



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR  
DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA  
SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS**

**Eduardo Alejandro Motta Porras**

Asesorado por el MSc. Ing. Hugo Yovany Sánchez Ochoa

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR  
DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA  
SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDUARDO ALEJANDRO MOTTA PORRAS**

ASESORADO POR EL MSC. ING. HUGO YOVANY SÁNCHEZ OCHOA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELETRICISTA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Ángel Roberto Sic Garcia a.i.
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernandez Fernandez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR  
DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA  
SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de septiembre 2016.



**Eduardo Alejandro Motta Porras**

Guatemala 02 de noviembre de 2016

**Ingeniero MSc.  
Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director Escuela de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12**

*Estimado Ingeniero Paiz:*

*Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he procedido a revisar el Diseño de Investigación del estudiante profesional Eduardo Alejandro Motta Porras, carné No. 2010-20844, cuyo título es "GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS", para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica como parte del programa Pregrado - Postgrado de la Maestría de Energía y Ambiente.*

*El mismo ya posee las observaciones realizadas previamente, en calidad de asesor doy mi anuencia a que el estudiante, continúe con los trámites correspondientes.*

Sin otro particular me suscribo.

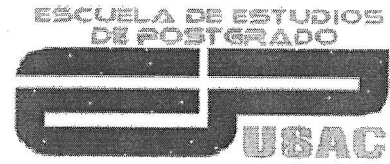
Atentamente,

  
MSc. Ing. Hugo Yovany Sanchez Ochoa  
Asesor  
Colegiado Activo 5515

Hugo Yovany Sanchez Ochoa  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 5515  
Msc. Formulación y Evaluación de Proyectos



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000 Ext. 86226

Ref. APPRE-2016- 4to Trimestre-012

Guatemala, 19 de noviembre de 2016.

MSc. Ingeniero  
Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado

Estimado MSc. Ing. Paiz Recinos:

De la manera más atenta por este medio hago constar que he revisado el **Diseño de Investigación** del (la) estudiante **Eduardo Alejandro Motta Porras** de la Maestría en **Energía y Ambiente** Cuyo título es **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS"**

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, coherencia con lo establecido en el normativo de tesis y trabajos de graduación tanto en su estructura como en su contenido. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Pablo Christian de León Rodríguez  
Revisor(a)  
Escuela de Estudios de Postgrado

Cc: archivo/LA

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-001-2017

Guatemala, 07 de febrero de 2017.

Director  
Francisco Javier González López  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Eduardo Alejandro Motta Porras** carné número **2010-20844**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Energía y Ambiente.

Y si 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 Decimo, 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.

Sin otro particular, atentamente,

Hugo Yovany Sánchez Ochoa  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 5515  
Msc. Formulación y Evaluación de Proyectos

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Hugo Yovany Sánchez Ochoa  
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



REF. EIME 16. 2017.

Guatemala, 19 de ABRIL 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS**, presentado por el estudiante universitario Eduardo Alejandro Motta Porras considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Francisco Javier González López  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica







DTG. 269.2017

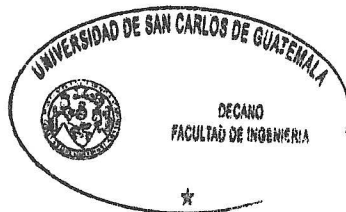
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS**, presentado por el estudiante universitario: **Eduardo Alejandro Motta Porras**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, junio de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la oportunidad de vivir hasta el momento y permitirme mejorar continuamente.
- Mi madre** María Elizabeth Porras Carrera, por todo lo que me ha dado, que es todo lo que tengo y lo que soy. Por enseñarme a luchar por lo que se ama y amar a los que me acompañan en el camino, siendo ella un ejemplo durante toda mi vida.
- Mi hermana** Marcia Palacios Porras, porque sin ella no sería el humano que soy hoy en día. Por enseñarme a amar, a ser gentil, paciente y detallista.
- Marcio** Por su apoyo, consejos y enseñanzas que me han ayudado a crecer no solo como profesional pero como persona.
- Mi abuela** Flora de Porras Carrera, por su apoyo, cariño, y sus enseñanzas de humildad y trabajo que llevaré siempre conmigo.
- Mi madrina** Por ser una importante influencia en mi vida, por enseñarme a ser independiente y trabajador día a día.

## **Mis amigos**

Por estar ahí, por compartir momentos de alegría, tristeza, adversidades y éxitos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas como a muchos guatemaltecos a la educación superior y por la exigencia que ha culminado en formarme como un profesional autodidacta.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme enseñado y formado a lo largo de mi carrera.
<b>Mi madre</b>	Por apoyarme en todo momento, por confiar en mi y por darme las herramientas para alcanzar mis metas.
<b>Mi hermana</b>	Por ser la razón que me lleva a sonreír todos los días y me impulsa a salir adelante.
<b>Mis amigos</b>	Por los buenos tiempos, por ser una importante influencia en mi vida y apoyarme en todo momento durante mi desarrollo académico.
<b>Maestros</b>	A mis maestros de vida y profesionales con los que he tenido el privilegio de convivir, por sus enseñanzas y por despertar en mi el deseo de aprender cada día mas.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	7
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3.1. Descripción del problema .....	13
3.1.1. Falta de acceso al servicio de electricidad en la comunidad, La Nueva Bendición .....	13
3.1.2. Desaprovechamiento de los recursos renovables como fuente de energía sostenible.....	14
3.1.3. Contaminación por uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.....	17
3.1.4. Deforestación insostenible por el uso de leña como fuente de energía .....	19
3.2. Formulación del problema .....	20
3.3. Delimitación del problema.....	24
3.3.1. Delimitación sectorial .....	24
3.3.2. Delimitación tecnológica .....	24
3.3.3. Delimitación geográfica.....	25
3.4. Preguntas de investigación.....	28
3.4.1. Pregunta Central.....	28
3.4.2. Preguntas Auxiliares .....	28
4. JUSTIFICACIÓN.....	29

5.	OBJETIVOS.....	33
5.1.	Objetivo General.....	33
5.2.	Objetivos Especificos.....	33
6.	ALCANCES .....	35
7.	MARCO TEÓRICO .....	39
7.1.	Matriz Energética .....	39
7.1.1.	Consumo de leña.....	39
7.1.2.	Derivados de petróleo.....	40
7.1.3.	Energía eléctrica .....	40
7.1.3.1.	Recursos renovables .....	41
7.1.3.2.	Recursos no renovables .....	42
7.2.	Biomasa.....	43
7.2.1.	Dendroenergía .....	44
7.2.2.	Fuentes de biomasa .....	47
7.2.3.	Plantaciones energéticas.....	48
7.2.3.1.	Biotecnología .....	48
7.2.4.	Características de biomasa de eucalipto .....	49
7.3.	Energía generada de las plantaciones energéticas.....	50
7.3.1.	Poder calorífico .....	50
7.3.2.	Densidad energética.....	51
7.4.	Análisis Técnico .....	51
7.4.1.	Gasificación de biomasa.....	51
7.4.1.1.	Proceso de gasificación.....	52
7.4.1.1.1.	Pirólisis .....	53
7.4.1.1.2.	Oxidación .....	53
7.4.1.1.3.	Gasificación.....	53
7.4.1.2.	Parámetros de operación .....	54
7.4.1.2.1.	Temperatura .....	54
7.4.1.2.2.	Presión .....	55

	7.4.1.2.3.	Relación agente gasificante/ residuo	55
7.4.2.		Sistema de generación de energía eléctrica.....	55
	7.4.2.1.	Generador Eléctrico .....	55
		7.4.2.1.1. Generador Síncrono .....	56
		7.4.2.1.2. Generador Asíncrono .....	58
7.4.3.		Subestación eléctrica.....	59
7.4.4.		Generadora Distribuida Renovable.....	60
	7.4.4.1.	Legislación.....	61
	7.4.4.2.	Requisitos del estudio.....	61
	7.4.4.3.	Cálculos y simulaciones .....	62
7.5.		Impacto ambiental.....	62
	7.5.1.	Impacto por la producción de plantaciones energéticas .....	63
7.6.		Beneficios del proyecto.....	63
	7.6.1.	Indicadores económicos .....	63
		7.6.1.1. Valor Neto Actual (VAN).....	63
		7.6.1.2. Tasa interna de retorno (TIR) .....	64
		7.6.1.3. Relación beneficio/costo (B/C) .....	64
	7.6.2.	Indicadores ambientales .....	64
		7.6.2.1. Huella Ecológica .....	64
		7.6.2.2. Huella de carbono.....	65
	7.6.3.	Descripción de beneficios comunitarios.....	65
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	67
9.		METODOLOGÍA .....	73
10.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	77
11.		CRONOGRAMA .....	81

12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	83
12.1.	Recursos humanos .....	83
12.2.	Recursos físicos, tecnológicos y materiales .....	83
12.2.1.	Físicos.....	83
12.2.2.	Tecnológicos.....	84
12.2.3.	Materiales .....	84
12.3.	Recursos financieros .....	85
12.4.	Factibilidad del estudio .....	86
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	87
14.	ANEXOS.....	91



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Matriz Energética, Semana 29:17 al 23 de julio de 2016 .....	18
2.	Consumo energético nacional del 2012 .....	23
3.	Ubicación geográfica del municipio de Guanagazapa, Escuintla...25	
4.	Plano de la comunidad La Nueva Bendición .....	27
5.	Fuentes de suministro de combustible de madera .....	46
6.	Diagrama de Gantt .....	81
7.	Árbol de problema, análisis de efectos.....	91
8.	Árbol de problema, análisis de causas .....	92
9.	Diagrama necesidad a cubrir y esquema de solución .....	94

### TABLAS

I.	<i>Pay back</i> , VAN y TIR de la planta en Allariz, España .....	9
II.	Manejo del bosque .....	16
III.	Extensión por cultivo en La Nueva Bendición .....	16
IV.	Potencial de generación eléctrica con fuentes renovables .....	42
V.	Recursos financieros .....	85
VI.	Matriz de Coherencia.....	93



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>H<sub>2</sub></b>	Dihidrógeno
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>GWh/año</b>	Gigawatt hora por año
<b>°C/s</b>	Grados centígrados por segundo
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>kcal/kg</b>	Kilocalorías por kilogramo
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kJ/kg</b>	Kilojoule por kilogramo
<b>km</b>	Kilometro
<b>MW</b>	Megawatt
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>m</b>	Metro
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno
<b>TM/Ha</b>	Tonelada métrica por hectárea



## GLOSARIO

<b>Búnker</b>	Combustible fósil también conocido como fuelóleo. Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada.
<b>Chip de madera</b>	Pequeños trozos de madera elaborados a partir de biomasa forestal que se utilizan para fabricar celulosa y para fines energéticos por su alto poder calorífico.
<b>Diésel</b>	También denominado gasóleo, es una fracción destilada del petróleo crudo, que se purifica especialmente para eliminar el azufre. Se usa normalmente en los motores diésel y como combustible en hogares abiertos.
<b>Pay Back</b>	Denominado periodo medio de maduración, se trata de una técnica administrativa utilizada para hacerse una idea aproximada del tiempo que tardaran en recuperar el desembolso inicial invertido en el proceso productivo.
<b>Software</b>	Es el conjunto de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados, que forman parte de las operación de un sistema de computación.



