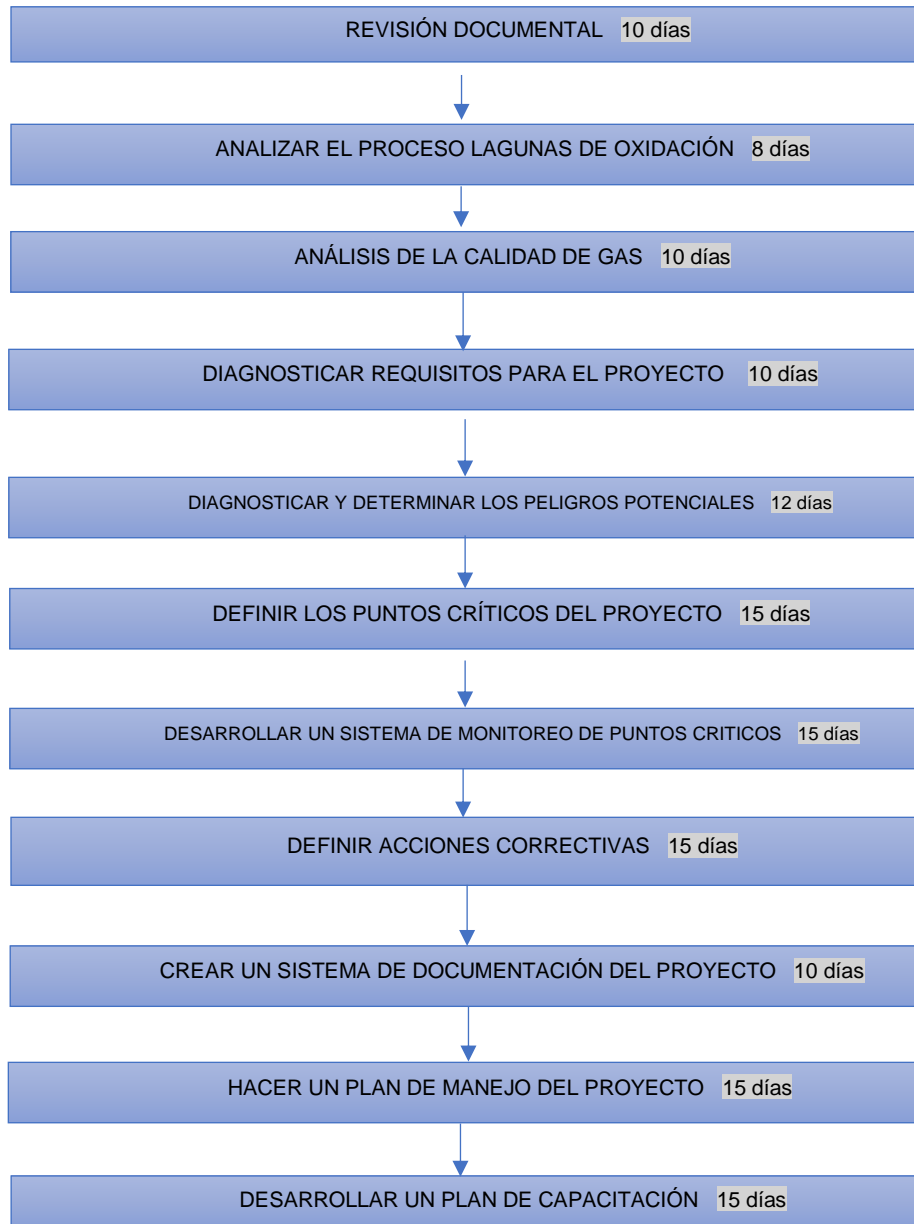
Fase 9: Crear un sistema de documentación del proyecto: En esta fase se van a crear documentos en los cuales se va a monitorear todos los parámetros que se deben cumplir para un buen funcionamiento del proyecto, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

Fase 10: Hacer un plan de manejo del proyecto: se realizará en esta fase un plan para que el proyecto, en los cuales ira plasmado todo el proceso y sus procedimientos se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

Fase 11: Desarrollar un plan de capacitación para la operación de proyecto: en esta fase se debe de hacer un plan de capacitación para que todo el personal que labore en este proyecto, este totalmente en la capacidad de operar las máquinas, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

El desarrollo de todas las fases tiene un tiempo estimado para su desarrollo de 260 días hábiles.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## 7. MARCO TEÓRICO

