



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIOGÁS EN EL MUNICIPIO DE PATZÚN,
CHIMALTENANGO**

Heber Adonías Canú Cojtí

Asesorado por el Mtro. Ing. Francisco Tzirin Jocholá

Guatemala, enero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIOGÁS EN EL MUNICIPIO DE PATZÚN,
CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
POR

HEBER ADONIAS CANU COJTI
ASESORADO POR EL MTRO. ING. FRANCISCO TZIRIN JOCHOLÁ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. 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. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Endor Steve Ortiz del Cid
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIOGÁS EN EL MUNICIPIO DE PATZÚN, CHIMALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 21 de octubre de 2023.



Heber Adonias Canú Cojtí



EEPFI-PP-1757-2023

Guatemala, 21 de octubre de 2023

Director

Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Mtro. 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 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA A BASE DE BIOGAS EN EL MUNICIPIO DE PATZUN, CHIMALTENANGO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energías renovables e incidencia en la matriz energética de Guatemala. - Análisis y tendencias en la matriz energética nacional, regional y global**, presentado por el estudiante **Heber Adonias Canú Cojtí** carné número **201314324**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión De Mercados Electricos Regulados.

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. Francisco Tzirin Jocholá
Asesor(a)



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



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Oficina Virtual



<https://bit.ly/EEP-OficinaVirtual>



solicituddeep@ingenieria.usac.edu.gt



EEP-EIME-1573-2023

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 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA A BASE DE BIOGAS EN EL MUNICIPIO DE PATZUN, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Heber Adonias Canú Cojtí**, 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



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

Guatemala, octubre de 2023

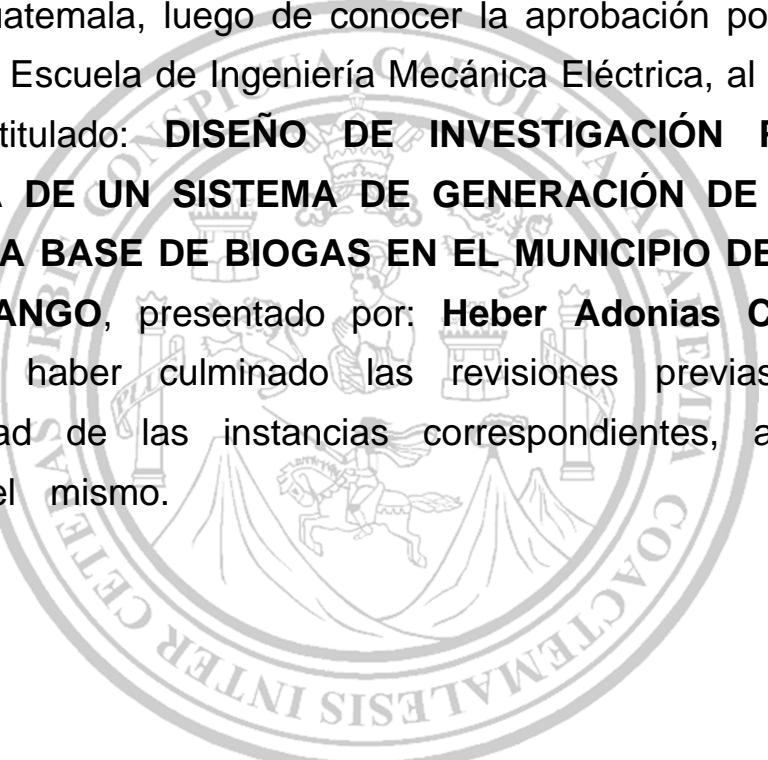
Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

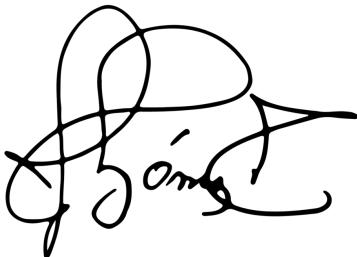
LNG.DECANATO.OIE.80.2024

El Decano 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 PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA A BASE DE BIOGAS EN EL MUNICIPIO DE PATZUN, CHIMALTENANGO**, presentado por: **Heber Adonias Canu Cojti** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 28/01/2024 11:14:05
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.



Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, enero de 2024

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: 2024 Correlativo: 80 CUI: 2435542570407

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (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 la oportunidad de sumergirme en el maravilloso mundo del saber
Mis padres	Dámaris Cojtí y David Canú por no dejar de creer en mí a pesar de mis imperfecciones.
Mi hermana	Eunice Canú por enseñarme que todo se puede lograr en esta vida.
Mis hermanos	Eliecer y Eliú Canú, por su compañía durante mi vida.
Mi abuelo	Ciriaco Canú (q. e. p. d.) por apostarle a la educación.
A mi	Heber Adonias Canú Cojtí, por jamás darme por vencido y verle siempre el lado bueno de las cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por permitirme edificar en ella mi presente.

Gloriosa Escuela Nacional Central de Agricultura - ENCA - Por formarme y enseñarme a creer en mí.

Mis amigos Por el apoyo incondicional recibido desde el inicio de la carrera.

Ingenieros Por enseñarme a mantener los pies sobre la tierra, en especial al Ingeniero Francisco Jocholá Tzirín por el acompañamiento en el desarrollo de mi tesis, sin el cual no hubiese podido llegar en este momento.

Mi novia Ketzallí Taquirá Teleguario, por ser mi mayor inspiración en esta vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.3.1. Pregunta central	10
3.3.2. Preguntas auxiliares	10
3.4. Delimitación del problema	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21

7.1.	Desechos orgánicos.....	21
7.2.	Bioenergía	21
7.2.1.	Tipos de bioenergía.....	22
7.2.1.	Biogás	23
7.3.	Manejo y aprovechamiento de los desechos orgánicos a nivel regional	25
7.4.	Manejo y aprovechamiento de los desechos orgánicos a nivel local	27
7.5.	Tecnologías de producción de biogás.....	30
7.5.1.	Digestor de mezcla completa	31
7.5.2.	Biodigestor tipo hindú o campana flotante	32
7.5.3.	Biodigestor tipo chino o cúpula fija	33
7.6.	Generador Distribuido Renovable en Guatemala.....	34
7.6.1.	Regulaciones, normas y leyes.....	36
7.6.2.	Capacidad instalada de GDR en Guatemala.....	37
7.7.	Factibilidad en proyectos de bioenergía.....	38
7.7.1.	Factibilidad técnica	39
7.7.2.	Factibilidad económica financiera	40
7.7.3.	Variables para la formulación y desarrollo de un proyecto de biogás	41
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.	METODOLOGÍA	49
9.1.	Características del estudio	49
9.2.	Unidades de análisis	49
9.3.	Variables	50
9.4.	Fases de estudio	51

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	55
10.1.	Muestreo probabilístico.....	55
10.2.	Muestreo aleatorio simple.....	55
10.3.	Definición de la población.....	56
10.4.	Análisis de regresión lineal	57
11.	CRONOGRAMA.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
	REFERENCIAS	63
	DOCUMENTOS DEL ASESOR	69
	APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Equivalentias del valor energético del biogás	25
Figura 2.	Esquema de la configuración del reactor de mezcla completa	32
Figura 3.	Biodigestor tipo hindú o campana o domo flotante	33
Figura 4.	Biodigestor tipo chino.....	34
Figura 5.	Variables independientes y dependientes del tamaño de un proyecto	41
Figura 6.	Variables independientes y dependientes de localización de un proyecto	42
Figura 7.	Variables interdependientes de ingeniería de proyectos	43
Figura 8.	Curriculum vitae de asesor	69

TABLAS

Tabla 1.	Composición química del biogás estándar	23
Tabla 2.	Definición teórica y operativa de las variables.....	50
Tabla 3.	Cronograma de actividades propuesto	59
Tabla 4.	Recursos necesarios	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H_2O	Agua
NH_3	Amoníaco
CO_2	Dióxido de carbono
CH_4	Gas metano
$^{\circ}C$	Grados Celsius
H_2	Hidrógeno
Kg	Kilogramos
MJ	Megajulios
MW	MegaWatts
$MW\cdot h$	MegaWatts-hora
m^3	Metros cúbicos
CO	Monóxido de carbono
N_2	Nitrógeno
O_2	Oxígeno
$\%$	Porcentaje
H_2S	Sulfuro de hidrógeno

GLOSARIO

Aguas residuales	Son cualquier tipo de agua cuya calidad se ha visto afectada negativamente por la influencia antropogénica, es decir, por la acción del ser humano.
Altiplano	El Altiplano se ubica en el valle central de Guatemala. Se caracteriza por tierras fértiles, abundante agua en la forma de manantiales y ríos que corren por los profundos barrancos que rodean el valle.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista. Entidad encargada de la operación técnica y comercial del mercado mayorista en Guatemala.
Anaeróbico	Proceso biológico en el que los microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo (BID) es una organización financiera internacional con sede en Washington, D.C., Estados Unidos, que se dedica a financiar proyectos viables de desarrollo económico, social e institucional en América Latina y el Caribe.
Biogás	Gas renovable compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono obtenido a partir de la

degradación anaerobia –sin oxígeno– de residuos orgánicos.

Biomasa La biomasa es un tipo de energía renovable generada a partir de la combustión de materia orgánica.

CNEE Agente estatal del Gobierno de Guatemala, dedicado a regular y dirigir el desarrollo de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país.

Diseño experimental Técnica estadística que se utiliza para identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental.

Eficiencia Se refiere a la capacidad de hacer algo de manera efectiva y sin desperdiciar recursos, ya sean materiales, energéticos, de tiempo o de esfuerzo.

Fluctuación Término que se utiliza en diferentes campos para describir variaciones o cambios en una cantidad o valor determinado.

Fotosíntesis Proceso biológico que utilizan muchos organismos celulares para convertir la energía lumínica en energía química, que almacenan en compuestos orgánicos que pueden ser metabolizados posteriormente a través de la respiración celular para alimentar las actividades del organismo.

GDR	Generador Distribuido Renovable, es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de generación de electricidad, que se conecta a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual al que establece el RLGE.
GEI	Son aquellos gases que se acumulan en la atmósfera terrestre y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, institución pública encargada de regular la gestión ambiental y los recursos naturales del país.
Matriz energética	La matriz energética es la combinación de fuentes de energía primaria que se utiliza en una zona geográfica, y representa la cantidad de energía disponible en un lugar.
MEM	Institución rectora de los sectores energético y minero, que fomenta el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales del país.
Metano	Es el hidrocarburo más simple y el principal componente del gas natural.

Mini vegetales

Una mini vegetal es una hortaliza que se cosecha muy joven, sin ser organismos modificados genéticamente.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica a partir del biogás es una tecnología cada vez más relevante en el campo de la producción energética sostenible. Guatemala como parte del Acuerdo de París, el cual busca mitigar los efectos del cambio climático dando respuesta mundial a esta amenaza propiciando, incentivando y desarrollando proyectos sostenibles orientados a la independencia de los combustibles fósiles en la generación eléctrica.

Guatemala cuenta con una riqueza de tierras fértiles destinadas a la producción de vegetales y mini vegetales de exportación las cuales están concentradas en el occidente del país, los actuales sistemas de producción no aprovechan al máximo los excedentes del material vegetativo generados posterior a los ciclos de producción agrícola por lo que con este estudio se pretende determinar la capacidad de producción de biogás a partir de un sistema de biodigestor en el municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango, considerando únicamente como materia prima los residuos orgánicos generados posterior a los ciclos de producción agrícola de la región.

La particularidad del trabajo de investigación consiste en su innovación ya que se pretende utilizar materia prima que hasta el momento ha sido desaprovechada desde la adopción de los cultivos no tradicionales de exportación, de acuerdo con testimonios de agricultores de la región, la producción de hortalizas no es una fuente significativa de ingresos para las familias, es más una forma de subsistencia debido a la fluctuación de los precios en el mercado al no contar con contratos que establezcan precios fijos con las exportadoras, con dicho estudio se pretende proyectar la capacidad de

generación eléctrica a partir de la producción de biogás mediante el análisis de los datos recopilados de un diseño experimental el cual permita cuantificar en unidades de KW-h la producción de energía eléctrica y a su vez cuantificar los ingresos que podrían generarse en la implementación de este proyecto con el cual mejoraría los ingresos de las familias involucradas y por ende su calidad de vida.

En el primer capítulo se presentará el marco referencial del estudio, tomando en cuenta información asociada a la problemática a tratar, estudios previos que sustentarán la investigación propuesta y todos los antecedentes que podrán ser de utilidad para que el público lector del trabajo de graduación pueda entender y comprender lo mejor posible lo que pretende transmitir el investigador. Cabe mencionar que dicho capítulo se realizará con base en artículos científicos y de revistas, tesis de maestrías y licenciatura, normativa nacional entre otros documentos.