## RESUMEN

A pesar de que el servicio de electricidad es una necesidad básica y es parte de los indicadores de desarrollo humano; en Guatemala, existen muchas comunidades aisladas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica por la larga distancia a la que se encuentran del punto de conexión mas cercano.

La falta de electrificación en una comunidad, como es el caso de La Nueva Bendición, incide en una baja calidad de vida para sus habitantes y un bajo desarrollo productivo; conllevando a un retraso socio-económico para la comunidad, por lo que se plantea una alternativa para proveerles el servicio de electricidad, de una manera sostenible y renovable, buscando mejorar su calidad de vida y, en sí, impulsar el desarrollo general de la comunidad.

El presente diseño de investigación plantea el uso racional de los bosques, como una fuente de energía sostenible que produzca de manera permanente energía eléctrica. A partir de ello se plantea un proyecto que funcione como plan piloto para la electrificación de zonas rurales aisladas, a través de una planta de gasificación de biomasa forestal y de biomasa proveniente de los residuos de la producción agrícola: la mazorca de maíz y el cascarillo del café. Yendo de la mano con un Modelo de Gestión Comunitario para que sea la misma comunidad que le de continuidad al proyecto.

Se plantea verificar su factibilidad técnica y económica, apoyado por un estudio de impacto ambiental y social, buscando determinar si puede ser un proyecto replicable en otras áreas o regiones del país, como una alternativa que pueda ser considerada como solución a la deforestación, a la falta de electrificación rural y al retraso socio-económico de las comunidades aisladas.





# 1. INTRODUCCIÓN

La electricidad es un elemento primordial para el desarrollo humano. Desde que se difundió el uso de energía eléctrica por corriente alterna producto del descubrimiento del generador eléctrico, la humanidad ha demostrado un aumento en sus condiciones de vida. Sin embargo, existen muchas áreas en el mundo donde no hay electrificación aún.

En el caso de Guatemala, a pesar de ser un país con alto potencial para generar energía eléctrica a través de fuentes renovables centralizadas y descentralizadas, se tiene un índice de cobertura eléctrica de 91,96 % a nivel nacional y a nivel departamental en Escuintla, del 96,98%. Implicando que existe un déficit de muchas comunidades por cubrir, que no cuentan actualmente con el servicio de energía eléctrica. El problema radica en el requerimiento energético de zonas rurales apartadas, donde no se tiene cobertura por su aislada ubicación y la distancia considerable de las líneas de conducción; de esta cuenta, algunas de estas comunidades no han sido incluidas dentro de los programas de electrificación rural. (MEM, 2015)

Para optimizar el uso de recursos renovables, es conveniente evaluar la utilización racional de los bosques, principalmente como una fuente de energía sostenible que genere energía eléctrica con producción permanente. A partir de ello se plantea un proyecto de investigación que funcione como plan piloto para la electrificación de zonas rurales aisladas, a través de una planta de gasificación de biomasa forestal y de biomasa proveniente de los residuos de la producción agrícola, como puede ser la mazorca de maíz y el cascarillo del café.

La investigación se organiza en cinco fases en las que se desarrollarán todos los elementos necesarios para poder determinar la factibilidad, de poner en marcha esta planta de gasificación. Para poder desarrollar el proyecto de pre-factibilidad es necesario indagar en los antecedentes de la comunidad, La Nueva Bendición, tomando en cuenta su contexto histórico, geográfico, económico, infraestructural y ambiental. Se tomarán en cuenta, en la investigación, los antecedentes de la electrificación rural en Guatemala, ya sea conectado a la red o desde un sistema aislado.

De igual forma, para poder realizar un análisis completo es necesario conocer el contexto de las plantas de gasificación en Guatemala y el mundo, para poder comprender cómo han sido utilizadas acá y/o en otros países, como alternativas para incentivar el desarrollo comunitario y la electrificación rural.

La primera fase del estudio gira entorno a determinar los requerimientos técnicos para el diseño de la planta de gasificación de biomasa. Esto implica que se deberá determinar la demanda eléctrica necesaria para poner en marcha la planta, en función de las viviendas en la comunidad. De igual manera, se realizará la caracterización de la biomasa, tanto forestal. Como la de los residuos agrícolas, conociendo su poder calorífico para poder determinar cuánta energía se puede generar por unidad de masa.

La segunda fase del proyecto es la parte medular, ya que contempla el estudio técnico, en el que se realizarán las tareas más complejas, como; el diseño y simulación de: el bosque energético; de la planta de gasificación de biomasa; de la generación de la energía eléctrica y de la transformación, distribución e instalación eléctrica en la comunidad. Agregado a esto, esta fase contará con un diseño del alumbrado público, ya que por el momento la comunidad no cuenta con infraestructura de servicios eléctricos.

Una vez se tiene diseñado el proyecto, es importante realizar un estudio de impacto ambiental, tanto por la generación de energía eléctrica como por las atribuciones del bosque energético. Para esto se evalúa qué impacto tiene las plantaciones energéticas y qué impacto se tiene por el uso más eficiente de los residuos agrícolas que se tienen de las plantaciones en la comunidad (Maíz y Café). El impacto que tiene la planta, está directamente relacionado a la gestión del gas sintético y a los residuos que produce la gasificación, por lo que se determinará el impacto que tiene sobre el ambiente y sobre los habitantes de la comunidad. Para tener una idea general del impacto ambiental que se tiene de todo el proyecto, se desarrollará el cálculo de la huella ecológica y la huella de carbono.

La cuarta fase del proyecto consiste en el estudio económico y financiero del mismo. Esto implica que se debe calcular en base a información documental el costo total que se tiene, de llevar a cabo el proyecto. Para esto se realiza un presupuesto de ejecución, la relación beneficio/costo del proyecto, calculando índices importantes, como son la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). De manera que el proyecto se pueda llevar a cabo, es importante tener una descripción de las opciones de financiamiento que se tienen para el proyecto. Por su carácter social, las dos opciones principales son: financiamiento de la cooperación, internacional o bien fondos públicos, los cuales pueden provenir, tanto de la gestión a través del Sistema de Consejos de Desarrollo o bien por parte de fondos directos de la municipalidad de Guanagazapa, Escuintla, municipio al que pertenece la comunidad.

La última fase del proyecto consiste básicamente en un Modelo de Gestión Comunitario. En esta fase se describirá el papel que tienen los habitantes de la comunidad para que el proyecto pueda ser llevado a cabo, esto incluye la

capacitación de los operarios que trabajarán en la planta, diseño y propuesta de talleres formativos para la comunidad, en temas de uso eficiente de los recursos y, en sí, un esquema general de cómo será el seguimiento y sostenibilidad que le dará la comunidad al proyecto como tal.

Para poder concluir el proyecto y dar respuesta a las preguntas de investigación se tiene la presentación y discusión de resultados, para ello se utilizarán las matrices de análisis de la información recopilada en las diversas fases de la investigación.

La falta de electrificación en una comunidad, como es el caso de La Nueva Bendición, incide en una baja calidad de vida para sus habitantes y un bajo desarrollo productivo. Todo esto conlleva a un retraso socio-económico y productivo para la comunidad, por lo que hay que considerar la importancia de encontrar una forma de proveerles el servicio de electricidad, de una manera sostenible y renovable, para mejorar su calidad de vida y, en sí, impulsar el desarrollo general de la comunidad, tomando en cuenta el cuidado del medio ambiente.

Esta investigación se plantea como un plan piloto: “La generación de energía eléctrica a partir de gasificación de biomasa como una alternativa sostenible y renovable para las zonas rurales aisladas del país”. Al plantearlo como un plan piloto se puede comprobar su factibilidad técnica y económica, la que estará apoyada por un estudio de impacto ambiental y social para realmente determinar si puede ser un proyecto replicable en otras áreas o regiones del país, como una alternativa que pueda ser considerada como solución a la deforestación, a la falta de electrificación rural y al retraso socio-económico de las comunidades aisladas.

Por las razones expuestas, la Universidad de San Carlos de Guatemala, consciente de la problemática energética nacional, de la deforestación de bosques, del consumo inadecuado de la leña y de sus implicaciones al ambiente y la salud, especialmente en el área rural, se ha integrado a la línea de investigación de Gestión Energética del Programa de Maestría en Energía y Ambiente, la “Gestión y Uso Eficiente de la Leña”, con el objeto de aportar en la investigación, análisis y generación de propuestas que contribuyan al desarrollo sostenible de la matriz energética del país y de la comunidad, La Nueva Bendición, Guanagazapa, Escuintla.



## 2. ANTECEDENTES

Respecto a la Comunidad La Bendición: En el año 1997 se organiza un grupo de campesinos de diferentes lugares cercanos al Municipio de Nuevo Progreso San Marcos, estos refugiados en México por el conflicto armado interno, retornaban a Guatemala. Debido a que no contaban con empleo, los refugiados decidieron gestionar un proyecto, a través del Fondo de Tierras (FONTIERRAS) para poder reubicarse en el país. Estos, ya ubicados en la finca, por falta de recursos, realizaron una alianza con otro grupo de Todo Santos Cuchumatanes, los cuales luchaban por la misma causa. Tiempo después, en una asamblea en Quetzaltenango, se logran unificar estos dos grupos. (Fuentes, 2012)

El 7 de junio del 2001 se logra la negociación de la finca Obscuros Guatalones, actualmente La Nueva Bendición. Se forma la Empresa Campesina Asociativa, La Bendición que contaría con un total de 177 beneficiados, en una extensión de 12,5 caballerías de tierra. Actualmente, debido a deserciones, por condiciones adversas en el terreno, únicamente quedan 52 socios. (Fuentes, 2012)

Las Empresas Campesinas Asociativas –ECA- son aquellas formadas por grupos de campesinos que se benefician de un proceso de transformación agrario, constituidos en una colectividad, bajo una gestión común, para explotar directa y personalmente la tierra, en forma eficiente y racional, aportando su trabajo, servicios u otros bienes con el fin de mejorar los sistemas de producción en el campo y satisfacer sus propias necesidades. (Fuentes, 2012)

La ECA, se caracteriza por su naturaleza de propiedad social, la que se entiende como copropiedad indivisible entre sus miembros de la tierra y de todos los bienes que forman el patrimonio de la empresa. Las personas que tienen derechos sobre la tierra y los recursos naturales son los 52 socios que forman parte de la ECA, formando estos una población de 500 personas, aproximadamente. (Fuentes, 2012)

Experiencias anteriores: Se han llevado a cabo varios proyectos en Europa, Asia y Latinoamérica de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal, con diferentes enfoques o formas de adquisición de la biomasa forestal; entre las que se puede mencionar, la planta termoeléctrica ubicada en el Parque Empresarial de Chorente situado en el municipio de Allariz, España. Esta planta propone la construcción de una central que tiene como fin el aprovechamiento de la biomasa obtenida en las labores de poda forestal para ser transformada en energía eléctrica, siendo el combustible principal los subproductos forestales proveniente de la limpieza de montes. La energía generada será vendida a la red eléctrica y también aportará la energía necesaria para el autoconsumo de la planta. Como resultado se tiene un ahorro energético y, consecuentemente, un abaratamiento del proceso productivo. (Alonso, 2004)

Alonso (2004) desarrolla en su tesis *Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para la Producción de Energía Eléctrica, 2014*, que este proceso “tiene una alta viabilidad económica como resultado de ella la construcción de la central termoeléctrica”. Se remarca que en un escenario con condiciones optimistas, el proyecto resulta siendo totalmente viable.