La palma aceitera o palma de aceite pertenece a la familia de las palmáceas y es proveniente, como su nombre lo indica, de África. Es una planta típicamente ecuatorial (cultivable en países sobre el ecuador) cuya área de dispersión se extiende entre los 16 grados de latitud norte y 15 grados de latitud sur. Existen gran variedad de palmas que suelen diferenciarse por el color, forma y el aspecto de su fruto. Estas plantas al desarrollarse sobre la zona ecuatorial requieren ciertas condiciones climáticas específicas para ser cultivadas. Dentro de estas condiciones de cultivo se sugiere su plantación en zonas de bosques húmedos tropicales con climas sobre todo cálidos húmedos que presenten temperaturas entre los 24 y 28 °C. Son plantas con necesidades de agua muy altas para las cuales se necesitan zonas con precipitaciones entre 1800-2500 mm y altitudes entre los 0 y 500 msnm. Requieren suelos limosos o arcillosos con pH entre 6 y 6,5. Su cultivo dura 4 años en desarrollo, 3 años en producción (cosecha) y en total 25 años aproximadamente de vida económica útil. Estas plantas presentan un rendimiento aproximado de 600 a 800 kg de almendras por año donde su cosecha se realiza de forma manual y esta se realiza cuando del racimo se desprendan de 8 a 10 frutos por sí solos. (Plata y Arredondo, 2018, p. 22)

Los procesos de extracción de dicho aceite conllevan una secuencia de etapas que van descritas desde la obtención de los racimos de fruta fresca (RFF) de la cima de los árboles hasta la obtención del aceite crudo de palma que posteriormente es llevado al proceso de refinación para obtener finalmente el producto de mayor interés del proceso que es el aceite RBD. Estos procesos se pueden realizar con tecnologías diferentes con base a las necesidades de

espacio en la planta o económicas que se tengan para el montaje y puesta en marcha de la misma. Sin tener en cuenta las etapas pretratamiento del racimo (pesado de la fruta, control de calidad y llenado de las góndolas) se obtienen las fases con mayor relevancia dentro del proceso de extracción de aceite. (Plata y Arredondo, 2018, pág. 23)

Figura 2. **Laguna de oxidación abierta**



Fuente: Biodigestores - plantas de biogás - generadores - energía. 2022. *Palma Africana (POME)*. [En línea] Disponible en: <<https://www.aqualimpia.com/biodigestores/palma-africana-pome/>> [Consultado el 21 June 2022].

## 7.1 **Generación de gas metano**

El biogás producido queda atrapado en la parte superior del reactor o laguna por una cubierta flexible o rígida. En pequeñas instalaciones, la forma más común de acumularlo es en dicha cubierta; sin embargo, existen casos en que el biogás no es acumulado en el reactor sino en estructuras ad hoc. En las grandes instalaciones es común que antes de la acumulación se remueva el ácido sulfhídrico para evitar la corrosión, y se realice un lavado del gas con el fin de

separar el dióxido de carbono para así reducir el volumen necesario de la unidad de acumulación. (Yadira, Laura, Fabián, Bryan y Yadira, 2019, pág. 42)

En la tabla III se puede apreciar la composición aproximada del biogás.

Tabla III. **Composición aproximada del biogás**

<b>Compuesto</b>	<b>% volumen</b>
Metano-- CH <sub>4</sub>	60-80
Dióxido de Carbono--- CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrogeno --- H <sub>2</sub>	0-1
Nitrógeno--- N <sub>2</sub>	1-2
Monóxido de Carbono --- CO	0-1,5
Oxígeno --- O <sub>2</sub>	0.1
Sulfuro de Hidrogeno --- H <sub>2</sub> S	0.1
Vapor de Agua --- H <sub>2</sub> O	0.3

Fuente: elaboración propia.

El biogás es removido del sitio de acumulación mediante un vacío generado en la tubería de conexión por una bomba situada al final de la cañería. Para permitir la entrega de gas a presión constante, se utiliza un gasómetro o un regulador de presión que libera el exceso de gas del reactor cuando ésta excede un límite establecido. (Nolasco, 2010, pág. 43)

## **7.2 Conducción**

La conducción del biogás en sistemas pequeños se realiza generalmente por mangueras de PVC, las cuales son inertes al sulfuro de hidrógeno.