El segundo capítulo está conformado por el marco teórico, el cual se elaborará en función de las tres variables principales del estudio: capacidad de generación de biogás, capacidad de generación eléctrica y efectos de las condiciones climáticas en la eficiencia del proceso. Dentro de los subtemas que serán abordados se resaltan las definiciones de cada variable, los tipos de biodigestores y conceptos asociados a cada uno de estos, con el fin de complementar la temática que se estudiará.

En el tercer capítulo se presentarán los resultados obtenidos, en donde esencialmente los datos que se podrán observar serán los correspondientes a cada objetivo específico: tecnología a utilizar para la producción de biogás, capacidad potencial de producción de biogás por unidad de volumen de material

orgánica y la fluctuación en la producción de biogás mediante el análisis de los datos recopilados del diseño experimental.

Finalmente, en el cuarto capítulo se discutirán los resultados obtenidos por medio de la respuesta a cada una de las preguntas de investigación formuladas en el planteamiento del problema. Se partirá de la pregunta de investigación del primer objetivo específico hasta llegar a responder la pregunta del objetivo general la cual podrá ser respondida con base a las tres respuestas y discusiones anteriores. En este capítulo se evidenciará si la problemática fue resuelta por medio de la investigación propuesta.

2. ANTECEDENTES

Es preocupante el problema generalizado del mal manejo de los desechos orgánicos e inorgánicos en el país esto se debe a que no existen leyes que regulen o establezcan procedimientos técnicos adecuados para su reciclaje, aprovechamiento o eliminación, también puede darse la falta de cumplimiento de las leyes por diferentes razones tales como la desinformación, la dificultad práctica de la implementación, falta de incentivos, entre otros generando una serie de problemas relacionados con la contaminación ambiental, contaminación de suelo y agua, creación de basureros clandestinos, proliferación de enfermedades entre otros.

Actualmente el nuevo marco regulatorio de Guatemala permite la Generación eléctrica a partir de fuentes verdes de tipo renovables denominados Generación Distribuida Renovable (GDR), otorgando incentivos, exoneraciones, entre otros beneficios para la planificación, desarrollo y ejecución de proyectos de este tipo.

En Guatemala se tienen las condiciones para ejecutar proyectos de GDR cuya característica es que su tecnología está orientada en la utilización de fuentes de energía renovable entre las cuales encontramos el biogás. Con el análisis de la generación de potencia utilizando el biogás como combustible obtenido a partir de una muestra de residuos orgánicos, García (2019) sugiere que se tome en cuenta varios tipos de tecnologías para la generación eléctrica, según las condiciones locales para que el proyecto se desarrolle de la mejor manera posible.

En el territorio Nacional se tienen instaladas varias plantas cogeneradoras donde utilizan la biomasa como materia prima, lo descrito por Rodríguez (2017), es que se adopta esto para un aprovechamiento de los residuos y así abastecer la demanda de potencia de sus propias instalaciones, también la potencia excedente se comercializa y por ende se generan ingresos para la empresa y por último para contribuir con la producción de energía a partir de fuentes renovable.

Con ello se apoya la idea de que un GDR a base de biogás tiene una viabilidad técnica como se pretende demostrar en esta investigación.

El *Plan Nacional de Energía 2020-2034* de la Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia (2020) menciona que, Guatemala cuenta con potencial para la producción eléctrica a partir de biogás obtenidas de distintas fuentes, como residuos agrícolas, desechos ganaderos y lodos de plantas de tratamiento.

Según Ministerio de Energía y Minas (2018) indica que, dentro de las energías obtenidas con recursos renovables, la bioenergía es la que contiene mayor fuente de energía y suministra a nivel mundial el 10 % de energía demandada, esto fortalece los ejes transversales de acción planteados por el MEM para el 2050. En la política mencionada se aborda el concepto de Desarrollo Sostenible, el cual se basa en una sociedad y gestión de los recursos renovables sostenibles. Esta investigación se elabora con interés en fortalecer uno de los alcances de la *Política Energética* del MEM (2018) que indica, “la necesidad de crear participación sectorial promoviendo el diálogo y la identificación de las necesidades características de cada sector energético” (p. 18).

Considerando lo anterior, se propone aprovechar el material vegetativo generado posterior a los ciclos de producción agrícola de mini vegetales de ciclo

corto que son destinados para la exportación en el municipio de Patzún Departamento de Chimaltenango, de acuerdo a la investigación realizada por Aldana (2021) del área de frutas y verduras del mercado Concepción Villanueva, demuestra que un 97 % de sus desechos diarios contienen potencial energético, brindando una mayor calidad dado que este recurso cuenta con bajos niveles de agentes contaminantes que les rodea.

En Guatemala, la generación eléctrica con biogás ofrece diversos beneficios, como la diversificación energética contribuyendo a la generación eléctrica obtenida a partir de fuentes renovables, en términos ambientales, reduce las emisiones de gases que causan el efecto de invernadero (GEI) y por ende mermar el calentamiento global. Además, la implementación de proyectos de obtención de biogás puede generar empleo local, promover la sostenibilidad y contribuir al desarrollo rural.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El municipio de Patzún departamento de Chimaltenango, se caracteriza por ser una zona de producción netamente agrícola que tiene como principales cultivos los vegetales y mini vegetales de exportación con ciclo de producción corto, actualmente los productores de esta localidad cuentan con tecnología y técnicas de manejo que permiten aprovechar la capacidad de uso de la tierra para poder abastecer tanto la demanda local como la demanda internacional y debido a que el producto final cotizado en el mercado es únicamente el fruto o en algunos casos las inflorescencias, al finalizar los ciclos de producción quedan como desperdicios material vegetativo el cual puede ser aprovechado en un sistema de biodigestor para la producción de biogás lo que se traduce en disponibilidad de biocombustible para la generación de energía eléctrica y/o térmica, y teniendo en cuenta de que la producción agrícola se realiza durante todo el año es posible contar con una generación constante de biogás que puede ser utilizado para la generación eléctrica que a su vez podría operar bajo el régimen de GDR (Generador Distribuido Renovable) contribuyendo con la diversificación de la matriz energética específicamente con la generación con recursos renovables.

3.2. Descripción del problema

Se ha identificado en el municipio de Patzún departamento de Chimaltenango, el potencial de generación eléctrica con fuentes renovables, específicamente con biogás obtenido mediante la transformación de los

desechos orgánicos generados posterior a los ciclos de producción agrícola en biocombustibles, el cual es una fuente renovable que puede ser utilizado en generadores eléctricos accionados con motores de combustión interna y que actualmente no está siendo aprovechada posiblemente por la falta de conocimiento y falta de capital de parte de los productores de la región, así como también el poco interés por parte del gobierno central para implementar proyectos que ayuden a la diversificación de la matriz energética mediante el aprovechamiento de los recursos disponibles.

3.3. Formulación del problema

Lo anteriormente descrito dio como resultado una interrogante principal:

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es el tamaño, rapidez y eficiencia del instrumento o técnica que sirva para cuantificar la capacidad de producción de biogás por unidad de volumen de materia orgánica a partir de un sistema de biodigestor?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué diseño de sistema de biodigestor es el más eficiente para la obtención de biogás dado el contexto agrícola de la región?
- ¿Qué volumen y/o peso de materia orgánica es necesaria para la obtención de una cantidad significativa de biogás?
- ¿Qué efectos tiene los cambios de las condiciones climáticas en la producción de biogás?

3.4. Delimitación del problema

En base a lo anterior, se busca determinar la capacidad de producción de biogás por unidad de volumen de materia orgánica en el municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango.

Derivado de ello, se pretende priorizar el uso de los desechos orgánicos generados al finalizar los ciclos de producción agrícola de hortalizas de ciclo corto, por lo que estos serán utilizados como fuente primaria para la generación de energía, no formando parte del presente trabajo algún otro tipo de desecho.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación se encuentra bajo las líneas de investigación nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica, específicamente en el diseño, operación y regulación de proyectos energéticos con recursos renovables. La propuesta de un sistema de generación de energía eléctrica a base de biogás en el municipio de Patzún Chimaltenango se encuadra dentro de los objetivos de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados y servirá como línea base para futuras investigaciones en el ámbito de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables como también podría servir de base para la implementación del proyecto ya que en el presente documento tratará sobre las tecnologías aplicables de acuerdo a las condiciones medio ambientales de la región del occidente del país, tipo de material vegetativo a utilizar y la relación volumen de materia orgánica sobre el volumen potencial de biogás generado el cual servirá para la realización de proyecciones de generación de potencia eléctrica en MW como también de energía en MW-h que puede ser aprovechado por los habitantes de la región o para determinar si la generación es suficiente para operar para el régimen de DGR (Generador Distribuido Renovable).

Según el Decreto No. 52-2003 del Congreso de la República de Guatemala, Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, dentro de uno de sus considerandos se establece:

Que Guatemala cuenta con recursos naturales renovables suficientes en cantidad y calidad, y que su aprovechamiento otorgará al país una mayor

independencia en la compra de los combustibles fósiles, facilitando con ello el suministro de energía económica a favor del consumidor final, de la población guatemalteca y de la región centroamericana en general, minimizando así una fuga irreversible de divisas por concepto de compra de estos combustibles no disponibles localmente. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2003, p. 1)

La importancia del presente tema a desarrollar se debe a que es una alternativa para la generación de energía eléctrica que impacta positivamente a varios sectores, dentro de estos están: a nivel municipal; las gestiones reguladas de los residuos sólidos y posibilidad para aumentar el índice de electrificación rural, a nivel económico; los resultados positivos de las interrogantes presentadas servirían para incentivar inversiones, a nivel ambiental; se tendría una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a nivel social; se aportaría con proyectos de desarrollo en las comunidades aledañas al lugar de producción de biogás y energía eléctrica.

En Guatemala, se han llevado a cabo diversos proyectos para la generación de energía eléctrica a partir de biogás. Por ejemplo, la Granja de Varas en Escuintla ha implementado un sistema de biodigestor que convierte los desechos de su ganadería en biogás para generar electricidad. Asimismo, algunas plantas de tratamiento de aguas residuales en el país están incorporando sistemas de aprovechamiento de biogás para generar energía. La generación de energía eléctrica a partir de biogás se ha reconocido como una forma prometedora de aprovechar los desechos orgánicos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El biogás se produce mediante la descomposición

anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas, desechos animales y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar el tamaño, rapidez y eficiencia del instrumento o técnica que permita cuantificar la capacidad de producción de biogás por unidad de volumen de biomasa a partir de un sistema de biodigestor en Patzún, Chimaltenango.

5.2. Específicos

1. Determinar la tecnología más eficiente para la producción de biogás mediante la evaluación de un diseño experimental que permitan identificar el tipo de biodigestor que más se adapte a las condiciones de acuerdo con la materia prima a utilizar y a las características medioambientales de la región.
2. Proyectar la capacidad potencial de producción de biogás por unidad de volumen de materia orgánica mediante el análisis de datos recopilados en un diseño experimental que permita calcular la fracción de biogás generado en el proceso de descomposición anaeróbico utilizando como fuente primaria los desechos orgánicos de hortalizas de ciclo corto.
3. Estimar la fluctuación en la producción de biogás mediante el análisis de los datos recopilados en el diseño experimental relacionados al impacto de las condiciones medioambientales en la eficiencia del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica de acuerdo con las condiciones climáticas estacionarias de la región de Patzún.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se pretende determinar el potencial de la capacidad de generación de energía eléctrica con biogás obtenido a partir de un sistema de biodigestor utilizando como materia prima el material vegetativo generado posterior a los ciclos de producción de hortalizas y mini vegetales de exportación en el municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango. El estudio que se realizará se limita a la región del altiplano de Guatemala ya que es una región netamente agrícola y el análisis se enfoca en el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados de la actividad agrícola de la región, sin embargo, la información y los resultados obtenidos podrían servir de línea base para otro tipo de materia prima a utilizar o para otra región del occidente que tenga características similares al municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango.

Para la solución de la problemática planteada se pretende realizar visitas técnicas a empresas que tienen implementada esta tecnología a fin de ir recopilando información relacionada con la capacidad de producción, cantidad de materia prima utilizada, aspectos medio ambientales, entre otros, así también como la revisión de la literatura con el fin de establecer una relación con los datos obtenidos en campo y con los obtenidos de forma teórica y así poder realizar proyecciones de producción de biogás como de energía eléctrica de acuerdo a la materia prima a utilizar.