Argumentándose que se tiene un Valor Actual Neto (VAN) positivo y un periodo de retorno de la inversión muy alto, resultado en amplias ganancias, las



que son destinadas al crecimiento del negocio y un ampliación de mercados en los cuales invertir. (Alonso, 2004).

Tabla I. **Pay back, VAN y TIR de la planta en Allariz, España**

PAY-BACK	VAN	TIR
2,1 años	<b>14 021 827</b>	<b>46.26%</b>

Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, España. Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para Producir Energía Eléctrica.

Según Sasvín (2012) en el ámbito nacional se puede mencionar que el 6 de septiembre, en el departamento de El Progreso, Ernesto Bran, el subdirector regional del Instituto Nacional de Bosques (INAB), presentó al Consejo Departamental de Desarrollo (CODEDE) proyectos de bosques energéticos, argumentando que son una alternativa socio-ambiental a la deforestación que se ha causado por la creciente demanda de leña en el departamento.

Justificando, Ernesto Bran argumentó que entre las principales causas de la pérdida de cobertura de bosques está la tala de árboles para consumo energético, principalmente para la cocción de alimentos, por lo que sugiere cultivar la especie de Eucaliptus Urophylla, por sus características de rápido crecimiento y que es propicio para climas con escasas de lluvias, como es el caso del departamento de El Progreso (Artículo CERIGUA). Las áreas de mayor concentración poblacional, agregado a la situación de pobreza y pobreza extrema, se presentan también como factores claves que contribuyen a la deforestación, tomando en cuenta que, a nivel nacional el 59,28 % de la población es pobre y vive en el área rural. (Banco de Guatemala, 2016)

La Dirección General de Energía y Minas indica en las estadísticas energéticas del 2012 que el 56,84 % de consumo de energía en el país fue a través de leña; además se debe tomar en cuenta que, aunque la extracción de

este recurso es ilegal, su aporte a la economía de las familias es de subsistencia; por lo tanto, es necesario considerar que esta actividad genera un impacto negativo, que contribuye a los gases de efecto invernadero y que se refleja en el cambio climático con graves consecuencias en la economía, la salud y la cotidianidad de las personas.

Agregándole a esto, Ernesto Bran solicitó al Consejo de Desarrollo Departamental que se busque la promoción y aprobación, a través del sistema de Consejos de Desarrollo, el uso de bosques energéticos, con plantas endémicas de la región y de la especie *Eucaliptus Urophylla*, ya que además de recuperar la cobertura boscosa perdida tiene la capacidad de rebrotar y crecer dos metros y medio al año.

Reconociendo que el problema debe abordarse integralmente, el pleno del CODEDE aprobó como primera iniciativa el Acuerdo de Alianza entre la sub regional del INAB y la Dirección Departamental de Educación, para elaborar un programa con enfoque en educación ambiental dirigido a los alumnos y docentes de los diferentes niveles educativos en el 2012, para iniciar el 2013.

Aparte de la propuesta recién mencionada, existe un proyecto de silvicultura energética que ha desarrollado la Universidad Sueca de Ciencias Agronómicas, Uppsala. En este proyecto se indica que en el aprovechamiento en los bosques energéticos, el valor calorífico de la madera es una de las características más importantes (esto es un elemento que se menciona en la gran mayoría de la bibliografía referenciada).

Dando respuesta a ¿por qué? se utiliza cierta especie en particular, se debe a ciertas características, entre estas, la que de mayor importancia por sus fines energéticos es el poder calorífico. El elemento crucial para determinar el

poder calorífico de cierta madera ya seleccionada es el nivel de humedad, ya que esto, consecuentemente, afecta cuanta energía se puede generar. Estos dos datos son cruciales para calcular la potencia que se puede generar a partir de cierta área para la plantación del bosque energético, viceversa.

La producción de los bosques energéticos se expresa actualmente en toneladas de peso seco por año, a pesar de esto el cálculo de las hectáreas necesarias para la generación de determinada potencia, se debe de agregar el porcentaje de biomasa extra que se necesita, tomando en cuenta las condiciones en peso húmedo. Es importante reconocer que las diferencias de lugares, del cultivo y edad, pueden conllevar a cambios fundamentales en el peso específico. En ciertas especies es posible el aprovechamiento secundario de las hojas para forraje, o de las flores para miel. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f.).

Según la tesis de Regil Wald y Juan Sebastián de León (2010) la industria azucarera ha sido pionera en producir energía eléctrica en Guatemala por medio de madera desfibrada de eucalipto, y han sido los líderes en proponer alternativas en la producción de energía a bajo costo, sustituyendo a otros combustibles con altos precios en el mercado.

Wald y León (2010) argumentan que a partir del cultivo de eucalipto se crearon bosques energéticos, con el fin de suministrar madera a la industria azucarera para la producción de energía constante y ser un pulmón de oxígeno para Guatemala. Este proyecto se planteaba bajo un porcentaje de puestos operativos en época de no zafra, manteniendo la mano de obra calificada y favoreciendo a la industria azucarera en invertir menos en capacitación para el aprendizaje de operación de las máquinas.

El valor esperado del valor presente neto del proyecto en período de 5 años y la tasa de retorno requerida, indica en el resultado del análisis económico que el proyecto es rentable para la industria azucarera. El área de energía, conjuntamente con el área de campo, mantienen una logística para mantener operando la caldera, demostrando que el proyecto abarca una buena comunicación entre el área de campo y la fábrica, cumpliendo con todas las metas propuestas para mantener una operación eficaz y continua de energía eléctrica. (Wald y León, 2010)

En el desarrollo de la tesis de Regil Wald y Juan Sebastián de León (2010) se realizó una comparación entre el uso de biomasa forestal y *búnker* como combustible para una planta de generación, y se visualiza que el costo con *búnker* es mayor que el costo con *chip* de madera, el cual es una alternativa para reducir costos y tener mayores ganancias. Al no ser el caso directamente comparativo como es el de la tesis con diésel, este referente de comparación es muy importante al ser el *búnker* el de mayor uso para la generación de energía eléctrica a fuentes no renovables en Guatemala.

Como antecedente más delimitado al área específica de enfoque, en el Plan de Desarrollo Municipal del municipio de Guanagazapa (2011-2025) se abarca la prevención y rescate de recursos naturales; específicamente se busca enfocar en la conservación y recuperación de los recursos naturales, derivado de las amenazas producidas por el hombre que ha generado la degradación del medio ambiente y sus recursos. A pesar de tener un territorio de vocación forestal, la desmedida deforestación ha dejado únicamente un 3 % de zona de bosques. El Plan de Desarrollo se enfoca en la recuperación de todos los recursos naturales, entre ellos los bosques. (Plan de Desarrollo Municipal, Guanagazapa, Escuintla. 2011-2025)

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

#### **3.1. Descripción del problema**

##### **3.1.1. Falta de acceso al servicio de electricidad en la comunidad, La Nueva Bendición**

Unos 30 millones de personas que viven en América Latina y el Caribe no cuentan con luz eléctrica, en una región donde se utiliza la mayor cantidad de energía renovable del mundo para generar electricidad afirma Fernando Ferreira, secretario ejecutivo de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Según el Banco Internacional de Desarrollo (BID) el 75 % de las personas que no tiene acceso a la electricidad se concentran en siete países: Haití (7,5 millones), Perú (3 millones), Argentina (2,1 millones), Bolivia (1,8 millones), Brasil, Colombia (1,7 millones) y Guatemala (1,6 millones). El BID señala que el promedio de electrificación urbana en América Latina es del 99 %, mientras que la cobertura rural es de 82 %.

En Guatemala se tiene una cobertura eléctrica de 91,96 % implicando que de las 3 289 945 viviendas contabilizadas se cubren únicamente a 3 025 511 usuarios. En el caso específico de Escuintla se tiene una electrificación del 96,98 % y en el municipio de Guanagazapa del 99,1 % (Índice de Cobertura Eléctrica 2015, MEM).

Para el caso de la comunidad, La Nueva Bendición, por su contexto particular en el cual se asentó en el municipio de Guanagazapa (como se describe en los antecedentes) nunca se le dio seguimiento por parte del Estado

a cubrir sus necesidades fundamentales, como lo es la electrificación de la comunidad, entre otras, dada su lejanía de la infraestructura para suministro eléctrico por parte de la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) no se ha evaluado proveerles energía por extensión de sus líneas de transmisión ni a la comunidad, La Nueva Bendición ni a Nuevo Todos Santos, que es una comunidad aledaña a La Nueva Bendición.

El acceso a la energía eléctrica es un índice de desarrollo muy importante que impulsa a una comunidad a tener un drástico cambio en su vida cotidiana. La falta de acceso a servicio eléctrico les genera el impedimento de tener iluminación en la noche; poder tener acceso a refrigeración de alimentos; ventilación, entretenimiento, etc. Por ende, la electrificación de una comunidad que no tenía acceso a esta a través de un proyecto auto sostenible, proveerá un impulso en su desarrollo constante.

### **3.1.2. Desaprovechamiento de los recursos renovables como fuente de energía sostenible**

Existe una gran variedad de recursos renovables que pueden ser utilizados para generar energía eléctrica. En Guatemala se tiene la gran ventaja de contar con un alto potencial de generación geotérmico, hídrico, solar, eólico y a partir de biomasa; por mencionar algunos.

Todos estos elementos poco a poco han ido tomando fuerza en la matriz energética del país. El caso de la energía a través de hidroeléctricas con un 40 % a 50 % y generación a través de biomasa en los ingenios con un 10 %. Aparte de los dos tipos de energías recién mencionados, en el país se produce, aunque en menor escala, energía a través de otras fuentes renovables como son la energía solar, eólica y geotérmica.

A partir de los elementos anteriores, el presente proyecto plantea que, a través de una planta de gasificación de biomasa, se genere energía eléctrica para la demanda energética de una comunidad, a través de recursos renovables de biomasa como son los recursos forestales y los residuos agrícolas, con tal de tener un aprovechamiento energético de las zonas deforestadas inutilizadas del país. Consecuentemente se logra capturar carbono gracias a los bosques energéticos y se busca de esta manera plantear soluciones que permitan reducir la emisión de GEI y el uso insostenible de hidrocarburos como fuentes principales de energía en la matriz energética.