Para evitar posibles daños producidos por la luz solar, personas o animales, las mangueras deben estar enterradas o elevadas y pintadas. En instalaciones donde la distancia entre el punto de captación de biogás y el punto de utilización son mayores, se utilizan tuberías rígidas de acero o PVC, que ofrecen mayor resistencia mecánica que las mangueras. (Nolasco, 2010, pág. 43)

### **7.3 Uso final del biogás**

Los principales usos que se le pueden dar al biogás son:

#### **7.3.1 Combustible para un motor o generador**

Mediante simples adaptaciones, los motores que funcionan con diésel pueden ser utilizados con biogás como combustible reemplazando hasta en 80 % el combustible original. En los motores a gasolina puede utilizarse 100 % biogás. Los motores más comúnmente adaptados para el uso de biogás son los motores diésel. La adaptación en motores diésel consiste en conectar la entrada de biogás al conducto que une el filtro de aire con el múltiple de admisión. El ingreso del biogás en el filtro de aire produce una aceleración del motor, para contrarrestar este efecto el control automático de la bomba de inyección hace que disminuya el suministro de diésel. Esta adaptación es posible en los motores de cuatro tiempos, pero no es recomendable en los de dos tiempos. (Nolasco, 2010, pág. 46)

Para poder utilizar el biogás se debe conocer las propiedades Físico-Químicas del gas, en la tabla 4 se pueden ver las propiedades físico-química del biogás:

Tabla IV. **Propiedades fisicoquímicas del biogás**

<b>Propiedad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	1.09
Solubilidad en agua	-	Baja
Presión Crítica	Psia	673.1
Temperatura Crítica	°C	82.5
Poder Calorífico	kcal/m <sup>3</sup>	4.500 a 6.500

Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME  
Guía de Implementación de Sistemas de Biogás. Marzo de 2003

### **7.3.2 Generación de energía térmica**

Las calderas o calefactores que habitualmente utilizan propano o gas natural pueden ser simplemente adaptadas para ser utilizadas con biogás. En plantas de tratamiento anaeróbicas ubicadas en regiones de clima frío, el biogás suele ser utilizado para calentar los reactores anaeróbicos, acelerando así el proceso de degradación orgánica y, por ende, la generación de gas metano. (Nolasco, 2010, pág. 46)

### **7.3.3 Cogeneración**

El biogás puede utilizarse para generar en forma simultánea energía mecánica mediante un motor o generador, y energía térmica mediante un intercambiador de calor donde se aprovechan las altas temperaturas de los gases de escape y del agua de refrigeración para calentar agua. De esta manera aumenta notablemente el rendimiento. Las desventajas de los sistemas de cogeneración son el alto costo de inversión inicial y que la demanda de energía debe ser constante, ya que estos sistemas no se



adaptan fácilmente a los cambios de demanda de potencia. (Nolasco, 2010, pág. 46)

#### **7.3.4 Quemado del metano**

Este proceso se realiza en instalaciones donde el volumen de biogás obtenido y los precios de la energía no justifican el aprovechamiento energético del biogás. (Nolasco, 2010, pág. 47)

El uso final que se le dé al biogás dependerá de las necesidades. Impactos ambientales de la captación y utilización de biogás. (Nolasco, 2010, pág. 47)

- Aspectos positivos
  - Disminución de olores.
  - Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
  - Reemplazo de combustibles no renovables por un combustible renovable.
  - Potencial para bonos de carbono (CER).

Figura 3. **Biodigestor carpado**



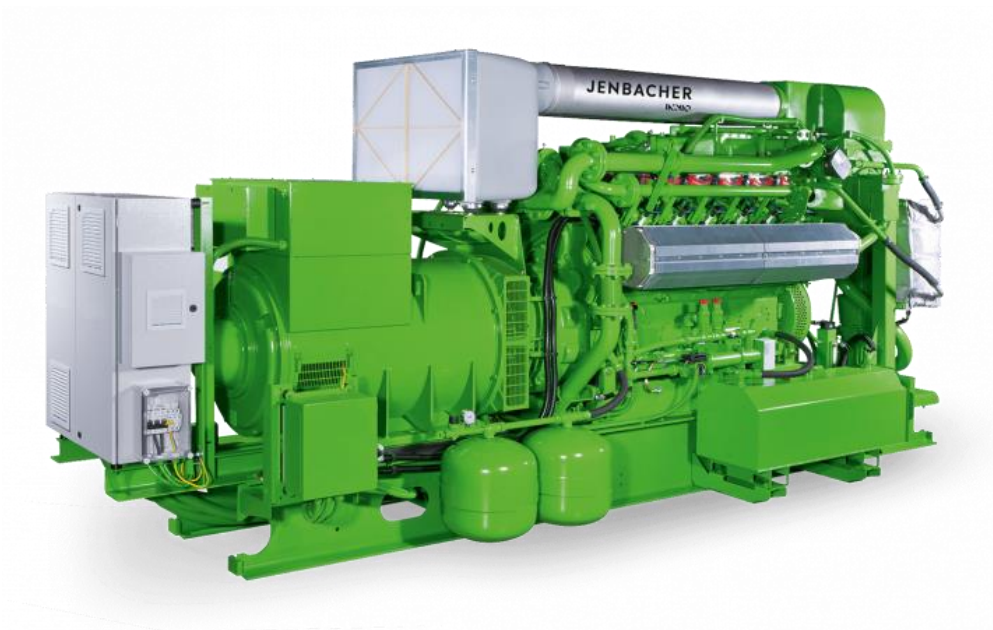
Fuente: Biodigestores - plantas de biogás - generadores - energía. 2022. *Biodigestores*. [En línea] Disponible en: <<https://www.aqualimpia.com/biodigestores/>> [Consultado 22 junio 2022].