La originalidad de este diseño de investigación para la propuesta de un sistema de generación de energía eléctrica a base de biogás en el municipio de Patzún departamento de Chimaltenango, radica en ser una propuesta con un proyecto pionero ya que no se tienen antecedentes de realización de proyectos

similares ni estudios de viabilidad, aunado a ello la materia prima que se pretende utilizar ya que solamente abarca los residuos generados posterior a los ciclos de producción agrícola de la región, con la información recopilada de la capacidad de producción de biogás se pretende realizar las proyección de generación de energía eléctrica así como el análisis del impacto que tiene en la matriz energética de Guatemala.

La pertinencia del diseño de investigación para la propuesta de generación eléctrica a base de biogás va de acuerdo a las líneas de estudio que abarca la Maestría de Mercados Eléctricos Regulados y será una investigación realizada por profesionales expertos en distintas áreas con el cual tendrá como resultado final contar con información valiosa respecto a la capacidad potencial de generación eléctrica del área en cuestión, misma que podrá ser utilizada para futuros estudios relacionados con el tema o también para otras maestrías tales como Energía y Ambiente o de Mercados Eléctricos Regulados.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Desechos orgánicos

De acuerdo con Mantra (2014), propone como definición de desechos orgánicos a todos aquellos residuos que se descomponen de manera natural y presentan la característica de desintegrarse o degradarse en un período corto de tiempo, transformándose en otro tipo de materia orgánica.

Con esta definición podemos inferir que existen distintas fuentes de desechos orgánicos, tanto de origen vegetal, animal y humano.

7.2. Bioenergía

Es la energía que se consigue de la biomasa que, a su vez, es el material de origen orgánico que más ha sido utilizado como fuente de energía calorífica a lo largo de la historia de la humanidad. Se produce por las plantas al fijar la radiación solar, agua y dióxido de carbono mediante el proceso de fotosíntesis, en este proceso la energía del sol queda almacenada en enlaces químicos el cual puede ser liberada mediante procesos como la combustión, digestión, descomposición o bien mediante hidrólisis y fermentación a combustibles de tipo líquidos o gaseosos (Islas y Martínez, 2010).

La bioenergía se considera un sustituto importante para los combustibles de origen fósil y nuclear sin provocar un incremento en las emisiones de GEI que ocasionan el calentamiento global. También permite la disposición final de los desechos orgánicos generados en las áreas rurales y urbanas y es la única

energía con la capacidad calorífica capaz de sustituir a los combustibles de origen fósil utilizados en motores de combustión interna.

7.2.1. Tipos de bioenergía

De acuerdo con Islas y Martínez (2010) los tipos de bioenergía los agrupan en:

- Biocombustibles: residuos orgánicos, residuos forestales, residuos agrícolas, carbón vegetal y otros sólidos.
- Biocarburantes: alcohol (bioetanol); aceites vegetales proveniente de caña de azúcar, maíz, soya y aceite de palma africana; y residuos de aceite de cocina convertidos en biodiesel.
- Biogás o metano: obtenido por la fermentación de residuos sólidos orgánicos y de desechos de animales. (p. 32)

La bioenergía puede contribuir de manera importante a sustituir el consumo de combustibles fósiles, disminuir los efectos negativos al medio ambiente y la activación de la economía de un país; da lugar a procesos energéticos útiles para los seres humanos, los cuales se obtienen sometiendo la biomasa a diferentes procesos de transformación. Islas y Martínez (2010) “ven que dentro de las ventajas se tiene la misma capacidad de producción de energía comparado con los combustibles fósiles a menos emisiones de GEI, capacidad de almacenamiento y aportes económicos mayores” (p. 30).

Teniendo a la bioenergía como una estrategia, se deben conocer las características de una buena Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) y así determinar las tecnologías para el diseño e implementación de proyectos multisectoriales aportando valor a los objetivos ambientales, sociales y económicos.

7.2.2. Biogás

De acuerdo con Cuesta (2015) explica que “el biogás es el gas resultante de la descomposición de la materia orgánica, está compuesto principalmente por gas metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e impurezas, el porcentaje de metano que se puede obtener de un residuo depende de su contenido en proteínas, carbohidratos y lípidos” (p. 18).

“El valor energético del biogás es directamente proporcional a su contenido de metano” (Cuesta, 2015, p. 18).

En la tabla 1, Cuesta (2015) muestra la composición química de una muestra de biogás conseguido de una porción orgánica estándar de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) cuyo valor energético ronda entre los 18 y 27 MJ/m³.

Tabla 1.

Composición química del biogás estándar

Componente	Cantidad
CH_4	45 – 65 %
CO_2	34 – 55 %
N_2	0 – 20 %
O_2	0 – 5 %
H_2	0 – 1 %

Continuación de la tabla 1.

Componente	Cantidad
H ₂ S	100 – 5000 partes por millón
NH ₃	Trazas
H ₂ O (vapor)	Saturación

Nota. Porcentaje de los componentes de una muestra de biogás estándar. Obtenido de J. Cuesta (2015). *Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red.* (p. 17) [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid de España]. Archivo digital. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23542/TFG_Jorge_Cuesta_Lopez.pdf

En la figura 1 se presenta la equivalencia del valor energético de una muestra de biogás conseguido de una muestra estándar de RSU y otras fuentes de energía.

Figura 1.
Equivalencias del valor energético del biogás



Nota. Comparación del valor energético de un metro cúbico de biogás con otras fuentes de energía. Obtenido de J. Cuesta (2015). *Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red.* (p. 18) [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid de España].

Archivo digital. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23542/TFG_Jorge_Cuesta_Lopez.pdf

7.3. Manejo y aprovechamiento de los desechos orgánicos a nivel regional

A nivel regional, Sáez y Urdaneta (2014) indican:

Se tiene la necesidad de definir la situación actual de las grandes ciudades de América Latina y el Caribe por los efectos negativos en la salud de los ciudadanos y el impacto ambiental a consecuencia de los altos volúmenes

de residuos por su inadecuado manejo. Esto solo podría mejorar con estrategias y acciones sobre la gestión de residuos sólidos. (p. 121)

El estudio realizado por Posso (2004) “identifica una transición interesante por las motivaciones de Energías Alternativas (EA), entre estas la independencia energética de los combustibles fósiles, disponer de fuentes energéticas seguras y mitigar los efectos nocivos ambientales. Estos escenarios dan pautas para plantear estrategias multisectoriales” (p. 150).

Estas motivaciones no son las únicas que surgen como factores para el desarrollo de estrategias, Sáez y Urdaneta (2014) también contemplan los cambios en patrones de consumo por “generaciones, la concentración de población en ciertas zonas marginales, el crecimiento demográfico y el desarrollo improductivo del sector industrial aumentan la problemática” (p. 122).

Aunque estos beneficios no se ven a corto plazo, las motivaciones deberían ser suficientes para los analistas en cuanto a las decisiones en el presente para soluciones en el futuro, siendo conscientes que el manejo de los residuos sólidos urbanos es una de las problemáticas más difíciles de resolver a nivel regional, no solo por su gestión sino también por las políticas, normativas y cobertura de servicios a nivel territorial. Actualmente los rellenos sanitarios son la técnica más utilizada para el confinamiento de los RSU como se expone en el *Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe* (BID, AIDIS, y OPS, 2010).

El informe elaborado por BID, AIDIS, y OPS (2010) sugiere que “se debe buscar un servicio financieramente sostenible, además de velar por los factores sociales y ambientales” (p. 153). Ante este escenario el manejo de los residuos no se practica, debido a la falta de métodos de saneamiento desde la recolección

hasta los lugares de disposición final siendo este un patrón detectado por Sáez y Urdaneta (2014)

Dentro de esto se puede trabajar con la implementación de tecnologías para la reutilización de residuos, ya que Moya, Aldás, López, y Kaparaju (2017) indican que “la mayor proporción de desechos son orgánicos en los países menos desarrollados comparados con los países más desarrollados” (p. 287). Esto es un indicativo que la presente investigación no solo podría ser aplicada a Guatemala, sino a nivel regional como una solución factible.

América Latina y el Caribe se enfrentan a diversas necesidades básicas que deben cubrir, entre ellas la gestión de residuos sólidos que pasa a segundo plano comparado con las problemáticas sociales, políticas y económicas, teniendo así un presupuesto limitado afectando el desarrollo integral en cada país.

7.4. Manejo y aprovechamiento de los desechos orgánicos a nivel local

En el territorio nacional se tienen instaladas varias generadoras donde se utiliza como materia prima la biomasa, lo descrito por Rodríguez (2017) es que se adopta ésta tecnología como un aprovechamiento para abastecer la demanda de potencia de sus propias instalaciones, para vender la potencia excedente y para contribuir con la generación a partir de fuentes renovables. Apoyando la idea que un generador de esta categoría tiene bases legales y técnicas fundamentadas. El aprovechamiento de los residuos orgánicos es una alternativa atractiva para investigaciones y futuras inversiones.

Dentro de los casos de éxito en el territorio nacional se tienen proyectos desarrollados por la Empresa Guateverde Ingeniería, S.A, ganadora del premio

Latinoamérica Verde en el 2018 con el *Tratamiento de aguas residuales* de Buestán (2018). Empresa que asesora, diseña y desarrolla plantas de tratamiento y sistemas de generación eléctrica y térmica a nivel industrial.

Para tener avances es necesario que las entidades públicas, inversionistas extranjeros y educación ciudadana vayan de la mano para el impulso y planeación de proyectos de ingeniería en el tema del aprovechamiento de los residuos como lo exponen Sáez y Urdaneta (2014).

Sin financiamiento para este sector trae como consecuencias la falta de estudios ambientales, deficientes procesos de recolección, obsoletos métodos de tratamiento, dudas sobre la factibilidad de aprovechamiento e impactos negativos en la disposición final de los desechos sólidos. Según André y Cerdá (2006) explica que “para plantear soluciones de gestión se debe cuantificar y analizar la composición de los residuos. Esta problemática se debe de abordar por el efecto en cadena que genera en temas sociales y ambientales” (p. 73).

Guatemala afronta varias necesidades básicas, entre ellas un adecuado manejo de residuos sólidos, aunque se han realizado propuestas por parte de las entidades de gobierno, la falta de apoyo, interés y retroalimentación de la ciudadanía ha estancado el progreso de estas acciones. Además, una falta de regulación hace poco sustentables las propuestas y estos proyectos no perduran, por ejemplo: iniciativas de reforestación, planes para la reducción de basureros clandestinos, limpieza de cuerpos acuáticos y reutilización de desechos.

Dentro de las problemáticas a señalar están los vertederos a cielo abierto y los basureros clandestinos. Según las investigaciones de la BID, AIDIS, y OPS (2010) determinan que “los vertederos a cielo abierto es el método más utilizado para la disposición final de los residuos, teniendo Guatemala un 15.4 % de los

desechos en rellenos sanitarios y 9.6 % en vertederos, siendo el 25 % de los residuos sin tratamiento previo" (pp. 132-133).

Respecto a la problemática de los basureros clandestinos, se presenta el estudio *Estadística de vertederos de basura sin control a nivel nacional* donde el MARN (2017) indicaba que hasta la fecha existían 2240 basureros entre privados, municipales y clandestinos en el país, donde el 99 % no contaban con un instrumento ambiental, lo que equivale a 2212 basureros sin un registro de impactos o riesgos ambientales, siendo clasificados como ilegales, aunque sean municipales.

El libro *What a Waste 2.0: Una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050* de Kaza, Yao, Bhada, y Van (2018) concluye que de no tomar medidas correctivas sobre la gestión de residuos sólidos para el 2050 se tendrá un aumento de 2,600 millones de toneladas de CO₂. Kaza *et. al.* (2018) estiman que "el 20 % del presupuesto de las municipalidades se destina para la gestión de residuos sólidos, sin embargo, el 90 % de desechos en países subdesarrollados aún se depositan en vertederos o se incineran a cielo abierto" (p. xii).

En agosto del 2020 el MARN colaboró para la erradicación de 300 vertederos ilegales a nivel nacional, que conllevo aproximadamente 18 meses. Dentro de los departamentos beneficiados están: Petén, Sacatepéquez y Jutiapa. En el monitoreo hubo seis departamentos donde los vertederos clandestinos no se hallaron, en ese período, siendo Alta Verapaz, Izabal, Chiquimula, Quetzaltenango, Retalhuleu y Huehuetenango (MARN, 2021).