En el territorio guatemalteco se dispone de amplias áreas estatales, municipales y privadas que no tienen una explotación de cultivos que permitan su utilización racional. Esto se da en áreas que se consideran áridas, en las cuales no existe una formación adecuada de los suelos, ni un manto de humos que permitan cultivos agrícolas rentables; pero se puede hacer la selección de especies forestales adecuadas a las condiciones agroclimáticas para lograr el desarrollo de bosques frondosos que generen un reciclaje y renovación del medio. Estas áreas se podrían usar para plantar bosques energéticos para generar energía eléctrica y para producir biomasa forestal para consumo residencial de manera sostenible.

Existe una gran variedad de recursos de biomasa, pueden ser utilizados para generar energía eléctrica y que no son utilizados, entre estos se encuentra la biomasa forestal y los residuos agrícolas. La biomasa forestal será adquirida de un bosque energético y los residuos forestales del bosque comunal. A continuación se presenta una tabla que demuestra la disponibilidad de bosque que existe en la comunidad, incluye el manejo de bosque que se tiene, tanto de manera comunal como individual.

Tabla II. **Manejo del bosque**

Tipo de Bosque	Área (Ha)	Porcentaje de Extensión
Comunal	385,31	69,54
Individual	56,48	10,16
TOTAL	441,48	79,7

Fuente: Coalición RRI. Metodología de Sistematización de Experiencias sobre Gestión y Defensa de Tierras Comunes y El Territorio: Empresa Comunitaria Asociativa La Bendición.

Una de las actividades que los miembros de la comunidad realizan para el sostén de sus familias, es la siembra de cultivos agrícolas, como el maíz, frijol, y algunas legumbres; sin embargo algunas personas de la comunidad cuentan con algunas cabezas de reces (ganado) este último de carácter menor, ya que solo cuentan entre 1 y 5 cabezas. A continuación se presenta una tabla que define la extensión por cultivo que tiene la comunidad La Nueva Bendición.

Tabla III. **Extensión por cultivo en La Nueva Bendición**

Cultivo	Área(ha)	Porcentaje de extensión respecto a la tierra comunal
Maíz/frijol	22,57	4,06
Café	78,92	14,20
Pastos	11,34	2,04
Total	102,83	18,26

Fuente: Coalición RRI. Metodología de Sistematización de Experiencias sobre Gestión y Defensa de Tierras Comunes y El Territorio: Empresa Comunitaria Asociativa La Bendición.

El eje económico de la comunidad ECA, La Bendición es la agricultura, teniendo esta una gran cantidad de residuos que no son utilizados de ninguna



manera y únicamente se acumulan como basura; siendo estos materia orgánica producen GEI al no tener un tratamiento sostenible.

Residuos como la mazorca del maíz y el cascarillo del café pueden ser utilizados en la planta de gasificación para reducir la demanda de biomasa forestal y aprovechando sosteniblemente los residuos agrícolas.

### **3.1.3. Contaminación por uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica**

La madera ha sido básicamente la principal fuente energética del mundo desde que se descubrió el fuego, cocinando y calentado los requerimientos alimenticios del ser humano. Actualmente ha tomado impulso la energía a base de petróleo en un 37 % del consumo, gas natural 20 %, carbón 23 %, nuclear 6.5 %, quedando un 13,10 % de generación de energía limpia por recursos renovables.

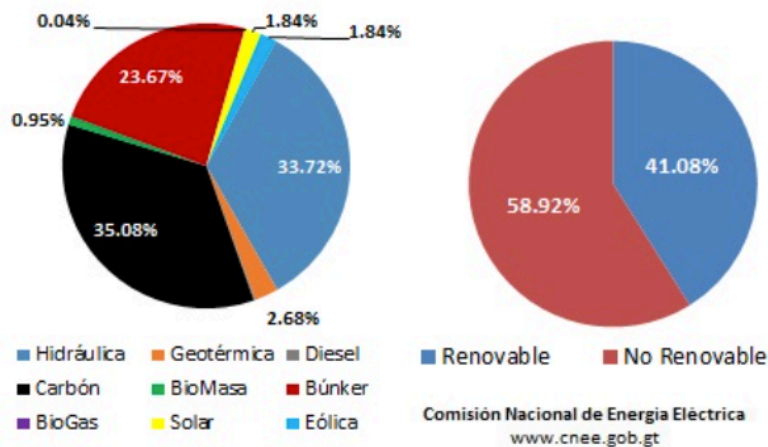
La energía a base de los combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural, son los principales generadores de CO<sub>2</sub> que causa el efecto invernadero en la tierra, lo cual nos conduce a cambios negativos en el medio ambiente.

Bajo este concepto, Guatemala, con recursos hídricos, geotérmicos, forestales, eólicos y solares, dispone de un gran potencial para la sustitución energética lo cual permitiría una generación de energía a precios estables, sin la dependencia del exterior. Además de participar con un aporte significativo a las políticas internacionales ratificadas por la Organización de las Naciones Unidas de Desarrollo Industrial, ONUDI, en el Protocolo de Kyoto, donde se reconocen certificados en la reducción de las emisiones de carbono, siendo elementos clave

para la disminución del deterioro ambiental, disminuyendo la emisión de los gases de efecto invernadero en general, reduciendo el ritmo acelerado que se tiene en el calentamiento global.

En Guatemala, al igual que en la gran mayoría de países latinoamericanos, se tiene una matriz energética variada con un alto uso de energía hidroeléctrica para generar energía eléctrica. A pesar que la cantidad de generadoras a partir de recursos renovables no son suficientes para cubrir la demanda energética del país, 41,08 % (figura 1), esto conlleva a un alto uso de combustibles fósiles, 58,92 % (figura 1) para mantener el balance en la matriz energética.

Figura 1. **Matriz Energética, Semana 29:17 al 23 de julio de 2016**



Fuente: CNEE. [http://www.cnee.gob.gt/xhtml/informacion/WP\\_monitoreo-mercado%202016.html](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/informacion/WP_monitoreo-mercado%202016.html) [Consulta: 20 de julio de 2016].

Durante la época de la zafra, los ingenios intervienen proveyendo alrededor del 20 % de la generación de energía eléctrica, sin embargo en épocas donde no hay zabra este porcentaje se reduce y los ingenios recurren al uso de carbón, *búnker* y leña para mantener su generación funcionando.

Todo esto implica que los ingenios son una buena oportunidad de generación sostenible, sin embargo no funciona todo el año, implicando el uso de combustibles fósiles.

Los hidrocarburos son materiales escasos y son parte de los recursos no renovables, lo que implica que son caros, su precio fluctúa según el mercado internacional, indicando la dependencia que tiene el país con el precio de ellos, y así afectando toda su economía. Cada vez que el precio de los combustibles fósiles sube implica que la energía eléctrica en el país también subirá su precio, generando, a la vez, una dependencia directa entre los precios de energía en el país y los precios de los combustibles fósiles.

#### **3.1.4. Deforestación insostenible por el uso de leña como fuente de energía**

Se considera que el consumo de leña en Guatemala constituye el 57 % del consumo energético a nivel general. Esta situación es muy preocupante ya que implica que, en consecuencia, se tiene una alta deforestación en el país por causa de intereses energéticos, haciendo casi imposible su sostenibilidad.

El mayor consumo de leña se da debido al consumo residencial para la cocción de alimentos. El poco desarrollo rural en el país, impulsa a que muchas familias dependan directamente de la leña a pesar de tener conexión a la red eléctrica. Este consumo continúa, ya que este proceso no tiene ningún costo económico en la adquisición de leña del bosque; sin embargo la energía eléctrica tiene un costo relativamente alto comparado con lo que invierten en leña. A pesar de la modernización de la sociedad guatemalteca, el elemento cultural que implica el uso de leña para cocinar es un elemento primordial que contribuye al

uso continuado de leña. Este elemento tendrá que abordarse con pertinencia cultural.

El alto uso de leña genera impacto en la salud de todos los habitantes de cada vivienda, en particular en las mujeres y los niños, que son quienes permanecen mas tiempo en la vivienda, y especialmente las mujeres que son quienes cocinan.

En el territorio guatemalteco se dispone de amplias áreas estatales, municipales y privadas deforestadas de vocación forestal y que no tienen una explotación de cultivos. Dichas áreas se consideran como áridas en las cuales no existe una formación adecuada de lo suelos, ni un manto de humos que permita cultivos agrícolas rentables; por lo tanto puede considerarse hacer la selección de especies forestales adecuados a las condiciones agroclimáticas para lograr el desarrollo de bosques frondosos que generen un reciclaje y renovación del medio.

### **3.2. Formulación del problema**

Actualmente, Guatemala tiene la mayor capacidad instalada de generación de energía eléctrica en Centroamérica, a pesar de esto la electricidad representa únicamente el 9,5 % del consumo energético del país (figura 3); es importante recalcar que la electricidad es un elemento clave para del desarrollo de la economía guatemalteca. La matriz energética es bastante variada, contando con alta generación renovable por parte de las hidroeléctricas 51,4 %, energía geotérmica 2,7 %, por biomasa en los ingenios (la gran mayoría bagazo de caña) con un 9,44 %, energía solar y eólica con un 2 % entre ambas.

Mas allá del potencial energético que tiene el país en fuentes energéticas renovables, entre *búnker*, carbón y diésel, representan el 32,45 % de la generación de energía eléctrica, y es importante remarcar que este valor puede aumentar o disminuir, dependiendo de la época del año por las condiciones climatológicas. Esto causa dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, implicando una dependencia del costo de la energía eléctrica con el costo internacional de los combustibles fósiles.

El problema que se tiene, relacionado a la dependencia de fuentes no renovables para la generación de energía eléctrica en la matriz energética, es dado por la poca diversificación de las fuentes primarias renovables para la generación de energía eléctrica. Esto se ve reflejado en las dos fuentes principales renovables, las cuales son las hidroeléctricas y la generación a partir de la biomasa proveniente de bagazo en los ingenios, siendo estas dos fuentes completamente dependientes de las condiciones climatológicas; por ende, teniendo poca estabilidad del suministro energético.

De igual manera el desconocimiento de formas alternativas de generación de energía eléctrica, aunado al desinterés que se tiene por parte de la población de las fuentes renovables, la cual en su mayoría son las hidroeléctricas; esto se da por la conflictividad que se ha tenido por varios años con los proyectos de las hidroeléctricas que manifiestan malas prácticas que afectan o pueden afectar a las comunidades, tales como desviación de ríos, lo cual afecta directamente el desarrollo de la vida en las comunidades. Es importante considerar que existen comunidades que se oponen a las hidroeléctricas y que no se ha cuidado por parte de las empresas el proceso que conlleva los recursos naturales de las comunidades, como medios de vida y que, como se mencionó, puede alterar su cotidianidad.

El problema de acceso al servicio de energía eléctrica para las zonas rurales aisladas tiene como causas la falta de inclusión en las decisiones políticas que influyen sobre la comunidad, el desaprovechamiento de los sistemas cercanos a la zonas y por el uso generalizado de fuentes de energía ineficientes como lo son las velas y la leña. Estas causas resultan de prácticas culturales, sin embargo, la causa principal por la que las comunidades no tienen energía eléctrica por que no hay inversión en infraestructura para generar energía eléctrica en estas zonas.