Figura 4. **Generador guascor para biogás**



Fuente: Biodigestores - plantas de biogás - generadores - energía. 2022. *Biodigestores*. [En línea]  
Disponible en: <<https://www.aqualimpia.com/biodigestores/>> [Consultado 22 June 2022].

Figura 5. **Generador con motor para biogás marca Jenbacher**



Fuente: Innio.com. 2022. Disponible en: <https://www.innio.com/es/productos/jenbacher/tipo-3>  
[Consultado 22 junio 2022].

En estudios realizados se ha encontrado que la producción de metano es de aproximadamente 46 metros cúbicos del gas por cada tonelada de aceite crudo de palma obtenido, así mismo, se estima que aproximadamente por cada tonelada de racimos de fruta fresca (RFF) procesado se pueden obtener 15 metros cúbicos de metano. El metano como fuente de energía ha tomado gran importancia a nivel mundial, como se mencionó anteriormente, sobre todo por su poder de sustituir el diésel como principal precursor energético en las plantas de beneficio y así igualmente reducir la cantidad de gases de efecto invernadero que este produce; siendo así que industrias aceiteras como por ejemplo el caso de palmas del espinillo en Perú, lograron una reducción de aproximadamente 26,729 toneladas de CO<sub>2</sub> por año con la implementación del sistema de biodigestores para la producción de metano y su utilización como fuente de energía, además presentando la ventaja de tratar los efluentes al mismo tiempo que genera un producto. (Perez “y” Arredondo, 2018, pág. 48)

Para el análisis de las corrientes presentadas anteriormente se debe aclarar cómo afecta cada una de éstas en el efluente o POME (*palm oil mill effluent*); principalmente en las etapas de clarificación y esterilización. Dentro del proceso de clarificación los lodos generados presentarán una mayor cantidad de residuos sólidos en comparación con los efluentes que se obtienen en el condesado del esterilizador. Así mismo ambos efluentes (de la esterilización y clarificación) llevan trazas de aceites y grasas que no se logran recuperar. (Plata y Arredondo, 2018, pág. 55)

El POME debido al proceso por el cual se obtiene comúnmente suele contar en su composición con aproximadamente 95 - 96 % de agua, 0,6 - 0,7 % de aceite y 4 - 5 % de sólidos totales dentro de los cuales se puede encontrar de 2 a 4 % de sólidos suspendidos provenientes de residuos del mesocarpio. Las propiedades del POME suelen variar significativamente

con los procesos y las tecnologías aplicadas en cada una de las plantas. Comúnmente el POME suele salir de la planta ligeramente ácido con un pH entre 4 y 5 debido a los ácidos orgánicos que se forman por procesos de fermentación, además, suele salir a una temperatura relativamente alta debido a que una gran parte de este proviene de vapores condensados utilizados en el proceso de clarificación. (Plata y Arredondo, 2018, pág. 55)

Biogás es la fermentación metanogénica, los microorganismos metanogénicos convierten los productos en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> principalmente. La producción de biogás de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma para generar energía ha sido explotada comercialmente. Cada metro cúbico de POME tiene un potencial entre 25 y 35 m<sup>3</sup> de biogás o 150-210 kWh. Un beneficio de realizar el proyecto con biogás es que produce energía renovable y abono orgánico de manera permanente, lo que genera ingresos continuos y sostenibles, además de eliminar emisiones de gases efecto invernadero y generar malos olores al no tener las lagunas carpadas. La generación de biogás se hace por medio de la captura de biogás por medio de la cobertura de la laguna anaerobia, luego el biogás pasa por una batería de filtros de H<sub>2</sub>S y extracción de humedad antes de que se alimenten a un motor de combustión interna modernizado para generar electricidad. (Plata y Arredondo, 2018, pág. 120)