Ante esta problemática el MARN en agosto del 2021 emitió el Acuerdo Gubernativo 164-2021 titulado *Reglamento para la gestión integral de los*

residuos y desechos sólidos comunes, donde se establecen las regulaciones para el manejo de residuos sólidos abarcando la recolección, logística, traslado, tratamiento y disposición final, siendo esta la regulación aprobada más reciente en Guatemala que establece normas sanitarias y ambientales. Con el propósito de mitigar los daños ambientales, reducir la contaminación y mejorar la salud de la ciudadanía. Para el cumplimiento de las disposiciones del reglamento el MARN (2021) “promoverá sistema de información por medio de campañas educativas a los ciudadanos, impulsará programas de responsabilidad empresarial y coordinará vigilancias sanitarias y ambientales” (p. 22).

La implementación de este reglamento es precisa para el desarrollo de estrategias como la propuesta en esta investigación, contemplando la clasificación primaria entre orgánico e inorgánico para la preservación de la FORSU. Además, darán la apertura a la infraestructura e instalación de obras con autorización sanitaria conforme a las normas del Ministerio de Salud y una autorización ambiental, conforme a la *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. El Acuerdo Gubernativo 164-2021 MARN (2021) menciona que “la economía circular se pueda agilizar con alianzas entre el sector público y privado impulsando negocios fundamentados en desarrollo sustentable” (p. 20). Este reglamento es el inicio de un cambio necesario en Guatemala buscando promover e impactar los hábitos y acciones de la ciudadanía dando resultados para un mejor futuro.

7.5. **Tecnologías de producción de biogás**

Existen dos grandes tipos de reactores: los de baja y alta velocidad. En los de baja velocidad los sustratos y materias primas no se encuentran mezclados ni existe un control de las condiciones de operación, estos reactores tienen una baja tasa de carga orgánica (aproximadamente de 1-2 [Kg DQO/m³ día]) y no son

adequados para el uso energético debido a su baja productividad y por ende baja eficiencia. Los reactores de alta velocidad poseen dos estrategias principales de diseño, el uso de un lecho fijo para el crecimiento de los microorganismos o de uno suspendido (Carrasco, 2015).

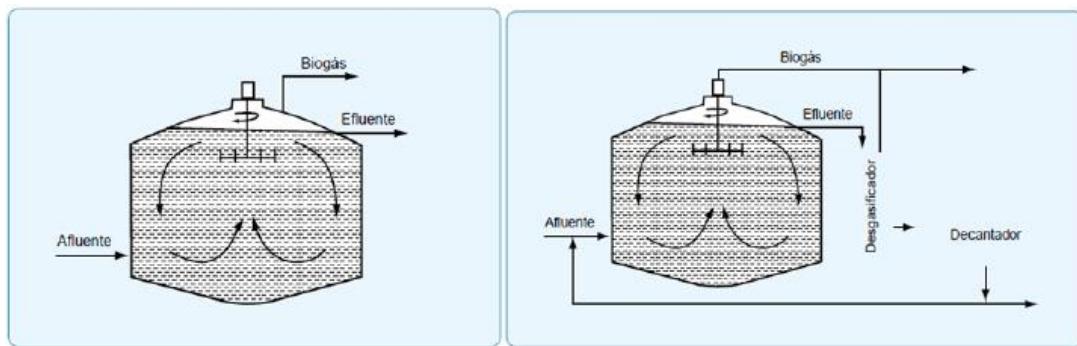
Existen muchos tipos de tecnologías y diseños de reactores para la digestión anaeróbica, para el diseño de investigación propuesto se abordará los más relevantes para su consideración en el establecimiento del proyecto.

7.5.1. Digestor de mezcla completa

Consiste en un tanque que opera de manera continua, con un sistema de agitación ya sea mecánico, hidráulico o por burbujeo que permite la mezcla entre los microorganismos y el sustrato alimentado, por lo que su TRH y su TRS son iguales, lo que implica la pérdida de microorganismos con la salida del flujo de materia por lo que su rendimiento en general es bajo. También se requieren altos tiempos de retención debido a la lenta velocidad de metabolización de los sustratos por parte de los microorganismos metanogénicos. Para compensar la pérdida de materia orgánica del reactor es posible la adición de una recirculación del flujo de salida lo que además disminuye el tiempo de retención de éste. En general, en este tipo de reactores se recomienda no superar el 15 % de sólidos totales (ST), debido a que aumentar los niveles de sólidos contribuye al aumento del consumo energético en agitación y transporte (Carrasco, 2015).

Figura 2.

Esquema de la configuración del reactor de mezcla completa



Nota. Reactor con diseño sin reciclo lado izquierdo y diseño con reciclo lado derecho. Obtenido de J. Carrasco (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos.* (p. 21) [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Archivo digital. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-deuna-planta-debiogas.pdf?sequence=1>

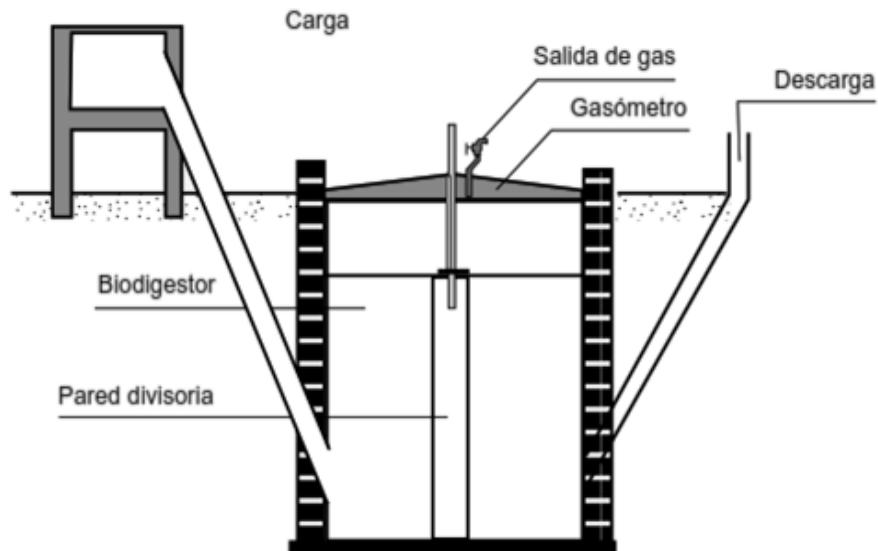
7.5.2. Biodigestor tipo hindú o campana flotante

Los biodigestores tipo hindú tienen una facilidad operativa, Barrera *et. al.* (2020) explican que “estos proporcionan gas a una presión constante y según el posicionamiento de la campana será el volumen del gas almacenado” (p. 308). Su infraestructura contiene un pozo profundo y un tambor flotante que se eleva por la presión del biogás que se va generando en el proceso de fermentación, teniendo una presión hidrostática por la diferencia de alturas entre la entrada y la salida del sistema (Rodríguez, 2014).

Para su mantenimiento es recomendable programarlo cada año para alargar su vida útil que está en el rango de 8 a 12 años (Barrera *et. al.*, 2020).

Figura 3.

Biodigestor tipo hindú o campana o domo flotante



Nota. Configuración normal del biodigestor tipo hindú o campana o domo flotante. Obtenido de J. Carrasco (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos.* (p. 22) [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Archivo digital. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-deuna-planta-debiogas.pdf?sequence=1>

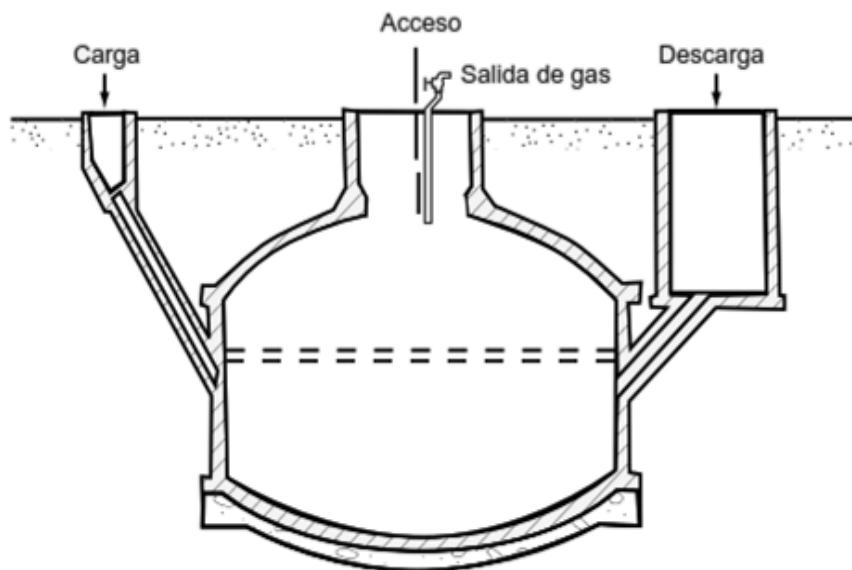
7.5.3. Biodigestor tipo chino o cúpula fija

Los biodigestores tipo Chino tienen un sistema cerrado bajo el nivel de la tierra donde herméticamente contiene el biogás, en el artículo publicado por Barrera, Odales, Carabeo, Alba, y Hermida (2020) indican que “su construcción es complicada y laboriosa por los materiales sellantes que requiere la cámara de fermentación” (p. 306). El biodigestor tiene una sola unidad Rodríguez (2014) señala que “se combina la cámara de fermentación y la cámara de

desplazamiento usada para la descarga del lodo" (p. 38). El peso de la carga de materia prima y su movimiento determina la presión del biogás, cuando se aumenta la presión se tiene una descarga en el tubo de salida alcanzando presiones de hasta 100 cm H₂O.

Figura 4.

Biodigestor tipo chino



Nota. Configuración normal del biodigestor tipo chino. Obtenido de J. Carrasco (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos.* (p. 22) [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Archivo digital. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-deuna-planta-debiogas.pdf?sequence=1>

7.6. Generador Distribuido Renovable en Guatemala

En Guatemala se tiene la posibilidad de instalar Generadores Distribuidos Renovables (GDR) cuya característica de acuerdo con Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2014) es la tecnología basada en la utilización de fuentes de

energía renovable, además de tener una capacidad instalada igual o menor a cinco megavatios (5 MW). Según García (2019) para el análisis cuantitativo de la producción de potencia utilizando desechos orgánicos, sugiere que se tome en cuenta varios tipos de tecnologías para la obtención de potencia y energía eléctrica haciendo uso del biogás, según las condiciones locales minimizando el peligro de fracaso del proyecto.

Con el propósito de promover la diversificación energética de Guatemala mediante el aprovechamiento de energías renovables, robustecer el Sistema Nacional Interconectado, contrarrestar los aumentos de precios de combustibles de origen fósil y sus derivados, y apoyar las inversiones estratégicas, se llega al concepto de Generador Distribuido Renovable, según el Acuerdo Gubernativo Número 256-97 emite el Reglamento De La Ley General De Electricidad República De Guatemala de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (1997) donde el artículo 1 define un GDR como:

Una persona individual o jurídica titular o poseedora de una central generadora de energía eléctrica que aprovecha los recursos renovables como la biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica y solar que se conecta a instalaciones de distribución con una potencia que no exceda de 5 MW y son considerados Participantes del Mercado Mayorista. (p. 22)

Esta modalidad de participación en el Mercado Mayorista es atractiva por incentivos económicos, aportes ambientales y contribución social que conlleva. Estos proyectos no solo inyectan energía el SNI, sino que también aportan energía eléctrica directamente al funcionamiento del proyecto que lo implemente.

7.6.1. Regulaciones, normas y leyes

La CNEE siendo el ente regulador del Subsector Eléctrico de Guatemala, tiene la facultad de emitir las normas técnicas, el 25 de agosto de 2014 con la Resolución CNEE-227-2014 resuelve manifestar la *Norma Técnica De Generación Distribuida Renovable Y Usuarios Auto productores Con Excedentes De Energía*, de CNEE (2014) con la finalidad de establecer disposiciones generales para la habilitación, implementación y desarrollo de estos generadores de energía eléctrica.