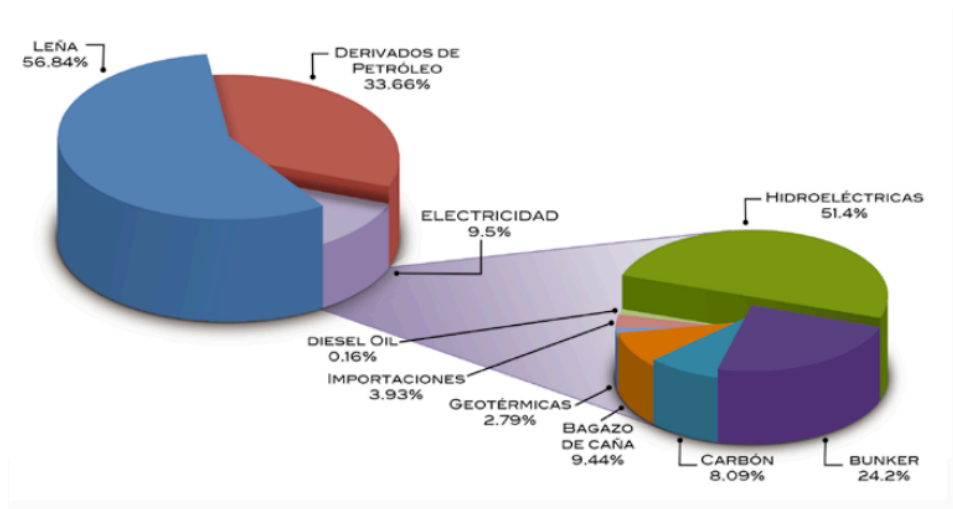
La Ley General de Electricidad obliga a la distribuidora a conectar a cualquier persona que se encuentre a 200 metros del ultimo punto de línea, para 201 metros o más recae en el cliente pagar la extensión de línea. La Nueva Bendición se encuentra a varios kilómetros del ultimo punto de conexión lo que implica que los costos de extensión de línea la tendría que pagar la misma comunidad o obtener los fondos de algún otro lado.

El efecto principal del problema de no tener acceso al servicio de electricidad es un retraso económico, social y productivo en las zonas rurales aisladas, en el caso específico de este estudio en comunidad, La Nueva Bendición, ubicada en el municipio de Guanagazapa, Escuintla.

Esta propuesta aborda como alternativa la generación de bosques energéticos y, así mismo, el establecimiento de una planta de generación de energía, lo que puede permitir un desarrollo muy significativo para estas regiones; permitiendo, en primer lugar, disponibilidad energética para el consumo habitacional y, en segundo lugar, como un pilotaje que pueda brindar información sobre cómo esta alternativa de disponibilidad energética puede llenar los requerimientos de la micro y mediana empresa, principalmente la agroindustria, que es la base central para el desarrollo económico de muchas regiones en el país.

Bajo este concepto se realiza el análisis de las ventajas de un bosque energético como fuente principal de biomasa para generación de energía eléctrica a través de un proceso de gasificación. Este análisis incluye un estudio del aporte del proyecto para la comunidad en el desarrollo e implementación de bosques energéticos que, según las especies de la región, reúnan las condiciones caloríficas para el uso eficiente de leña en lugar de combustibles fósiles, así como teniendo un aprovechamiento de las áreas deforestadas que son consideradas zonas áridas, donde no se da la agricultura. Aprovechar estas áreas para crear un bosque energético que pueda surtir de energía eléctrica, brindará mejores condiciones de vida para la población de la comunidad, La Bendición en Guanagazapa, Escuintla.

Figura 2. **Consumo energético nacional del 2012**



Fuente: Dirección General de Energía y Minas. *Estadísticas energéticas 2012.*

### **3.3. Delimitación del problema**

#### **3.3.1. Delimitación sectorial**

La investigación se enfocará en desarrollar la planificación del desarrollo de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica, de manera que se tome en cuenta el aprovechamiento de zonas deforestadas y los residuos agrícolas. El proyecto se plantea como una generadora distribuida renovable (GDR) siendo esta una mini central eléctrica para electrificar a la comunidad La Bendición. La central está sujeta, tanto a la legislación como a las normas técnicas para su implementación proporcionadas, por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE.

#### **3.3.2. Delimitación tecnológica**

El proyecto se enfoca en la implementación de avances tecnológicos en la gasificación de biomasa forestal utilizando varios procesos termoquímicos para lograr la producción de un gas sintético, el cual después de procesos de limpieza es utilizado para alimentar un motor de combustión interna.

La delimitación tecnológica recae en las diferentes áreas que se tocarán en el tema de investigación, siendo estos: los boques energéticos, residuos agrícolas, la gasificación de biomasa, motores de combustión interna de diésel adaptados para el uso constante del gas de síntesis, generadores eléctricos, así como los procesos de transformación, distribución e iluminación; así como todas las condiciones de protección y conexión que se indican en las Normas Técnicas de Generación Distribuida Renovable (NTGDR). La investigación se delimitará al



estudio de preinversión, realizando la evaluación del perfil del proyecto, la perfectibilidad, la factibilidad y el Diseño técnico, financiero y ambiental.

### 3.3.3. Delimitación geográfica

El municipio de Guanagazapa se encuentra ubicado en el sureste del departamento de Escuintla; al norte colinda con el municipio de San Vicente Pacaya; al sur con el municipio de Iztapa; al este con los municipios de Pueblo Nuevo Viñas y Taxisco, ambos del departamento de Santa Rosa; al oeste con los municipios de Escuintla y Masagua. Tiene una extensión geográfica de 220 km<sup>2</sup> y sus coordenadas geográficas son Latitud 14,13'28''Norte y Longitud 90 38'40''Oeste. Partiendo de Escuintla, el acceso al municipio de Guanagazapa se realiza por la carretera Interamericana CA-2, en dirección a Taxisco, Santa Rosa; luego de un recorrido aproximado de 15 km, se desvía 10 km por la Ruta Departamental Escuintla 14, que conduce al casco urbano del municipio. (Plan de Desarrollo Municipal, Guanagazapa, Escuintla. 2011-2025).

Figura 3. **Ubicación geográfica del municipio de Guanagazapa, Escuintla.**



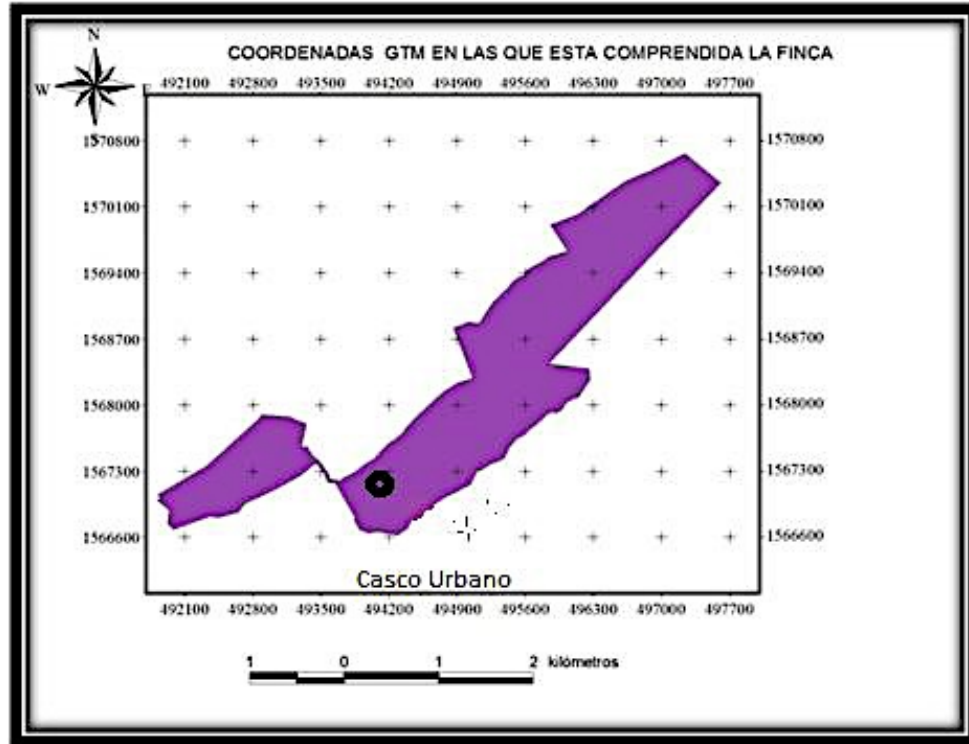
Fuente: SEGEPLAN. Plan de Desarrollo Municipal, Guanagazapa, Escuintla 2011-2025.

La comunidad, La Nueva Bendición se encuentra ubicada en la microrregión 3, en el sur oriente del municipio de Guanagazapa. Es la ultima comunidad al oriente del municipio antes de la línea delimitadora con el departamento de Santa Rosa. (Plan de Desarrollo Municipal, Guanagazapa, Escuintla. 2011-2025).

El proyecto de investigación se desarrollará en la comunidad ECA La Bendición, ubicada en el municipio de Guanagazapa, del departamento de Escuintla. La comunidad se encuentra aproximadamente a 700 msnm a 106 km de La Ciudad de Guatemala y a 49 km de la cabecera del departamento, Escuintla. Para llegar a la comunidad hay que utilizar una carretera de terracería de 12 km que se desvía de la Ruta Departamental Escuintla 14. (Fuentes, 2012).

La comunidad ECA, La Nueva Bendición, cuenta con el plano de la comunidad, en el cual se especifican las 12 caballerías 24 manzanas y 9 551,55 varas cuadradas de extensión que ocupa la tierra comunal, la cual en su mayoría está destinada para bosques, el cual, además, le brinda un beneficio a la comunidad, ya que de allí extraen algunos recurso para uso familiar. (Fuentes, 2012)

Figura 4. Plano de la comunidad La Nueva Bendición



Fuente: Coalición RRI. Metodología de Sistematización de Experiencias sobre Gestión y Defensa de Tierras Comunes y *El Territorio: Empresa Comunitaria Asociativa La Bendición*.

### **3.4. Preguntas de investigación**

#### **3.4.1. Pregunta Central**

¿Es factible, técnica y económicamente, generar energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa, como una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas en, La Nueva Bendición, Guanagazapa, Escuintla?

#### **3.4.2. Preguntas Auxiliares**

1. ¿Qué potencial tiene la biomasa proveniente de bosques y residuos agrícolas para cubrir la demanda de una planta de gasificación y cuánta biomasa es necesaria para cubrir esa demanda?
2. ¿Qué demanda de energía eléctrica tiene la comunidad y qué infraestructura es necesaria para poder suministrar la energía eléctrica a los usuarios de la comunidad, La Nueva Bendición?
3. ¿Qué factibilidad técnico/económica tiene una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en la comunidad, La Nueva Bendición?
4. ¿Cuál es el impacto social y ambiental que tiene el implementar una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica?
5. ¿Es esta planta una alternativa viable para la electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala?