Después de ya tener las lagunas ya carpadas, el gas hay que llevarlo al área donde se encuentran los generadores por medio de un equipo que se llama soplador (Fig. 5) el cual tiene dos funciones, succión de gas y descarga de gas a los motores, estos sopladores poseen un sistema conectado a un transmisor de presión el cual le manda la señal al soplador para mantener la presión necesaria para que los generadores siempre se compensen y mantenga la velocidad constante y por lo tanto no cambie la frecuencia.

Figura 6. **Sopladores de gas**



Fuente: [Fotografía de Aramis de León] (Tecun Umán, San Marcos, 2021)  
Colección particular.

El gas después ser succionado por los sopladores pasan a dos filtros (Fig. 6) los cuales son los encargados de disminuir el ácido sulfhídrico a valores en los que los motores no se dañen por corrosión (0 a 200 ppm).

Figura 7. **Filtros de gas**



Fuente: [Fotografía de Aramis de León] (Tecun Umán, San Marcos, 2021)  
Colección Particular.

El gas cuando es producido en los biodigestores contiene alta humedad, por tal motivo no se puede enviar en esas condiciones a los porque esto causaría oxidación en los motores por lo que se utiliza un equipo llamado Chillers (Fig. 7) que es un sistema que atrapa la humedad del gas.



Figura 8. **Chiller industrial**



Fuente: [Fotografía de Aramis de León] (Tecun Umán, San Marcos, 2021). Colección particular





## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Extracción de aceite de palma africana

3.1.1.1 Proceso de extracción de aceite de palma africana

3.1.1.2 Recepción de fruta

3.1.1.3 Esterilización de fruta

3.1.1.4 Extracción de aceite

3.1.1.5 Palmisteria

3.1.1.6 Prensa de raquis

3.1.1.7 Clarificación

3.1.1.7.1 Clarificación estática

3.1.1.7.2 Clarificación Dinámica

- 3.1.1.8 Florentinos
- 3.1.1.9 Lagunas de Oxidación

### 3.2 Proceso en producción de Biogás

3.2.1 Lagunas anaeróbicas

3.2.2 Lagunas facultativas

### 3.4 Planta de con generación con biogás

3.4.1 Biofiltros de gas

3.4.2 Sopladores de gas

3.4.3 Chiller para quitar humedad de gas

3.4.5 Medidor de Biogás

3.4.6 Generadores de biogás

## 4 PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Cantidad de biogás producido

4.2 Cantidad de energía producida

4.3 Costo de mantenimiento anual

4.4 Costo de KW industrial en mercado

4.5 Comparación del valor de KW producido con el valor de venta en el mercado

4.6 Evaluación de propuestas para el proyecto

4.7 Tiempo de recuperación de la inversión

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

La metodología que a continuación se presenta en este proyecto de graduación, desde su fase de investigación hasta su fase de desarrollo.

### **9.1 Características del estudio**

El estudio tendrá las siguientes características:

#### **9.1.1 Enfoque**

El presente trabajo de graduación tiene un enfoque ambiental, ya que está basado en la identificación de los peligros potenciales que puedan representar el metano producido por los biodigestores de una planta de beneficio de palma africana, por medio de una estrategia de observación de los procesos y el uso de los recursos materiales y humanos de la empresa, la cual permitirá un análisis profundo del tratamiento de aguas residuales y la identificación de los puntos críticos del mismo, siendo esta la parte cualitativa. Y debido a que los peligros potenciales deberán ser valorados se obtendrán características cuantitativas basadas en probabilidad y gravedad, identificando de esta manera la criticidad en cada etapa del proceso.

#### **9.1.2 Alcance**

El alcance de la investigación será de tipo descriptivo, ya que tiene como objetivo recolectar información sobre el proceso de tratamiento de aguas residuales de una planta de beneficio, evaluarla y construir a través de ella un

plan de trabajo que se plasmará en un documento escrito que servirá para establecer una base sólida de ejecución que permitirá la reducción de los riesgos en el tratamiento de aguas residuales a lo largo de toda su línea de su diagrama de flujo y garantizar en buen tratamiento producto para la descarga a un ente receptor.