En base a las consideraciones con los que fue creada la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.(2014), se abarca:

- Disposiciones generales de las obligaciones que se les atribuye
- Autorización ambiental y análisis de la capacidad de conexión
- Operación dentro del SNI y control de la calidad de energía
- Comercialización basada en contratos y condiciones de pago de peaje
- Disposiciones finales de sanciones, derogatorias y vigencias. (pp. 2-3)

Dada la situación de Guatemala en temas de electrificación rural, en el artículo 129 de la Constitución Política de la República de Guatemala (1993), declara de urgencia nacional la participación activa de entidades públicas y privadas para el desarrollo de planes mitigando la problemática. La Ley de Incentivos Para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable Congreso de la República de Guatemala describe que además de una falta de energía eléctrica

en ciertas regiones del país, se busca robustecer el SNI y aumentar las exportaciones de energía por medio de incentivos fiscales, económicos y administrativos que corresponde al Decreto Número 52-2003 emitido por El Congreso De La República De Guatemala en el 2003 haciendo partícipe al Ministerio de Energía y Minas; las Municipalidades; el Instituto Nacional de Electrificación (INDE); Empresas mixtas; y personas individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables. Para tener una regulación en la calificación y aplicación de los incentivos en el 2005 se emite el Reglamento De La Ley De Incentivos Para El Desarrollo De Proyectos De Energía Renovable.

7.6.2. Capacidad instalada de GDR en Guatemala

El Sector Eléctrico de un país aporta al crecimiento económico al tener tecnología innovadora y transformación constante en condiciones de eficiencia, disponibilidad y capacidad. Un país con regulaciones, incentivos y recursos atrae inversiones en proyectos de energía eléctrica.

Dentro de las fuentes de energía con recursos renovables que están consideradas en la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.(2014) son:

Biomasa donde se aprovecha la materia orgánica y biodegradable, incluyendo biogás; eólica producida por el viento; geotérmica impulsada por el calor natural de la tierra excluidos los hidrocarburos; hidráulica producida por el agua; solar obtenida de la radiación solar; y otras que determine el MEM. (p. 7)

La operación de proyectos GDR para el año 2020 representa 119.9 MW de potencia hídrica; 13.0 MW potencia solar; 5.9 MW potencia con biogás; y 5 MW potencia con biomasa (CNEE, 2021).

La matriz energética para julio del 2021 consta de 69.6 % de energía renovable y 30.4% de energía no renovable (CNEE, 2021).

Según el informe de capacidad instalada en el sistema eléctrico nacional diciembre de 2020 del AMM se tiene 136.68 MW de potencia hídrica; 12.50 MW potencia sola; 20.821 MW potencia con biogás y biomasa; y 4 MW potencia con gas natural (Administrador del Mercado Mayorista, 2021).

7.7. Factibilidad en proyectos de bioenergía

En la etapa de formulación de un proyecto, identificar las variables y las características es necesario para determinar la viabilidad permitiendo establecer los riesgos económicos y la posibilidad de expansión del negocio ya existente. Chicaiza (2020) en su conferencia menciona que:

Los proyectos de bioenergía son relevantes de estudio por la reducción y eliminación de desechos de los vertederos y la producción de energía eléctrica. Orientado a la investigación, se debe tomar en cuenta la generación de residuos, este crecimiento se basa principalmente en: crecimiento de la población y crecimiento del PIB. (p. 4)

Dados los cambios en la economía, ambiente, sociedad y tecnologías, se pueden crear escenarios para una comparativa y una selección según criterios importantes para cada proyecto. Una de las metodologías planteadas para un

sistema de generación eléctrica se basa en utilizar será la de recopilación de datos técnico-económicos del sistema eléctrico actual y futuro que consiste en la toma de datos, evaluación de situaciones, análisis de curvas de operación, formulación de escenarios, obtención de costos y selección de propuesta (Fiscal, 2007).

Otra metodología utilizada por Montaño, Corona y Montelongo, (2009), “para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de biogás es el planteamiento y análisis de 10 etapas abarcando los aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales, legales y políticos; integrando finalmente los factores relevantes para determinar la viabilidad del proyecto” (pp. 11-12).

7.7.1. Factibilidad técnica

En base a la recopilación de diversos trabajos de investigación relacionados con los aspectos pertinentes para una evaluación técnica de proyectos se enlistan algunos para tomarlos en consideración:

- Años de operación
- Procedencia de residuos y su caracterización
- Análisis de las curvas de operación de los equipos
- Medición de demanda eléctrica de la instalación
- Tendencia de las condiciones meteorológicas del sitio (temperatura, humedad y presión)
- Eficiencia de la conversión termoeléctrica de los generadores.
- Políticas de operación de los generadores de biogás
- Características técnicas de las cargas eléctricas actuales y futuras
- Selección de escenarios con análisis de ventajas y desventajas técnicas.

La recopilación, análisis y comparativa de esta información dará los escenarios, ventajas y desventajas del proyecto, esto para asegurar su vida útil, parámetros de operación y control de calidad.

7.7.2. Factibilidad económica financiera

En base a la recopilación de diversos trabajos de investigación relacionados con los aspectos pertinentes para una evaluación económica de proyectos se enlistan algunos para tomarlos en consideración:

- Costos operativos y administrativos
- Crecimiento de la población
- Crecimiento del PIB
- Costos de operación de los biodigestores
- Precio del gas combustible para arranque o emergencias
- Costos de mano de obra y material para mantenimiento eléctrico, mecánico y electrónico, entre otros
- Costo de desmantelamiento de equipos en caso de requerirse
- Evaluación económica de escenarios planteados
- Estimar el costo del kWh generado para los diversos escenarios
- Obtención de los indicadores económicos del período de recuperación (PR); anualidad equivalente (AE); tasa interna de retorno (TIR); y la relación beneficio-costo (B/C), a partir de los ingresos de la venta de energía eléctrica.

La recopilación, análisis y comparativa de esta información dará los escenarios, ventajas y desventajas del proyecto, esto para asegurar los años de operación, ingreso de ganancias y respaldo de la inversión.

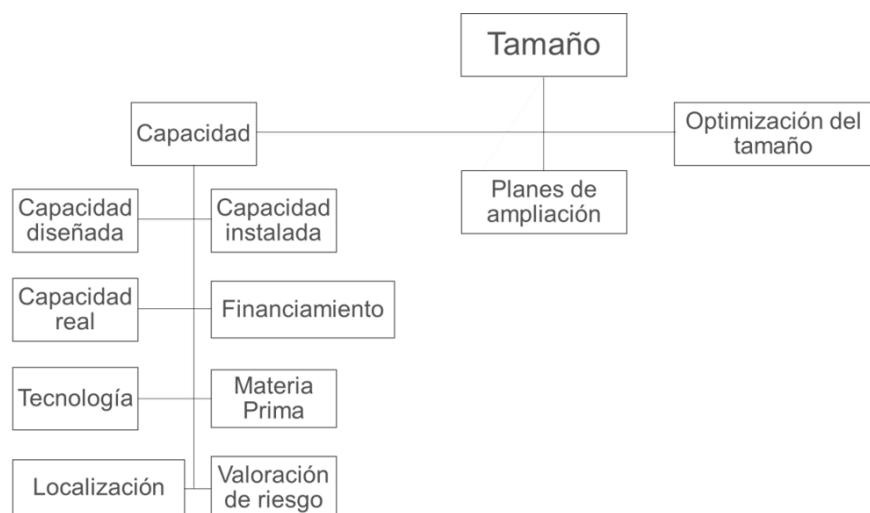
7.7.3. Variables para la formulación y desarrollo de un proyecto de biogás

Como complemento para el análisis de la investigación, se presentan las variables independientes y dependientes que Garzón y Salazar (2015) recopilaron de diversas investigaciones para la formulación de etapas para el desarrollo de un proyecto de biogás. “El tamaño, localización e ingeniería de proyecto son variables que dan pautas para la optimización de recursos, satisfacción de la demanda y rentabilidad” (p. 1).

Se recomienda desarrollar una matriz de impacto cruzada que permita analizar la viabilidad del proyecto de forma integral desde los factores de éxito y los puntos críticos que determinan el fracaso del proyecto.

Figura 5.

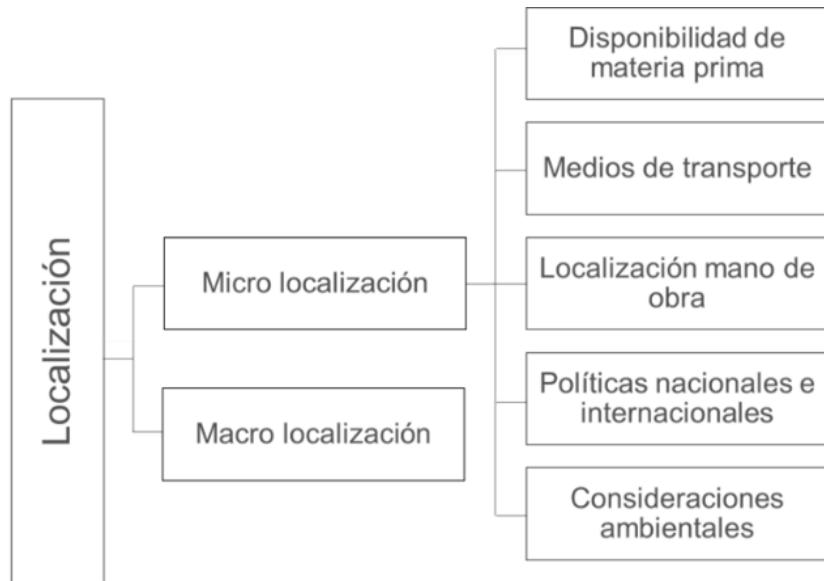
Variables independientes y dependientes del tamaño de un proyecto



Nota. Covariables y elementos constituyentes del tamaño de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 6.

Variables independientes y dependientes de localización de un proyecto



Nota. Covariables y elementos constituyentes de la localización de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 7.

Variables interdependientes de ingeniería de proyectos



Nota. Covariables y elementos constituyentes de la ingeniería de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Word.

8. PROPUESTA DE INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

- 1.1. Estudios previos
- 1.2. Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Problemática del manejo de los desechos orgánicos en Guatemala
 - 2.1.1. Manejo y aprovechamiento de los desechos orgánicos
- 2.2. Generación de energía eléctrica con biogás
 - 2.2.1. Bioenergía
 - 2.2.2. Tecnologías para la obtención de bioenergía
 - 2.2.3. Características de la bioenergía
 - 2.2.4. Biodigestor
 - 2.2.5. Tipos de biodigestores
 - 2.2.6. Proceso de producción de biogás

- 2.3. Generador Distribuido Renovable
 - 2.3.1. Regulaciones, normas y leyes
 - 2.3.2. Capacidad instalada de GDR en Guatemala
- 2.4. Factibilidad de proyectos de bioenergía
 - 2.4.1. Factibilidad técnica
 - 2.4.2. Factibilidad económica financiera
 - 2.4.3. Variables de un proyecto de generación eléctrica

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Cantidad de biogás producido
- 3.2. Relación Volumen de biogás sobre peso de materia orgánica
- 3.3. Eficiencia del proceso de producción de biogás
- 3.4. Calidad del biogás generado
- 3.5. Capacidad calorífica del biogás
- 3.6. Tiempo empleado para la producción de biogás
- 3.7. Cantidad potencial de energía eléctrica generada

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Análisis de la cantidad de biogás producido
- 4.2. Análisis de la relación volumen de biogás sobre peso de materia orgánica
- 4.3. Análisis de la eficiencia del proceso de producción de biogás
- 4.4. Análisis de la calidad del biogás generado
- 4.5. Análisis de la capacidad calorífica del biogás
- 4.6. Análisis del tiempo empleado para la producción de biogás
- 4.7. Análisis de la cantidad potencial de energía eléctrica generada

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APENDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que se pretende calcular la capacidad potencial de generación eléctrica a partir de la producción de biogás utilizando los desechos orgánicos o material vegetativo generados posterior a los ciclos de producción agrícola en el municipio de Patzún, Chimaltenango.

El alcance será correlacional, dado que se busca determinar la capacidad de producción de biogás en función del tipo de biodigestor, tipo de material vegetativo utilizado en el proceso de biodigestión y a las condiciones medioambientales de la región.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información acerca de la producción de biogás se analizará en su estado original sin ninguna manipulación, haciendo uso del material vegetativo de hortalizas de ciclo corto.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será el material vegetativo obtenido posterior a los ciclos de producción agrícola en el municipio de Patzún, Departamento de Chimaltenango, el cual se encuentra dividido en subpoblaciones constituidos por vegetales y mini vegetales de exportación, de la cual se extraerán muestras de forma aleatoria simple que serán estudiadas en su totalidad.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla 2.