## 4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la matriz energética del país es altamente dependiente de las fuentes no renovables para la generación de energía eléctrica. La generación, a través de fuentes no renovables, es conveniente debido al fácil proceso de conexión y a la alta eficiencia que se tiene con los combustibles fósiles. Esto tiene muchos efectos negativos en la matriz energética incluyendo la dependencia a los combustibles fósiles y de la energía importada de México; otros efectos negativos son el aumento del precio de la energía eléctrica y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

De manera que Guatemala pueda mejorar su huella de carbono y reducir la generación de energía a partir de fuentes no renovables, se tiene que llevar a cabo la implementación de alternativas que sean renovables, sostenibles y sean generadoras consistentes de energía eléctrica, que no sean variables debido a la época o a las condiciones climáticas.

A pesar de que el país cuenta con la mayor capacidad instalada para generación de energía eléctrica en Centroamérica, la mayor fuente energética primaria es la leña. Guatemala cuenta con un Índice de Desarrollo Humano (IDH) bajo y con un balance energético no sostenible, teniendo una dependencia muy alta de la leña, generando una serie de problemas asociados, tales como: la deforestación, enfermedades respiratorias por la inhalación del humo de la leña y las emisiones de gases de efecto invernadero, asociadas a la combustión del recurso.

El hecho de que se tenga una alta deforestación, tienen muchos efectos negativos sobre los suelos y las fuentes de agua del país. Buscar mecanismos que incentiven la reforestación es un elemento clave para mejorar varias

condiciones deplorables ambientalmente del país, ya que existe un desaprovechamiento del potencial energético que tienen las áreas áridas del país en las cuales el cultivo no se da por cuestiones de la fertilidad del suelo, pero que son propicias para plantación de áreas forestales, siempre y cuando los bosques plantados tengan la capacidad de soportar tales condiciones.

Uno de los elementos claves para el desarrollo humano incluido en los IDH, es el acceso al servicio eléctrico. La gran mayoría de personas que no cuentan con este servicio se encuentran en comunidades en el área rural denominadas Zonas Rurales Aisladas (ZRA). Cuando no se tiene acceso a este servicio se tienen muchos efectos negativos, como son la escasa actividad productiva, comercial y turística para la comunidad.

Para las ZRA como es el caso de, La Nueva Bendición, se tienen efectos de baja productividad en actividades de producción, se tiene un incremento de costos en las actividades comerciales por la poca accesibilidad a la comunidad, aparecen restricciones en la disponibilidad de telecomunicaciones y en la calidad de servicios de salud y educación. Uno de los elementos importantes es que, al no tener acceso a la energía eléctrica, se pierde la capacidad de almacenar adecuadamente los alimentos en refrigeradores, esto puede provocar problemas de salud para los individuos de la comunidad.

En general, la falta de electrificación en una comunidad, como es el caso de La Nueva Bendición, produce una baja calidad de vida en sus habitantes y un bajo desarrollo productivo. Todo esto conlleva a un retraso socio-económico y productivo para la comunidad, implicando la importancia que tiene el encontrar una manera de proveerles el servicio de electricidad de una manera sostenible y renovable para mejorar su calidad de vida y, en sí, para impulsar el desarrollo general de la comunidad.

Esta investigación se plantea como un plan piloto de generación de energía eléctrica a partir de gasificación de biomasa como una alternativa sostenible y renovable para las zonas rurales aisladas del país. La idea de plantearlo como un plan piloto es comprobar su factibilidad técnica y económica, apoyada de un estudio de impacto ambiental y social para realmente determinar si puede ser un proyecto replicable en todo el país como una alternativa que de solución a la deforestación, electrificación rural y al retraso socio-económico de las comunidades aisladas.

El desarrollo de la investigación entra en armonía con la línea de investigación, “Gestión y Uso Eficiente de la Leña en Guatemala”, también relacionada con la línea de investigación “Energías Renovables” del Programa de Maestría en Energía y Ambiente. Contribuirá a la investigación y desarrollo de propuestas para abordar uno de los mayores problemas del país, en el ámbito energético y ambiental.





## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Determinar la factibilidad técnica y económica de generar energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa, como una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas en, La Nueva Bendición, Guanagazapa, Escuintla.

### **5.2. Objetivos Específicos**

6. Determinar el potencial que tiene la biomasa proveniente de bosques y residuos agrícolas para cubrir la demanda de una planta de gasificación y calcular, en base al potencial, la biomasa necesaria para cubrir esa demanda.
7. Calcular la demanda de energía eléctrica y dimensionar la infraestructura necesaria para poder suministrar la energía eléctrica a los usuarios de la comunidad, La Nueva Bendición.
8. Determinar la factibilidad técnico/económica que tiene una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en, La Nueva Bendición.
9. Describir el impacto social y ambiental que tiene al implementar una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica.
10. Concluir si la planta es una alternativa viable para la electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala.



## 6. ALCANCES

La realización de esta investigación, se basa en una investigación no experimental, que utilizará datos cuantitativos (estadísticas, datos bibliográficos, descriptivos, técnicos, etc.), para definir los requerimientos técnicos de una planta de gasificación de biomasa forestal proveniente de un bosque energético y biomasa de los residuos agrícolas que se tengan en la comunidad, La Nueva Bendición, del municipio de Guanagazapa, Escuintla.

Como ya previamente se ha planteado, la problemática es la falta de electricidad en las comunidades las cuales son catalogadas como zonas rurales aisladas. Para solucionar esto se fundamenta la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables alternativas a las utilizadas en la actualidad. Este es un tema bastante complejo por lo que, a continuación se presenta un esquema de solución para la línea de investigación: “Gestión y Uso Eficiente de la Energía en Guatemala”, así como la línea de “Factibilidad Técnica y Financiera en la Implementación de Bosques Energéticos”.

El diagrama de la necesidad a cubrir y el esquema de solución detallan las necesidades partiendo de la problemática principal, siendo esta la dependencia de fuentes no renovables para la generación de energía eléctrica, lo cual se delimitará para poder encontrar las necesidades que realmente se pueden cubrir y solucionar, si el proyecto se desarrolla satisfactoriamente.

La premisa de esta problemática incluye el alto costo de la energía eléctrica que se produce al depender del precio de los combustibles fósiles y por fuentes renovables como son la energía solar y eólica, el desaprovechamiento de áreas deforestadas y la poca diversificación de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica.

Para solucionar el problema hay que seleccionar el eje sobre el cual se plantearán los mecanismos para solucionarlo. En el presente caso, los ejes seleccionados son la eficiencia energética en el campo de la tecnología y la gestión energética de recursos. El esquema de solución del proyecto plantea que la propuesta debe incluir el diseño de una planta de gasificación de biomasa forestal proveniente de bosques energéticos y de los residuos agrícolas que se tengan de la actividad agrícola en, La Nueva Bendición, como una alternativa renovable y sostenible a la generación de energía eléctrica; incluyendo el desarrollo de los recursos eléctricos al ser un auto productor y la propuesta de selección de especies y sistema de gestión del bosque energético.

A partir del proceso anterior, se pretende contribuir a fomentar el interés en futuras investigaciones sobre gestión energética e implementación de bosques energéticos, que puedan promover un impacto positivo en la cultura medio ambiental, la reforestación, el manejo integral de biomasa forestales, la utilización de la biomasa tradicional y el fomento de prácticas conservacionistas de los recursos naturales dentro de las comunidades.

Desde el punto de vista técnico, la investigación se limitará a la realización de la modelación, el planteamiento de esquemas y cálculos para administración del recurso de biomasa de las especies forestales y agrícolas más importantes para la región. Es decir, el planteamiento de un bosque energético, en la búsqueda de que pueda ser elaborado de forma sustentable en el desarrollo energético, comunitario y ambiental. Cabe destacar que no se llevará a cabo el desarrollo, ni estudios posteriores, debido a que solo se pretende presentar el plan piloto de una planta de gasificación que cubra la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición. El otro aspecto técnico comprende el contemplar el diseño y simulación de una planta de gasificación de biomasa, calculando la demanda de energía eléctrica, dimensionando y diseñando la

infraestructura necesaria para poder suministrar la energía eléctrica a los usuarios de la comunidad; esto implica el diseño de las líneas de distribución, el alumbrado público y las instalaciones eléctricas residenciales.

En cuanto al aspecto energético, se pretende elaborar un sistema que aproveche el mayor potencial de biomasa residual y potencial energético, para proporcionar energía eléctrica a las comunidades tras la recolección de productos maderables y no maderables del sistema agroforestal, para satisfacer la demanda de la planta de gasificación.

En relación al aspecto comunitario, con el uso del bosque energético y la ejecución de la planta de gasificación, así como el planteamiento del sistema eléctrico, se pretende establecer las ventajas que este proceso puede generar, tales como productividad sustentable, demanda de mano de obra calificada y contribuir a mejorar los índices de desarrollo de la comunidad.

En el aspecto ambiental, esta propuesta pretende contribuir a la mitigación de los efectos del calentamiento global, a través de una proyección de la fijación de carbono que se podrá realizar a través del bosque energético. También se pretende medir, de manera cuantitativa, si estos recursos ecológicos pueden ser suficientes para sostener a la planta de gasificación que tiene un determinado nivel de consumo y tecnología.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Matriz Energética**

La matriz energética es una representación cuantitativa de la energía disponible y consumida, en una determinada región, país, o continente, para ser utilizada en los diversos procesos productivos. En Guatemala, la información reflejada en el último balance energético (2012), elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), presenta de forma clara, la alta dependencia y consumo de leña como fuente energética primaria del país, representando el 56,84 %, seguido de los derivados del petróleo (33,66 %) y la energía eléctrica (9,5 %).

#### **7.1.1. Consumo de leña**

Según la Política Energética (2012) la fuente de energía de mayor utilización en el país es la leña, siendo uso principal, la cocción de alimentos en las áreas rurales del país. Este es un dato de consumo energético de gran relevancia, al tener un 56,84 % del consumo en la matriz energética del país (ver figura 2). La quema de leña carece de control y frecuentemente se realiza en áreas cerradas con generación de humos (CO<sub>2</sub>) que representan un riesgo para la salud y causan enfermedades respiratorias a los seres humanos, en especial de las mujeres y niños.

Desde el punto de vista ambiental, cuando la adquisición de madera no se realiza de una forma sostenible, esta actividad contribuye a la degradación forestal, a la erosión de los suelos y a las emisiones de gases de efecto invernadero. (OLADE, 2013).

### **7.1.2. Derivados de petróleo**

Según el Consejo Nacional de Energía del Salvador el petróleo es una mezcla de hidrocarburos de diferente peso molecular en la cual existe una fracción pequeña de compuestos de azufre y nitrógeno. El petróleo crudo es procesado para obtener los diferentes derivados que son consumidos día a día en la sociedad.