### **9.1.3 Diseño**

El diseño adoptado será no experimental ya que la información será obtenida a través de la observación participativa del proceso de tratamiento de aguas residuales, la misma no será manipulada o modificada, solamente será utilizada como base para la estructura del proyecto, algunas técnicas que se implementarán serán la revisión de documentos, las visitas de campo y las entrevistas informales. Esto permitirá construir una impresión objetiva sobre la ejecución del proceso en la documentación escrita y en la práctica.

## **9.2 Fases del estudio**

A continuación, se describen las fases en las cuales se divide el desarrollo de la investigación.

### **9.2.1 Fase 1: Revisión documental**

En esta etapa se debe revisar toda la documentación que puede servir de soporte para la investigación y desarrollo del proyecto, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

### **9.2.2 Fase 2: Analizar el proceso de lagunas de oxidación**

Se debe hacer un reconocimiento de las lagunas y se analizará si hay que hacer modificaciones en el diseño de la laguna y si la capacidad es la que se necesita, se tiene un tiempo estimado de realización de 8 días.

### **9.2.3 Fase 3: Análisis de la calidad de gas**

Se medirá la cantidad de metano que produce, el ácido sulfhídrico y el dióxido de carbono que produce también para ver qué tipo de filtro vamos a usar, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

### **9.2.4 Fase 4: Diagnosticar requisitos para el proyecto**

Realizar un estudio de impacto ambiental permisos municipales y estudio de seguridad ocupacional, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

### **9.2.5 Fase 5: Diagnosticar y determinar los peligros potenciales**

Se determinará todos los peligros que el personal que labore en lagunas y generación puedan estar expuestos, el estudio de seguridad industrial ayudará en esta fase se tiene un tiempo estimado de realización de 12 días.

### **9.2.6 Fase 6: Definir los puntos críticos del proyecto**

Se debe estudiar los puntos críticos de los componentes del gas y los puntos críticos de las aguas residuales, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

### **9.2.7 Fase 7: Desarrollar un sistema de monitoreo de puntos críticos**

Se establecerán los límites que permitirán garantizar un proceso de generación estable de energía y calidad del gas para una buena operación del motor de combustión interna, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

### **9.2.8 Fase 8: Definir acciones correctivas**

En esta fase se va a crear un manual de funciones y procedimientos, posibles problemas y posibles soluciones en calidad de gas y problemas en la generación de electricidad, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

### **9.2.9 Fase 9: Crear un sistema de documentación del proyecto**

En esta fase se va a crear documentos en los cuales se va a monitorear todos los parámetros se deben cumplir para un buen funcionamiento del proyecto, se tiene un tiempo estimado de realización de 10 días.

### **9.2.10 Fase 10: Hacer un plan de manejo del proyecto**

Se realizará en esta fase un plan en el cual se detallará todo el proceso y sus procedimientos y se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.

### **9.2.11 Fase 11: Desarrollar un plan de capacitación para la operación del proyecto**

En esta fase se debe de hacer un plan de capacitación para que todo el personal que labore en este proyecto, este totalmente en la capacidad de operar las máquinas, se tiene un tiempo estimado de realización de 15 días.





## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se llevarán a cabo visitas a la planta de beneficio para conocer el proceso de tratamiento de aguas residuales y determinar sus etapas, obtener tiempos, temperaturas y condiciones específicas, que serán presentadas en forma de diagramas de recorrido y diagramas de flujo de operaciones.

A partir de determinar las etapas del diagrama de flujo de proceso se identificarán los peligros potenciales, químicos y físicos, que pueden afectar la calidad del as, para ello se investigará la naturaleza de los lodos y se revisará la documentación respectiva existente en la empresa, lo obtenido se presentará en una tabla.

Al ser identificados los peligros potenciales, químicos y físicos, se utilizará una matriz de decisión para determinar si un peligro es significativo o no, basándose en la probabilidad de ocurrencia y la severidad del mismo. Los resultados de esto se presentarán en una tabla.