Definición teórica y operativa de las variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Calidad del biogás	% de gas metano en la muestra de biogás.	% de gas metano
Volumen de biogás	Metros cúbicos de biogás generado en el diseño experimental	m^3
Contenido energético del biogás	Poder calorífico del biogás generado en el diseño experimental.	MJ/m^3
Tiempo	Tiempo necesario para la descomposición de la materia orgánica utilizada en el diseño experimental.	Días
Temperatura	Temperatura de operación del diseño experimental.	$^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa	Humedad relativa dentro de la cámara de almacenamiento del biodigestor.	%
Energía	Energía obtenida del generador eléctrico.	MW-h
Eficiencia	Eficiencia del generador eléctrico	%
Peso de la materia prima	Peso inicial de material vegetativo utilizado en el diseño experimental.	Kg

Nota. Variables que se estudiarán en el estudio del trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

9.4. Fases de estudio

- Fase 1: revisión de literatura

En esta fase se pretende recabar información relacionada con los procesos actuales de obtención de biogás a partir del uso de biodigestores en la región, como también las características fisicoquímicas del material vegetativo a utilizar para estimar la cantidad potencial de producción de gas metano generado en el proceso de descomposición de la materia prima, así como, los efectos positivos o negativos de las condiciones medioambientales ya que éstos podrían repercutir en la eficiencia del proceso de biodigestión. Tomando en cuenta las características de este estudio que se enfoca en el uso de material vegetativo de hortalizas de ciclo corto es posible que no exista información específica del mismo, sin embargo, mediante la información de las características fisicoquímicas de la biomasa a utilizar se podría realizar un análisis de regresión lineal para estimar la cantidad potencial de biogás a generar tomando como referencia estudios realizados para otro tipo de materia prima.

- Fase 2: gestión o recolección de la información

En esta fase se pretende enviar muestras de laboratorio de forma aleatoria para determinar la composición fisicoquímica de la biomasa a utilizar y posterior a ello realizar análisis de regresión lineal para estimar la capacidad potencial de biogás generado en el proceso de biodigestión, con base a esa información se evaluará el diseño experimental para la cuantificación real de producción de gas metano por unidad de volumen de materia orgánica realizando lecturas de presión, temperatura, % de humedad relativa y tiempo empleado para la descomposición total de las muestras a evaluar. También se pretende cuantificar

la disponibilidad de materia orgánica por área mediante el pesaje de las muestras obtenidas en campo.

- Fase 3: análisis de información

En base a la información recopilada en el diseño experimental, se calculará la eficiencia del proceso de biodigestión en base a la capacidad teórica de producción de biogás obtenido en el análisis de regresión lineal de la fase 2, evaluando el tipo de tecnología a utilizar, los tiempos requeridos para la descomposición total del diseño experimental y las condiciones medioambientales tales como temperatura y humedad relativa registrados en el proceso.

Posterior a ello se enviarán muestras de laboratorio del biogás generado para determinar la calidad del producto final y así determinar su composición de gas metano ya que su contenido afecta directamente la capacidad de generación eléctrica.

También se realizará los cálculos matemáticos para determinar el contenido energético del biogás a partir de los resultados de las muestras de laboratorio ya que el metano es el componente carburante principal para la generación eléctrica, se usará el poder calorífico del metano para estimar la energía que puede producirse por unidad de biogás.

En ese sentido, se tomará en consideración un generador eléctrico de eficiencia promedio, ya que será el instrumento que nos servirá para convertir la energía calorífica del gas metano en electricidad.

Posterior a determinar el volumen potencial de biogás, contenido energético y la eficiencia del generador eléctrico a utilizar se podrá calcular la generación eléctrica en términos de KWh. Se empleará la fórmula general de:

$$\text{Producción eléctrica} = \text{Cantidad biogás (m}^3\text{)} \times \text{Contenido energético biogás} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}\right) \times \eta \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

η = eficiencia del generador

- Fase 4: interpretación de información

En base a los resultados del análisis de la información, se busca comprender y dar sentido a los datos obtenidos para obtener conclusiones, hacer inferencias y tomar decisiones respecto a la viabilidad técnica de la implementación de un proyecto de GDR (Generador Distribuido Renovable) en el municipio de Patzún Chimaltenango.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se describe el tipo de muestreo a utilizar para recopilar datos representativos del fenómeno de interés, que en este caso es la producción de biogás a partir de la descomposición de material vegetativo de hortalizas de ciclo corto el cual se emplearán la estadística inferencial para investigar y analizar una población partiendo de una muestra tomada para la realización de proyecciones cuantitativas de producción de biogás mediante el empleo del análisis de regresión lineal. Todos los cálculos y análisis numéricos serán realizados utilizando el software Microsoft Excel.

10.1. Muestreo probabilístico

Este tipo de muestreo emplea una técnica en el que todas las unidades de la población tienen las mismas oportunidades de ser seleccionadas. Este tipo de muestreo se basa en el cálculo de probabilidades y permite precisar la probabilidad que tienen los elementos de ser incluidos en la muestra. La finalidad de emplear este tipo de muestreo es para determinar la relación que existe entre el volumen de biogás generado por unidad de peso de materia orgánica utilizada en el biodigestor y con ello proyectar la capacidad potencial de generación de biogás del municipio de Patzún Chimaltenango.

10.2. Muestreo aleatorio simple

En este enfoque, se le da a cada sujeto un número y posteriormente se obtienen los números que formarán la muestra de manera completamente aleatoria. El objetivo es seleccionar una muestra representativa de una población

completa de manera completamente aleatoria. Para el caso del estudio propuesto las muestras que se obtendrán principalmente serán de:

- Volumen de biogás generado
- Peso de material orgánico
- Porcentaje de gas metano en el biogás
- Capacidad calorífica del biogás
- Entre otros

Las muestras serán obtenidas del diseño experimental establecido por el investigador en el lugar en cuestión y el criterio que utilizará el investigador para la obtención de las muestras se basará en el análisis de la variación de las presiones internas de la cámara de almacenamiento de biogás para determinar que el proceso de descomposición anaeróbica se ha completado y así proceder al análisis de la información.

10.3. Definición de la población

La población bajo estudio se constituye básicamente por el área utilizada para la producción agrícola en el municipio de Patzún Chimaltenango, específicamente para la producción de vegetales y mini vegetales de exportación, información que será obtenida mediante los estudios de capacidad de uso de la Tierra (ECUT) realizados por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), información que es de dominio público, por el que la entidad dará el permiso correspondiente al investigador para hacer uso de éstas.

10.4. Análisis de regresión lineal

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística que se utiliza para modelar la relación entre dos o más variables, en este análisis se busca encontrar una ecuación lineal que describa la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. El objetivo principal del análisis de regresión lineal es predecir el valor de la variable dependiente, que en este caso es la capacidad potencial de generación eléctrica a partir de los valores de las variables independientes tales como peso de materia orgánica, poder calorífico del biogás, volumen del biogás generado, calidad del biogás, entre otros.

11. CRONOGRAMA

Tabla 3.

Cronograma de actividades propuesto

id	Tarea	Inicio	Fin	Avances %	Trimestre 2	Trimestre 3	Fin de año	Trimestre 4	Trimestre 5
					02-May-23 17-May-23 01-Jun-23 16-Jun-23 01-Jul-23 16-Jul-23 31-Jul-23	15-Aug-23 30-Aug-23 14-Sep-23 29-Sep-23 14-Oct-23 29-Oct-23	13-Nov-23 28-Nov-23 14-Nov-23 29-Nov-23 14-Dec-23 28-Dec-23	27-Jan-24 11-Feb-24 26-Feb-24 11-Mar-24 26-Mar-24 11-Apr-24 26-Apr-24 11-May-24 26-May-24 10-Jun-24 25-Jun-24 10-Jul-24 25-Jul-24	11-Feb-24 26-Feb-24 12-Mar-24 27-Mar-24 11-Apr-24 26-Apr-24 11-May-24 26-May-24 10-Jun-24 25-Jun-24 10-Jul-24 25-Jul-24
1	Proceso de Elaboración y Aprobación del Anteproyecto	02-May-23	16-Jul-23	100%					
2	Proceso de Elaboración y aprobacion del Protocolo	17-Jul-23	29-Oct-23	80%					
3	Objetivo general	13-Nov-23	11-Mar-24	0%					
3.1	Revisión bibliográfica	13-Nov-23	13-Dec-23	0%					
3.2	Objetivo específico 1	28-Nov-23	11-Feb-24	0%					
3.2.1	Revision bibliográfica	28-Nov-23	28-Dec-23	0%					
3.2.2	Determinación de la tecnología a utilizar	28-Dec-23	12-Jan-24	0%					
3.2.3	Establecimiento del diseño experimental	12-Jan-24	11-Feb-24	0%					
3.3	Objetivo específico 2	26-Feb-24	26-Apr-24	0%					
3.3.1	Revisión bibliográfica	26-Feb-24	12-Mar-24	0%					
3.3.2	Recopilación de datos de la produccion de biogás del diseño experimental	13-Mar-24	11-Apr-24	0%					
3.3.3	Análisis de los datos recopilados relacionados a la capacidad de produccion de biogás	28-Mar-24	11-Apr-24	0%					
3.3.3	Proyección de capacidad de produccion de biogás	11-Apr-24	26-Apr-24	0%					
3.4	Objetivo específico 3	13-Mar-24	11-May-24	0%					
3.4.1	Recopilación de datos de las variables medioambientales presentes en la produccion de biogás	13-Mar-24	11-Apr-24	0%					
3.4.2	Análisis del impacto en la eficiencia	12-Apr-24	26-Apr-24	0%					
3.4.3	Cuantificación del impacto en la capacidad de produccion de biogás	27-Apr-24	11-May-24	0%					
4	Revisões con el asesor	12-May-24	26-May-24	0%					
5	Conclusiones y Recomendaciones	27-May-24	10-Jun-24	0%					
6	Revisión final con el asesor	11-Jun-24	25-Jun-24	0%					
7	Ajustes informe final	27-Mar-24	10-Jul-24	0%					
8	Examen de Defensa	11-Jul-24	25-Jul-24	0%					

Nota. Cronograma de actividades para llevar a cabo el estudio propuesto. Elaboración propia, realizado con Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio propuesto se considera factible de realizar, ya que se cuenta con el espacio físico, los recursos materiales y financieros para el establecimiento del diseño experimental, a continuación, se detallan los recursos necesarios:

Tabla 4.

Recursos necesarios

Recurso	Disponibilidad del recurso	Fuente de financiamiento	Cuantificación
Humano	Investigador y asesor	No aplica	2 personas
Tecnológico	Paquete de Office, impresiones e internet	Investigador	Q 2,500.00
Acceso a información	Información pública de estudios de capacidad de uso de la tierra	MAGA	La necesaria
Equipo	Computadora	Investigador	1 computadora personal
Infraestructura	Diseño experimental	Investigador	Q 5,000.00
Laboratorios de ensayo	Ánálisis químico de la muestra de biogás	Investigador	Q 2,000.00
Imprevistos	Se consideran imprevistos de cualquier índole	Investigador	Q 1,000.00

Nota. Recursos necesarios para llevar a cabo el estudio propuesto. Elaboración propia, realizado con Word.

REFERENCIAS

- Administrador del Mercado Mayorista. (2021). *Capacidad instalada en el sistema eléctrico diciembre de 2020.*
- Aldana, L. (2021). *Propuesta de manejo de los residuos sólidos orgánicos por medio del método de compostaje aeróbico controlado, en el mercado Concepción del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala. Guatemala* [Tesis maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio institucional.
- André, F., y Cerdá, E. (2006). *Gestión de residuos sólidos urbanos análisis económico y políticas públicas.* Cuadernos Económicos de ICE. <https://n9.cl/blyes>
- Banco Interamericano de Desarrollo, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y Organización Panamericana de la Salud (2010). *Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe.* <https://publications.iadb.org>
- Barrera, E., Odales, L., Carabeo, A., Alba, Y., & Hermida, F. (2020). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural. *Tecnología química*, 40(20), 303-321. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v40n2/2224-6185-rtq-40-02-303.pdf>

Buestán, M. (28 de agosto de 2018). *Guatemala ganó premio Latinoamérica Verde*. La voz de Xela. <https://lavozdexela.com/opiniones/los-influyentes/quatemala-gano-premio-latinoamerica-verde/>

Carrasco, J. (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Archivo digital. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-deuna-planta-debiogas.pdf?sequence=1>

Chicaiza, C. (del 06 al 08 de julio de 2020). Tecnologías modernas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. *I Congreso de Biotecnología y Encuentro de Estudiantes de Biotecnología*. Puyo, Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/348280674_Tecnologias_Modernas_para_el_tratamiento_de_Residuos_Solidos_Urbanos

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1997). *Reglamento de la ley general de electricidad*.

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2003). *Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable*.

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoproductores con excedentes de energía*.

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2021). *Informe estadístico UAEE y GDR 2020*.