En Guatemala, el consumo de productos derivados del petróleo se debe principalmente al sector transporte y al sector industrial, para la generación de calor en sus procesos productivos. El consumo de productos derivados del petróleo ha mostrado un alza promedio de 1,38 % anual para el 2012 y ha continuado al alza al tener la reducción de precios en desde el año 2015. El consumo de estos productos está influenciado por factores externos como el precio internacional del barril de petróleo, la situación económica a nivel mundial, así como la cantidad de generación de energía eléctrica a partir de derivados de petróleo en las centrales termoeléctricas. (Política Energética 2013-2027)

### **7.1.3. Energía eléctrica**

La energía eléctrica es la energía asociada con el flujo o acumulación de electrones. La forma transicional de energía eléctrica es el flujo de electrones, usualmente a través de un conductor. Es la forma de energía que se da por la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, permitiendo establecer una corriente eléctrica entre ambos, cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.



Para el 2012, la demanda de potencia eléctrica reportaba valores cercanos a los 1 500 MW, mientras que el parque generador de Guatemala posee una capacidad instalada cercana a los 2 700MW (Política Energética 2013-2027).

La energía eléctrica puede ser generada a partir de los recursos energéticos primarios, estos son los que se les encuentra en la naturaleza en diferentes tipos de energía. Estos tienen la versatilidad de convertirse en energía eléctrica mediante el uso de tecnologías innovadoras. (Beljansky, 2012)

Estos tipos de recursos de energía primaria se clasifican en:

- Recursos renovables
- Recursos no renovables

#### **7.1.3.1. Recursos renovables**

Son todos aquellos recursos que aportan una fuente de energía que tiene un proceso natural para renovarse. También son intervenidos por acciones humanas con el uso de tecnologías que permiten alcanzar dicho proceso sin ser afectado dicho recurso natural renovable. (Beljansky, 2012)

En su mayoría, las principales fuentes de energía surgen por la participación natural del sol, es decir la energía solar da vida en general a todas estas fuentes de energía. Por ello, al hacer uso de estos recursos naturales disminuye el deterioro al medio ambiente y contribuye notablemente en la reducción del cambio climático. (Beljansky, 2012)

Según información del Ministerio de Energía y Minas (MEM), Guatemala posee un gran potencial para generación de energía eléctrica a partir de energías

renovables. Se consideran los siguientes recursos renovables para la producción de energía renovable:

- Hidroelectricidad
- Geotérmico
- Eólico
- Solar
- Biomasa

Tabla IV. **Potencial de generación eléctrica con fuentes renovables**

Generación eléctrica		Utilizado		Disponibile	
Fuente	Potencial	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
<b>Hidráulica</b>	5 000 MW	853,0 MW	17%	4147,0 MW	83%
<b>Geotermia</b>	1 000 MW	49,2 MW	5%	950,8 MW	95%
<b>Biomasa</b>	700 MW	381,0 MW	54%	319,0 MW	46%
<b>Solar</b>	10 446 GWh/año	52,2 GWh/año	1%	10 394,1 GWh/año	100%
<b>Eólica</b>	7 800 MW	0,1 MW	0%	7 799,9	100%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. <http://www.mem.gob.gt/energia/electricidad/> [Consulta: 2 de agosto de 2016]

### 7.1.3.2. Recursos no renovables

Son los recursos que aportan una fuente de energía que no posee un proceso natural para renovarse, producirse o regenerarse. Regularmente su existencia es limitada en cantidades fijas, y su consumo es superior a la capacidad de la naturaleza en recrearlos. (Beljansky, 2012)

Estos se obtienen al ser extraídos de reservas que pueden hallarse en pequeñas o grandes cantidades. Su precio varía y depende del tamaño del yacimiento, localización y del tipo de explotación. Este tipo de recurso es limitado y se puede agotar. Además su uso produce gases que contribuyen a la contaminación del medio ambiente y generan gases tóxicos. (Beljansky, 2012)

Entre los recursos no renovables se pueden mencionar los siguientes:

- Petróleo
- Diésel
- Minerales
- Metales
- Gas natural

## **7.2. Biomasa**

Se comprende por biomasa el conjunto de materia orgánica renovable de origen animal, vegetal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa se refiere a toda la energía que se puede obtener de la biomasa, ya sea a través de la quema de la misma o mediante algún proceso para conseguir otro tipo de biocombustible, como puede ser el biogás, el gas sintético o los biocombustibles líquidos.

La energía de la biomasa proviene en sí del sol; a través la fotosíntesis la materia orgánica vegetal absorbe y almacena una parte de la energía del sol que impacta la tierra: las células vegetales utilizan ésta radiación solar para crear sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en el aire y de sustancias simples. (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2013)

Es una de las fuentes renovables para la producción energética que procede de una transformación natural o artificial y que puede estar sujeta a un aprovechamiento energético bajo condiciones específicas. Por lo tanto enmarca todas las formas de energía de origen orgánico y sus derivados (Silva Lora y Rincón Martínez, 2014).

La tendencia del uso de fuentes renovables para la producción de energía a nivel mundial se mantendrá casi invariable, mientras se espera que el uso de la biomasa tradicional disminuya en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Sin embargo, los países en vías de desarrollo dependerán de la biomasa tradicional, la calefacción y cocción de los alimentos mediante el uso de combustibles renovables durante los próximos 25 años.

Las fuentes renovables para la producción de energía, incluida la biomasa tradicional, representa en los países en desarrollo, la proporción total de los suministros de energía, que en los países desarrollados. Se estima que el 75 % de las fuentes renovables se consume en países en vías de desarrollo, y la mayor parte de esta energía se basa en el uso tradicional de la biomasa y la energía hidroeléctrica, en contraste con los países industrializados que utilizan el 23 % de energía renovable como biomasa tradicional. Se estima un aumento aproximado de cuatro veces para el año 2030 en el uso de productos biomásicos de desechos de la agroindustria y la ganadería, así como de bosques energéticos, manejo de silvicultura y dendroenergía (FAO, 2008).

### **7.2.1. Dendroenergía**

La madera es considerada la primera fuente de energía de la humanidad. En la actualidad sigue siendo la fuente de energía renovable de mayor

importancia que, por sí sola, proporciona más del 9 % del suministro total de energía primaria a nivel mundial. (FAO, 2016)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en los países en vía de desarrollo la dendroenergía juega un papel clave para más de 2 000 millones de personas que dependen de ella para cocinar y/o calentarse en sus hogares, siendo este tipo de energía la única fuente disponible a nivel nacional y en muchos casos sin restricciones ni control. La madera es considerada como la energía más descentralizada del mundo, al tener un uso como combustible en los hogares privados para la calefacción y la cocción de alimentos, siendo esta, responsable de alrededor de un tercio del consumo mundial de energía renovable.

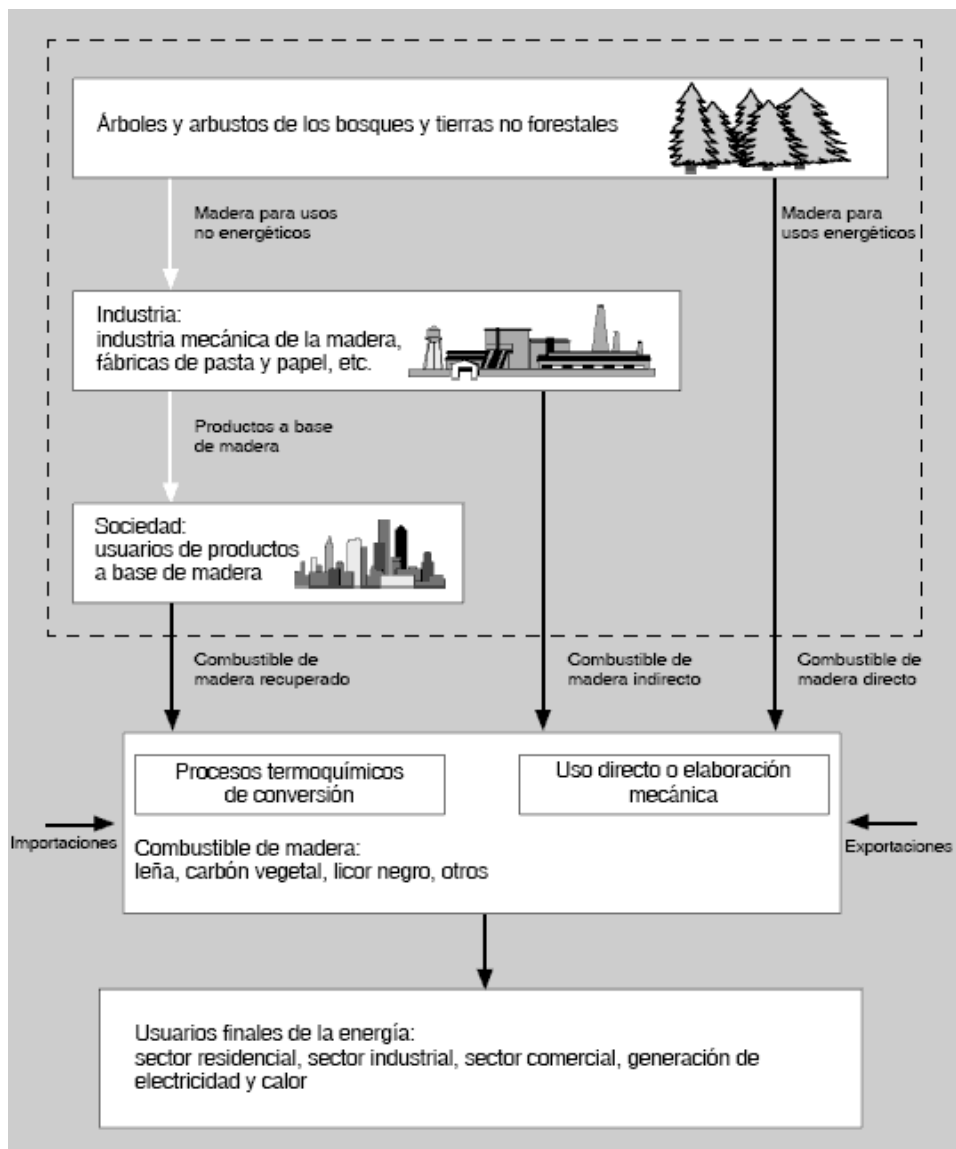
La biomasa utilizada como combustible proviene principalmente de los boques, pero también de varios tipos de fuentes como son otros tipos de áreas forestales e incluso de árboles fuera de los boques. También puede ser adquirido de subproductos de la elaboración maderera, dendrocombustibles elaborados y de la madera recuperada después de su uso.

La dendroenergía es un tipo de energía de tan fácil acceso y uso, que es un combustible auxiliar importante en situaciones de emergencia. La sociedad, sin importar el nivel socioeconómico, al encontrarse con dificultades económicas, situaciones de conflicto, desastres naturales o escasez del suministro de las fuentes de energía no renovable como son los hidrocarburos, vuelven a utilizar fácilmente la dendroenergía como una de las primeras opciones para estabilizar sus necesidades energéticas. (FAO, 2016)

Los combustibles de madera son un producto forestal muy importante. La producción mundial de leña excede la producción de madera en rollo industrial

por lo que se refiere al volumen. A menudo, la producción de leña y carbón vegetal es el uso predominante de la biomasa leñosa en los países en desarrollo y las economías en transición.