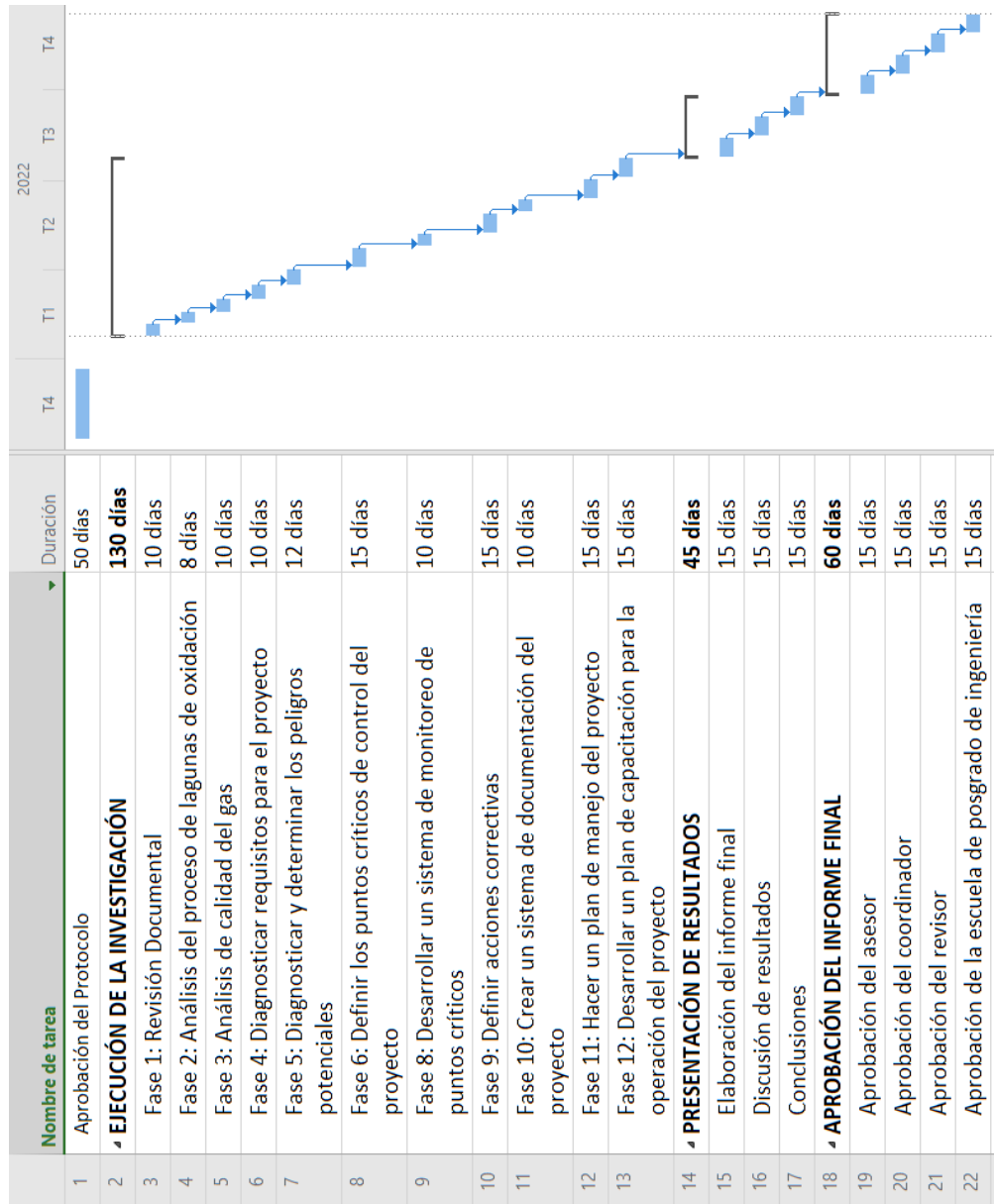
Al tener identificados los peligros significativos del proceso, se utilizará un árbol de decisiones de determinación de puntos críticos de control, para identificar si el peligro requiere convertir la etapa del proceso en un punto crítico de control, esto se presentará en una tabla.

Con toda la información obtenida se estructurará un plan maestro, en el cual se establecerá el seguimiento, al cumplimiento de los límites críticos establecidos para cada punto crítico de control, identificando cómo, con qué

frecuencia y quienes serán los responsables, el mismo será presentado en un formato detallado.

# 11. CRONOGRAMA

Figura 9. Cronograma



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta el presupuesto estimado para la elaboración del Proyecto de APROVECHAMIENTO DE GAS METANO GENERADO EN LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.

Toda la elaboración del proyecto se estima que será realizado por una sola empresa y en la tabla 4 se presenta los valores aproximados para el proyecto.

Tabla V. **Valores aproximados para el proyecto**

ÍTEM	Descripción	Cantidad	Total, en US\$
1	Motores JENBACHER	2	1,800,000.00
2	Varios	1	40,000.00
1	Carpado, aislado, filtrado y secado de gas	1	1,685,000.00
	Total		3,485,040.00

Fuente: elaboración propia.