Cuesta, J. (2015). *Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red*. [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid de España]. Archivo digital. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23542/TFG_Jorge_Cuesta_Lopez.pdf

Fiscal, R. (2007). *Metodología de análisis para estudios de factibilidad técnica-económica en sistemas de generación eléctrica costa fuera*. Boletín IIE. <https://www.ineel.mx>

García, J. (2019). *Potencial de biogás producido por la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en Guatemala*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/13325>

Garzón, C., y Salazar, J. (2015). *Técnicas para determinar la viabilidad técnica de un proyecto en la etapa de formulación*. [Tesis de especialización, Universidad de San Buenaventura Cali de Colombia]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/10819/3065>

Islas, J., y Martínez, A. (2010). Bioenergía. *Ciencia*, 30-39. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergia.pdf

Kaza, S., Yao, L., Bhada, P., y Van, F. (2018). *What a Waste 2.0: Una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050*. Banco Mundial. <http://hdl.handle.net/10986/30317>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos.*

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Guía Práctica para la Formulación de Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos.*

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Estadística de vertederos de basura sin control a nivel nacional.*

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes.*

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Reglamento para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos comunes.*

Montaño, O., Corona, J., y Montelongo, M. (del 05 al 08 de mayo de 2009). Metodología sistémica para el desarrollo de un proyecto de Biogás. *XIII Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas La administración frente a la globalización: Gobernabilidad y Desarrollo.* Hidalgo, México. Ob <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/7995>

Moya, D., Aldás, C., López, G., & Kaparaju, P. (2017). Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. [Los residuos sólidos urbanos como recurso valioso de energía renovable: una oportunidad mundial de recuperación de energía mediante el uso de tecnologías de

conversión de residuos en energía]. *Energy Procedia*, 134, 286-295.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021734763X>

Posso, F. (2004). Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela. *Anales del Decanato de Investigación y Desarrollo Académico de la Universidad Metropolitana*, 4(1), 147-164.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4003560>

Rodríguez, L. (2014). *Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU*. Bogotá. [Tesis de maestría, Universidad EAN de Colombia]. Archivo digital.
<http://hdl.handle.net/10882/1560>

Rodríguez, M. (2017). *Evaluación del impacto de conectar generadores distribuidos renovables a una línea de distribución, hasta cubrir su demanda de potencia*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital.
<http://www.repository.usac.edu.gt/id/eprint/6402>

Sáez, A., y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, (3), 121-135.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2020). *Plan Nacional de Energía 2020-2034*.

DOCUMENTOS DEL ASESOR

Figura 8.

Curriculum vitae de asesor

CURRICULUM VITAE

DATOS PERSONALES:

Nombre: Francisco Tzirin Jocholá.
DPI: 2324 07495 0407
Fecha de Nacimiento: 17 de Septiembre de 1972.
Lugar de Nacimiento: Patzún, Chimaltenango, Guatemala.
Estado Civil: Casado.
Dirección Residencia: 9a. Avenida "B" 1-86 Zona 3 Chimaltenango, Colonia las Bugambilias.
Teléfono: +502 30316987
e-mail: ftzirin@gmail.com

FORMACIÓN ACADÉMICA:

Ingeniero Mecánico Electricista, titulado año 1996 – 26 años de ejercicio profesional en la especialidad electromecánica.
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
Colegiado No. 4362

CERTIFICACIONES:

- *Instalaciones Eléctricas Hospitalarias – Sistemas RLC*
- *National Electric Code – NEC – NPFPA 70, Conceptos y Aplicaciones, Sistemas RLC*
- *Diplomado en Sistemas de Puesta a Tierra, Sistemas RLC*
- *Mediciones para diagnóstico de transformadores e interruptores, Sistemas RLC*
- *Project Management Professional – Project Management Institute, Credential No. 2781353*
- *Certificación Internacional Lean Construction Project Manager, Lean Construction México*
- *Certificación Internacional en Supervisión y Residencia de Obra, Lean Construction México*
- *PM4R Professional - BID, código de certificación: jFoyepgDkK*
- *Diplomado Internacional en Costos, Presupuestos y Análisis Financiero Lean, Lean Construction México*
- *PMI - Agile Certified Professional (PMI-ACP), Credential No. 3006942*
- *Lean Six Sigma Green Belt Professional Certificate – CertiProf*
- *Scrum Master Certified – ScrumStudy, Credential No. 793426*
- *Desarrollo de Habilidades para Supervisión y Residencia de Obra, Lean Construction México*
- *Negociaciones Exitosas con el Método Harvard – Stratega Consultoría y Capacitación*

Executive MBA in International Management
Especialización en Finanzas y Control de Gestión, 2014
EUNCET Business School
Universitat Politècnica de Catalunya
ADEN Alta Dirección Business School

Master en Ciencias de la Gestión de Proyectos, año 2011
Université de Management, Suisse
ADEN Alta Dirección Business School



Continuación de la figura 8.

*Maestría en Ingeniería Para el Desarrollo Municipal, año 2008
Pendiente elaboración Tesis de graduación
Universidad de San Carlos de Guatemala*

*Maestría en Administración de Negocios (MBA), año 2004
Pendiente elaboración Tesis de graduación
Universidad Mariano Gálvez de Guatemala*

*Diplomado Gestión y Dirección de Proyectos de Ingeniería Estándar PMBOK, año 2020
CEDUCA, Colegio de Ingenieros de Guatemala
Specialization in Strategic Business Management, año 2012
Alta Dirección Business School - ADEN*

*Diplomado Comunicación Efectiva y Gestión Constructiva de Conflictos, año 2010
Alta Dirección Business School – ADEN*

*Diplomado Programa de Dirección Gerencial, año 2008
Alta Dirección Business School - ADEN*

*Major in Project Management, año 2007
Alta Dirección Business School - ADEN*

*Specialization in Project Management, año 2007
Alta Dirección Business School – ADEN*

*Diplomado en Dirección de Proyectos, año 2007
Alta Dirección Business School - ADEN*

*Diplomado en Clienteling: estrategias de marketing, servicios y canales, año 2007
Panamerican Consulting Group.*

*Diplomado Programa de Habilidades Directivas, año 2006
Alta Dirección Business School – ADEN*

Seminario: Modelo de Negociación de Harvard, año 2005

*Diplomado “Gerencia y Liderazgo”, año 2004
Panamerican Consulting Group.*

*Post-Grado: Curso Superior de Negocio de Distribución Eléctrica, año 2000
Universidad Corporativa Unión Fenosa (UCUF)
Madrid, España*

Continuación de la figura 8.

CURSOS Y SEMINARIOS:

- ✓ *BIM en la Construcción, Lean Construction México, diciembre 2022*
- ✓ *Calidad Total en la Construcción, Lean Construction México abril 2022*
- ✓ *Project Management Office – FO, PMOfficers Barcelona, España. octubre 2021*
- ✓ *PMI LATAM Changemakers Initiative: Construction Titan, septiembre 2021*
- ✓ *Congreso Internacional Lean Construction México 2021*
- ✓ *Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid, INEL enero 2021*
- ✓ *Dirección de Proyectos en la era de Transformación Digital, Colegio de Ingenieros de Guatemala.*
- ✓ *Gestión de riesgos Project Management Office, PMOfficers*
- ✓ *Hibrid Proyect Management Model, PMOfficers*
- ✓ *Evolución Constante de las PMO, PMOfficers*
- ✓ *Management 3.0, PMOfficers*
- ✓ *Lean Construction, PMI Mexico Chapter*
- ✓ *Importancia de la Planificación de Megaproyectos de Infraestructura, Cámara de la Construcción, Guatemala.*
- ✓ *Planificación de Proyectos Lineales*
- ✓ *Método de Negociación de Harvard, Stratega Consultoría y Capacitación*
- ✓ *Seguridad e Higiene Ocupacional y Prevención de Riesgo Biológico, COPIMERA, mayo 2020*
- ✓ *Buenas Prácticas para la Gestión de Proyectos, USAC, mayo 2020*
- ✓ *Design Thinking para Equipos Agiles, Colegio de Ingenieros de Guatemala, abril 2020*
- ✓ *Conversatorio Protecciones y Estabilidad de la Red de Transmisión, noviembre 2019*
- ✓ *Conversatorio Futuro del Sector Eléctrico en Guatemala, octubre 2019*
- ✓ *Programa Ecoeficiencia Empresarial y Talleres Ambientales, CENTRARSE, octubre 2019*
- ✓ *Foro Economía Circular y Tendencias Ambientales, CENTRARSE, octubre 2019*
- ✓ *Taller de Gestión de PCB, Normativa y Legislación aplicable, ONUDI agosto 2019*
- ✓ *XII Foro Nacional de Responsabilidad Social Empresarial, CENTRARSE, mayo 2019*
- ✓ *Seminario Revelación del Secreto Bancario, Guatemala, febrero 2017*
- ✓ *Mantenimiento Industrial, Colegio de Ingenieros de Guatemala, marzo 2016*
- ✓ *Desarrollo de Energías Renovables: Energía Eólica, Colegio de Ingenieros de Guatemala, febrero 2016*
- ✓ *Herramienta de coordinación de protecciones y cortocircuito en Baja Tensión, SKM, PTW, 2016*
- ✓ *Soluciones para los conflictos sociales en los Proyectos Hidroeléctricos, febrero 2016*
- ✓ *Protección contra descargas atmosféricas, Franklin France, febrero 2016*
- ✓ *Biodigestores Autolimpiables y Tratamiento de Agua primaria domicilar, Colegio de Ingenieros de Guatemala, abril 2015*
- ✓ *Diseño y dimensionamiento de transformadores de potencia y transformadores secos, Querétaro, México 2015*
- ✓ *Internacionalización para pequeñas y medianas empresas, Colegio de Ingenieros de Guatemala, marzo 2015*
- ✓ *Trabajos en diferentes superficies con herramientas eléctricas, Colegio de Ingenieros de Guatemala, junio 2015*
- ✓ *Tecnologías y Sistemas de Energías Renovables, Managua, Nicaragua 2015*
- ✓ *Curso de Excel Avanzado, marzo 2009*
- ✓ *Seminario "Estrategias de Negociación para Resolución de Conflictos", diciembre 2008*
- ✓ *Seminario Dale Carnegie: "Cómo Disfrutar de la Vida y del Trabajo", julio 2007*
- ✓ *Seminario "CLIENTING", estrategias de marketing, servicios y canales para rentabilizar clientes, septiembre 2007*

Continuación de la figura 8.

- ✓ *Seminario: Teoría y Herramientas del Proyecto de Negociación de Harvard, CMI International Group, Marzo 2006*
- ✓ *Seminario de Calidad de Potencia Eléctrica, Armónicos y Factor de Potencia en Sistemas de Distribución y Transmisión, julio 2006*
- ✓ *Medio Ambiente ISO 14000: Cámara de Comercio, septiembre 2004*
- ✓ *Formar y Enseñar: Cámara de Comercio, agosto 2004*
- ✓ *Power Quality, Monitoring Tools & Case Studies: Grounding Power Quality, Monitoring Tools & Case Studies: Grounding Systems Technologies, octubre 2004*

EXPERIENCIA LABORAL

Abril 2023 a la fecha

Consultor en la especialidad electromecánica para el Nuevo Hospital de Neonatología San Juan de Dios. Supervisión de los sistemas de electricidad, aire acondicionado, gases médicos, vapor, extracción, gas propano, sistema contra incendios. – Overseas Engineering & Construction Co. (OECC).

Enero 2021 a marzo 2023

Consultor en la especialidad electromecánica para el Nuevo Hospital Regional de Chimaltenango. Supervisión de los sistemas de electricidad, aire acondicionado, gases médicos, vapor, extracción, gas propano, sistema contra incendios. – Overseas Engineering & Construction Co. (OECC).

Febrero 2022 a mayo 2022

Consultor en la especialidad de Electricidad y Datos, para la mejora de infraestructura del Hospital Juan de Dios Rodas de Sololá. – Programa de Mejora de Infraestructura Hospitalaria y servicios de salud: BCIE-UEPPS Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Mayo 2021 a abril 2022

Servicios Profesionales para la supervisión de la especialidad electromecánica de los nuevos hospitales del IGSS en Zona 11 y Escuintla – Taller de Arquitectura Sánchez-Horneros (TASH)

Abril 2020 a Diciembre 2020

Servicios profesionales para el diseño eléctrico del nuevo Hospital del IGSS Jutiapa.