El financiamiento del proyecto se hará con un préstamo a una Banco Nacional y se hará la depreciación a 5 años.



### 13. REFERENCIAS

1. Ade Sri Rahayu, D. K. (2015). *Handbook POME-to-Biogas Project Development in Indonesia*. Winrock International.
2. Althausen, M. (2017). Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio- Convertir un residuo en un recurso. *Revista Palmas*, 31-37.
3. Carrillo, L. (2003). *Microbiología Agrícola*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/carrillo-leonor-microbiologia-agricola-completo-5-pdf-free.html>
4. Conil, P. (1999). *Library*. Obtenido de <https://1library.co/document/qod9wemz-aprovechamiento-biogas-lagunas-perfil-proyecto-palmeiras-tumaco-colombia.html>
5. Deublein, D. S. (2011). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
6. Diana Chaparro, N. R. (2021). Mejores practicas en tratamiento de efluentes de la planta de beneficio y captura de biogas. *Boletín El Palmicultor*, 17-19.
7. Dzulkiflee, M. R. (2019). Desarrollo de proyectos de biogás en Felda Palm Industries. Reflexiones, camino a seguir y oportunidades de generación de valor para el biogás a base de aceite de palma – Bio



CNG y biogás para generación de energía fuera de la red . *Revista Palmas*, 129-130.

8. Gamarra, J. (2022). *Tratamiento de Aguas residuales en Pequeñas Comunidades*. Obtenido de Academia.edu: [https://www.academia.edu/9474104/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_residuales\\_en\\_Peque%C3%B1as\\_Comunidades](https://www.academia.edu/9474104/Tratamiento_de_Aguas_residuales_en_Peque%C3%B1as_Comunidades)
9. GEF, M. /. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago, Chile.
- 10, Guatemala,G. d. (2019). *Anuario Estadístico 2018-2019*. Guatemala: Gremial de Palmicultores de Guatemala.
11. IPCC. (2013). *Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático 2013*.
12. Izaba, M. C. (2021). Adaptación de una Cocina Industrial de Gas Licuado de Petróleo a Biogás. *El Higo Revista de Ciencia y Tecnología*, 15-25.
13. Jaime Martí-Herrero, E. A. (2015). *Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador* . Sector Público Gubernamental .
14. Lianys Ortega, S. R. (2015). Ingeniería Hidráulica y Ambiental. *Principales métodos para la desulfuración del biogás*, 45-46.
15. *Limpieza de biogás*. (2022). Obtenido de Condorchem Envitech: <https://condorchem.com/es/limpieza-de-biogas/>

16. Lira, P. (2021). *Evaluación de proyectos de inversion*. Peru: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
17. Loh, S. N. (2017). First Report on Malaysia's experiences and development in biogas capture and utilization from palm oil mill effluent under the Economic Transformation Programme: Current and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, , 1257-1274.
18. Nidia Ramirez, D. M. (2021). Emisiones de GEI y desempeño económico del sector palmero. *Palmas*, 15-48.
19. Nolasco, D. A. (27 de 08 de 2010). *Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de [https://issuu.com/idb\\_publications/docs/technicalnotes\\_es\\_79093/52](https://issuu.com/idb_publications/docs/technicalnotes_es_79093/52)
20. Nolasco, D. A. (2010). *Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales | Publications*. Obtenido de [Publications.iadb.org](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Desarrollo-de-proyectos-MDL-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales.pdf).  
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Desarrollo-de-proyectos-MDL-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales.pdf>
21. Perez, P. ", y Arredondo, M. C. (2018). *Fundacion Universidad de America*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6730/1/6131008-2018-1-IQ.pdf>

22. Romero, I. G. (09 de 2017). *¿Que es el biogás?* Obtenido de Docplayer: <https://docplayer.es/60230512-Que-es-el-biogas-prep-dipl-ing-gabriel-moncayo-romero-09-2017.html>
23. Sharifah Mohammad, S. B. (2021). Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes. *Processes*.
24. Speece, R. E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Nashville, Tenn: Archae Press.
25. Uribe, J. G. (1997). *Manejo de efluentes de plantas extractoras*. Santafe de Bogota: Centro de Investigacion en Palma de Aceite.
26. Varnero M.T., C. M. (2012). Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. *Información Tecnológica Vol. 23*.
27. Vasquez, P. A. (2016). *Ingeniería economica ¿como medir la rentabilidad de un proyecto?* Lima: Universidad de Lima.