Diciembre 2018 a febrero 2020

Jefe Asesoría Social Ambiental

Instituto Nacional de Electrificación – INDE

Funciones principales: - Coordinar la elaboración de diagnósticos, sociales y ambientales, en las áreas de influencia. - Propiciar el acercamiento con los principales líderes de las comunidades donde se encuentran y en el área de influencia, de los bienes del INDE e impulsar el Plan de Negocios. - Coordinar con las entidades gubernamentales y no gubernamentales de ambiente y recursos naturales del país, a fin de promover planes y programas de desarrollo sostenible en sector de la generación y transmisión de energía eléctrica. - Atención de incidencias sociales y ambientales. Atención de requerimientos de gestión catastral. Atención de requerimientos de gestión de servidumbres y derechos de vía.

Octubre 2018 a diciembre 2018

Servicios profesionales para proyectos de Desarrollo Geotérmico.

Instituto Nacional de Electrificación – INDE.

Continuación de la figura 8.

Enero 2017 a Septiembre 2018

Director de Proyectos y Operaciones

Grupo Expertos Centroamericanos en Electricidad S.A.

Funciones principales: - Elaborar el plan de negocios anual de la empresa. - Velar por el cumplimiento de las metas y objetivos de alcance, plazos, costos y calidad de cada uno de los proyectos. - Realizar supervisión "in situ" del cumplimiento de los objetivos físicos, financieros, cronogramas, alcance y calidad de cada uno de los proyectos electromecánicos, líneas y subestaciones. - Elaborar y revisar diseños, presupuestos y cronogramas de proyectos, líneas y subestaciones. - Llevar a cabo negociaciones de costos, características técnicas y tiempos de entrega con clientes y proveedores de materiales y equipos. Dirigir la elaboración de normas, directrices y procedimientos, para la búsqueda de la eficiencia y mejora continua. - Dirigir la elaboración de normas y procedimientos para la seguridad industrial y salud ocupacional. - Supervisión y seguimiento para que los proyectos electromecánicos, líneas y subestaciones, cumplan con sus objetivos de alcance, plazo, costo y calidad. Proyectos en: Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Jamaica y Colombia.. - Gestión de los interesados de los proyectos.

Febrero 2015 a Diciembre 2016

Gerente de Proyectos Internacionales

Grupo Expertos Centroamericanos en Electricidad S.A.

Funciones principales: Gestión y dirección de los proyectos desde la planificación y diseño del alcance, costo, tiempos y calidad, gestión de compras, logística, ejecución, cumplimiento de calidad, presupuestos, tiempos, y entrega final, de todo el sistema electromecánico, subestaciones, respaldos, subsistemas, protecciones, monitoreo y automatización, de los proyectos en El Salvador, Nicaragua, República Dominicana, Panamá y Colombia. Gestión de compras. Gestión de interesados de los proyectos.

Marzo 2014 a Enero 2015

Gerente de Proyecto Campus Citi, Proyecto LEED Green Building.

Grupo Expertos Centroamericanos en Electricidad S.A.

Funciones principales: Gestión y dirección del proyecto eléctrico, desde su diseño, revisiones, implementación, planificación del alcance, tiempos, costo y calidad, gestión de compras, logística, ejecución, cumplimiento de calidad, presupuestos, tiempos y entrega final, de todo el sistema eléctrico, subestaciones, respaldos, circuitos, protecciones, monitoreo y automatización. Gestión de interesados del proyecto.

Octubre de 2012 a Febrero 2014

Gerente de Proyectos Guatemala

Grupo Expertos Centroamericanos en Electricidad S.A.

Funciones principales: - Gestión y dirección de proyectos, electromecánicos. Revisar las propuestas presupuestarias, técnicas, de diseños y cronogramas, de los proyectos, líneas y subestaciones. - Realizar supervisión del cumplimiento de los objetivos físicos, financieros, plazos, alcance y calidad, de cada uno de los proyectos, líneas y subestaciones. - Llevar a cabo negociaciones de precios, características técnicas y tiempos de entrega con clientes y proveedores de materiales y equipos. Gestión de compras. Gestión de interesados de los proyectos.

Abril 2012 a Octubre 2012

Gerente de Mantenimiento de Red, Distribución Eléctrica

DEOCSA-DEORSA

Funciones principales: - Elaborar políticas, planes, y programas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de redes, líneas y subestaciones, para todo el ámbito de acción de la Distribuidora en el país.

Continuación de la figura 8.

- Elaboración de planes anuales y multianuales de mantenimiento de redes, líneas y subestaciones, para consecución de las metas de indicadores de calidad y objetivos de la Empresa. Velar por el cumplimiento de objetivos físicos, financieros, plazos y calidad.

Agosto 2007 a Abril 2012

Gerente de Zona Distribución Eléctrica DEOCSA (Gestión Operativa Territorial Occidente)

UNIÓN FENOSA

Funciones principales: - Elaboración de planes anuales y multianuales de Mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de Redes, Líneas y Subestaciones, para consecución de las metas e indicadores de calidad. - Ejecución de planes, programas y proyectos para el cumplimiento de objetivos anuales relativas a Operación y Mantenimiento de redes, líneas y subestaciones, control de la energía, control de pérdidas técnicas y no técnicas, y obras de provisión de servicios. - Transmitir directrices, normas y planes para el occidente del país. - Velar por el cumplimiento de metas y objetivos tanto físicas como financieras. - Velar por el aprovechamiento correcto de los recursos humanos, materiales y financieros, y la planificación estratégica. - Gestión de contratistas y proveedores.

Mayo 2005 a Julio 2007

Jefe de Zona Mantenimiento de Líneas y Redes Eléctricas DEOCSA

UNIÓN FENOSA

Funciones principales: - Participar en la elaboración de planes anuales y multianuales de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de redes, líneas y subestaciones, para consecución de las metas de indicadores de calidad y objetivos físicos, financieros y de calidad, para el occidente del país, en el ámbito la Distribuidora. Ejecución de obras, proyectos y actividades en redes, líneas y subestaciones, para el cumplimiento de los planes y objetivos para toda el área geográfica del occidente del país. - Gestión de contratistas y proveedores.

Noviembre de 2000 a Abril 2005

Jefe Mantenimiento de Líneas y Redes Eléctricas, Sector Centro Occidente

DEOCSA, Grupo UNIÓN FENOSA

- Participar en la elaboración de planes anuales y multianuales de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de redes, líneas y subestaciones, para consecución de las metas de indicadores de calidad y objetivos físicos, financieros y de calidad, para el occidente del país, en el ámbito la Distribuidora. Ejecución de obras, proyectos y actividades en redes, líneas y subestaciones, para el cumplimiento de los planes y objetivos para los departamentos de Chimaltenango, Sololá y El Quiché. - Gestión de contratistas y proveedores.

Abrial de 2000 a Octubre de 2000

Jefe Depto. Calidad del Producto Técnico Eléctrico

DEOCSA-DEORSA, Grupo UNIÓN FENOSA

16 de diciembre de 1998 a Marzo de 2000

Asistente de Operaciones

DEOCSA, Grupo UNIÓN FENOSA

De Mayo de 1997 a 15 de diciembre de 1998

Jefe Depto. Operación y Mantenimiento Subregión Centro-Occidente, Distribución.

Instituto Nacional de Electrificación - INDE.

Funciones Principales: Ejecutar todas las actividades del plan de mantenimiento preventivo y correctivo de líneas de Distribución para los departamentos de Chimaltenango, Sololá y El Quiché.

Continuación de la figura 8.

*Septiembre de 1996 a abril de 1997
División de Planeamiento y Diseño
Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones, GUATEL.*

*Julio de 1997 a junio de 1998
Catedrático Pretilular del curso de Ingeniería Eléctrica 2, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Plaza ganada por oposición.*

*Julio de 1996 a junio de 1997
Catedrático Interino: Conversión de Energía Electromecánica 2, Instrumentación Eléctrica, Teoría Electromagnética 1, Ingeniería Eléctrica 2, Física Básica y Física 1.
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala*

*Octubre 1995 a junio de 1996
Ingenio Santa Ana
Cargo: Supervisor de Planta de Generación Eléctrica*

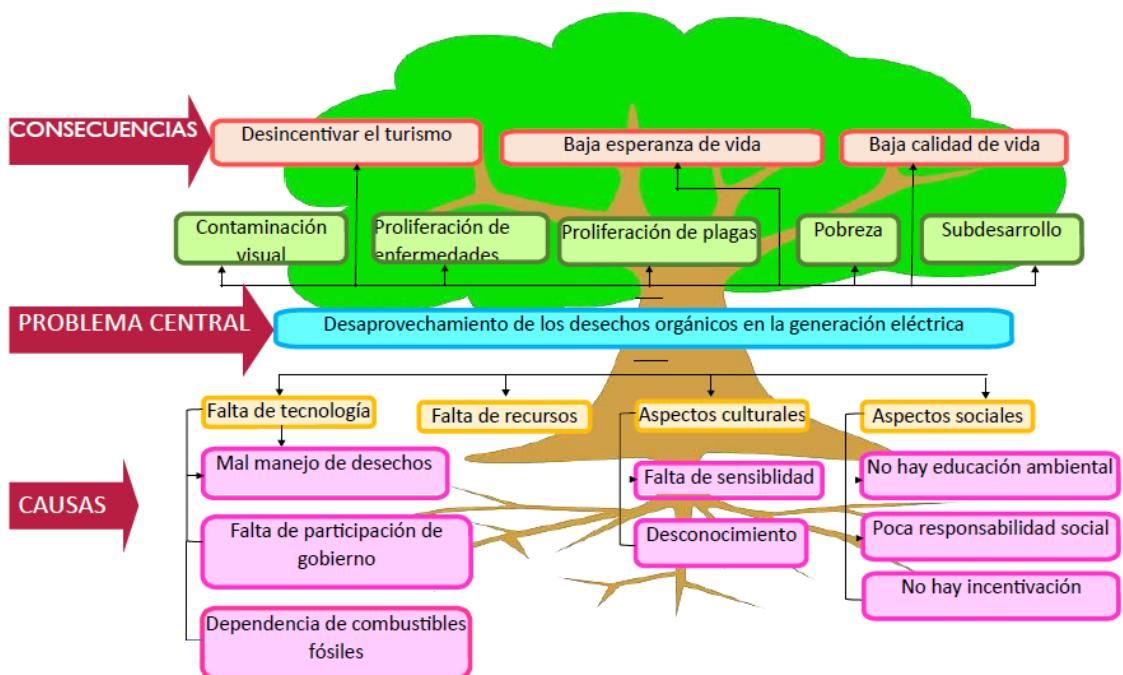
*Junio de 1994 a Diciembre de 1995
Escuela de Ing. Mecánica Eléctrica y Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, USAC.
Cargo: Instructor de Laboratorios de Teoría Electromagnética 1, Circuitos Eléctricos 1, Física Básica y Física 2.
Plazas ganadas por Oposición. Facultad de Ingeniería, USAC.*

*De abril de 1994 a mayo de 1995
SEMELEC S.A (Servicios Mecánicos Eléctricos)
Cargo: Auxiliar de Ingeniería*

Nota. Información del asesor. Elaboración propia.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Nota. Árbol de problemas de la investigación. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia o consistencia.

MATRIZ DE COHERENCIA O CONSISTENCIA.

¿Cuál es el tamaño, rapidez y eficiencia del instrumento o técnica que sirva para determinar la capacidad de producción de biogás por unidad de volumen de materia orgánica a partir de un sistema de biodigestor en Patzún Chimaltenango?	Determinar el tamaño, rapidez y eficiencia del instrumento o técnica que permita cuantificar la capacidad de producción de biogás por unidad de volumen de biomasa a partir de un sistema de biodigestor en Patzún, Chimaltenango.
¿Qué diseño de sistema de biodigestor es el más eficiente para la obtención de biogás dado el contexto agrícola de la región?	Determinar la tecnología más eficiente para la producción de biogás mediante la evaluación de un diseño experimental que permitan identificar el tipo de biodigestor que más se adapte a las condiciones de acuerdo con la materia prima a utilizar y a las características medioambientales de la región.
¿Qué volumen y/o peso de materia orgánica es necesaria para la obtención de una cantidad significativa de biogás?	Proyectar la capacidad potencial de producción de biogás por unidad de volumen de materia orgánica mediante el análisis de datos recopilados en un diseño experimental que permita calcular la fracción de biogás generado en el proceso de descomposición anaeróbico utilizando como fuente primaria los desechos orgánicos de hortalizas de ciclo corto.
¿Qué efectos tiene los cambios de las condiciones climáticas en la producción de biogás?	Estimar la fluctuación en la producción de biogás mediante el análisis de los datos recopilados en el diseño experimental relacionados al impacto de las condiciones medioambientales en la eficiencia del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica de acuerdo a las condiciones climáticas estacionarias de la región de Patzún.

Nota. Matriz de coherencia o consistencia de la investigación. Elaboración propia.