Figura 5. Fuentes de suministro de combustible de madera



Fuente: FAO, 2002

Actualmente, debido a las preocupaciones relativas a la seguridad energética y al cambio climático, la dendroenergía se ha encontrado en una nueva etapa de visibilidad y de gran importancia.

Si se cumplen las siguientes condiciones, la dendroenergía puede ser considerada como una fuente de energía renovable que puede llegar a ser viable desde el punto de vista social y sin efectos sobre el clima (FAO, 2016):

- Gestión sostenible de madera procedente de bosques, árboles fuera de los bosques, etc.
- Cuando se tienen los parámetros adecuados para ser utilizado como combustible, entre estos se puede mencionar el valor calorífico, la forma, el contenido de agua, etc.
- Minimización de las emisiones exteriores e interiores a través de incineración o gasificación controlada y eficiente.
- De manera que se favorezca el empleo y su reutilización, implementar el uso en cascada de las fibras de madera.
- Reciclado de las fibras de la madera previo a su uso para generar energía.

### **7.2.2. Fuentes de biomasa**

Para la producción de energía existen varias fuentes de biomasa que pueden ser utilizadas, las cuales cubren un amplio rango de diferentes materiales y fuentes: se puede mencionar los residuos de la agricultura, de la industria forestal, las plantaciones energéticas y los desechos urbanos. Las plantaciones energéticas usualmente se involucran en procesos modernos de conversión que pueden involucrar la generación de energía a gran escala, buscando la sustitución de los combustibles fósiles. (Regil, 2010)

La fuente de biomasa se puede clasificar según su origen:

- Residuos forestales
- Residuos agrícolas
- Residuos de la industria agrícola
- Desechos urbanos

### **7.2.3. Plantaciones energéticas**

Las plantaciones energéticas son grandes extensiones de plantaciones de árboles o de plantas cultivadas, con el fin específico de producir energía. Para esto se pasa por un proceso de selección del tipo de árbol o planta que tenga un crecimiento rápido y que involucre un mantenimiento bajo; las cuales, por lo regular, se cultivan en tierras de bajo valor productivo para tener un aprovechamiento de las mismas. Usualmente el periodo de cosecha tiene una variación de tres a diez años. (Regil, 2010)

#### **7.2.3.1. Biotecnología**

La biotecnología puede describirse como "cualquier aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos o derivados de ellos, para elaborar o modificar productos o procesos para un uso específico" (CDB, 2000). Esto puede abarcar una extensa variedad de técnicas, pero las tres áreas principales del sector forestal que serán probablemente importantes son: 1) el uso de métodos de propagación vegetativa, 2) el uso de marcadores genéticos moleculares, y 3) la producción de árboles genéticamente modificados. (Alvin Yanchuk, FAO, 2003)



La propagación vegetativa comprende una amplia variedad de técnicas que incluyen la manipulación de los tejidos vegetales (p.ej secciones de tallos, hojas, raíces, semillas o incluso cultivos celulares), lo que en definitiva permite una "repropagación" vegetativa completa de toda la planta, es decir, la producción de "variedades" clonales o líneas. La modificación genética de las plantas suele incluir la introducción artificial de genes bien caracterizados procedentes de otras especies en un nuevo genoma vegetal, que se expresará después como un carácter novedoso. (Alvin Yanchuk, FAO, 2003)

#### **7.2.4. Características de biomasa de eucalipto**

Existen fuentes de energía renovable como la biomadera, que provee un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo, teniendo un potencial para suplir volúmenes de energía de combustión directa a gran escala. El árbol de eucalipto, entre otras especies forestales, posee un alto valor calorífico; siendo este una opción factible en poder desarrollar proyectos de generación de energía eléctrica y programas de conformación de bosques de eucalipto para uso energético como una GDR (Regil, 2010).

La principal característica de utilizar biomasa de eucalipto (especie eucalipto camaldulenses) es su alto valor energético y resaltar su facultad para brotar vigorosamente de cepa, es decir que es un árbol de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, como lo requerido en este tipo de plantaciones energéticas. En general es un árbol de climas secos, cálidos (desde el nivel del mar, hasta 1 200 metros), con pluviosidad entre 200 y 1 250 mm. Es muy tolerante en suelos pero no soporta la competencia de hiervas. Hay entre 90 000 y 400 000 semillas por kg. Se puede producir por estacas de árboles jóvenes. La madera es pesada, dura y buena para postes, herramienta y construcciones. (Regil, 2010)

A continuación se presentan los elementos importantes a considerar en el proceso de plantación de los bosques energéticos:

- Preparación del suelo
- Actividades culturales
- Producción de plantas
- Características de la planta de eucalipto ideal
- Tipo de suelo
- Plagas

### **7.3. Energía generada de las plantaciones energéticas**

#### **7.3.1. Poder calorífico**

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que se produce en la combustión completa de una unidad de masa o de volumen. El poder calorífico depende de la naturaleza química del combustible y se caracteriza como superior (PCS) e inferior (PCI). el poder calorífico superior e inferior se diferencian porque el primero toma en cuenta el calor que proviene de la condensación del vapor de agua presente en los materiales de combustión; y el poder calorífico inferior desprecia ese valor. (Burschel, Hernández y Lobos, 2003)

El valor calorífico del Eucalipto urograndis, grandis, saligna y camaldulensis, entre otras que proporcionan un valor calorífico equivalente a 19007 kJ/kg (4 600 kcal/kg) para un contenido de humedad del 18 %. (Guillermo García, Plantaciones Forestal de Guatemala, 2016)

### **7.3.2. Densidad energética**

Definida como la cantidad de energía por unidad de volumen que posee un combustible. Su determinación precisa del conocimiento del poder calorífico y de la densidad aparente del combustible. (San Miguel y Gutiérrez, 2015)

Según información proporcionada por “Pilonos de Antigua”, para la producción de Eucalipto se deberá realizar un análisis en las regiones seleccionadas, para conocer las características específicas del lugar a ser seleccionado, pero da una referencia por Ha de la población de 1 280 árboles plantados, que producen un peso de 152,7 TM/Ha equivalente a un volumen de 119,38 metros cúbicos por Ha. Con el proceso de clonación vegetativa se puede conseguir 180TM/Ha lo cual implica que se puede producir mayor cantidad de energía por unidad de hectárea o por unidad volumétrica.

## **7.4. Análisis Técnico**

### **7.4.1. Gasificación de biomasa**

Según Nolberto Gonzáles y Vladimir Quintanilla (2008) la gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua).

La elección del método para llevar a cabo la gasificación depende de factores como el tamaño y la forma del residuo a utilizar, el aprovechamiento de la energía del gas producido y los condicionantes económicos, ambientales y

técnicos. La utilización energética de este gas pobre puede hacerse quemándolo en una cámara de combustión, introduciéndolo en una turbina de gas o un motor de combustión interna. El agente gasificante puede ser aire, oxígeno, aire enriquecido con oxígeno, vapor de agua o hidrógeno; por ello se pueden obtener diferentes mezclas de gases que pueden tener diversas utilidades.

Tipos de gasificadores: Los tres tipos principales de gasificadores son:

- Gasificadores en contracorriente (Updraft)
- Gasificadores en corriente directa (Downdraft)
- Gasificadores de lecho fluidizado

La selección del tipo de gasificador a emplear depende de la potencia deseada, la biomasa que se empleará, entre otros factores.

#### **7.4.1.1. Proceso de gasificación**

Los procesos de gasificación de biomásas constituyen una tecnología prometedora en el aprovechamiento de desechos agrícolas con, fines energéticos; contribuyendo con la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La gasificación consiste en el proceso de conversión de la biomasa para generar un gas de síntesis mediante un proceso termoquímico, que pueda utilizarse como combustible y para la producción de hidrógeno. El proceso de gasificación consta de tres etapas básicas: el secado, la pirólisis y la gasificación.

En el proceso de gasificación tienen lugar una gran cantidad de reacciones cuyo orden e importancia dependen de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado, pero que pueden agruparse en tres etapas en las que conceptualmente podemos dividir el proceso de gasificación en pirólisis,

oxidación y gasificación. Varios autores incluyen el secado, ya que es un elemento clave tener la biomasa en las condiciones ideales de humedad. (Nolberto Gonzáles y Vladimir Quintanilla, 2008)

#### **7.4.1.1.1. Pirólisis**

Mediante el uso de calor el sólido original se descompone en una mezcla sólido, líquido y gas, al sólido originado en esta etapa se le denomina *char* y a los líquidos *tar* debido a la presencia mayoritaria de alquitranes y vapores considerables. Puede incluirse aquí el proceso de secado que tiene lugar al ingresar la biomasa al gasificador, aunque este proceso no implica ninguna reacción química.

#### **7.4.1.1.2. Oxidación**

Se lleva a cabo cuando el agente gasificante es un oxidante como oxígeno o aire e implica el conjunto de reacciones de oxidación, tanto homogéneas como heterogéneas, fundamentalmente exotérmicas, mediante las que se genera calor necesario para que el proceso se mantenga.

#### **7.4.1.1.3. Gasificación**

Está constituida por las reacciones mediante las que el sólido remanente se convierte en gas, se trata de reacciones fundamentalmente endotérmicas, que tienen lugar en muy poca extensión o solo se dan en determinadas condiciones, como ocurre con algunas reacciones de hidrogenación y/o reformado. Las etapas de oxidación y reducción pueden considerarse conjuntamente en una sola etapa de gasificación en la que tienen lugar todo tipo de reacciones posibles entre el

*char* y la mezcla gaseosa presente. Existe una serie de factores que influyen en el proceso de gasificación, pudiendo distinguirse los factores que se refieren al modo de operación y al sólido gasificado y los que son inherentes al diseño del gasificador y de los equipos utilizados. (Nolberto Gonzáles y Vladimir Quintanilla, 2008)

#### **7.4.1.2. Parámetros de operación**

##### **7.4.1.2.1. Temperatura**

Es un parámetro importante en todas las etapas y por ende en el rendimiento final del proceso. Las proporciones entre *char*, *tar* y gas en los productos de pirólisis dependen estrechamente de la velocidad de calentamiento y de la temperatura final alcanzada. Generalmente puede decirse que a altas velocidades de calentamiento y alta temperatura final se produce mayoritariamente gas, mientras que a temperaturas finales y velocidades de calentamiento menores se produce mayoritariamente líquidos o sólidos.

En los gasificadores de lecho fluidizado se tiene normalmente velocidades de calentamiento altas (hasta de miles de °C/s), en los reactores de lecho móvil las velocidades de calentamiento suelen ser moderadas (de 0,2 – 0,5 °C/s).

En la etapa de gasificación, dada la reversibilidad de la mayoría de las reacciones, la temperatura influye en los equilibrios de reacción. En general para distintos combustibles puede decirse que el aumento de temperatura favorece el aumento del contenido en el gas producto de H<sub>2</sub> y CO en detrimento del CH<sub>4</sub> y del H<sub>2</sub>O. (Nolberto Gonzáles y Vladimir Quintanilla, 2008)

#### **7.4.1.2.2. Presión**

En general, el aumento de la presión desfavorece las reacciones de gasificación, aumentando las proporciones de hidrocarburos y alquitranes. Los gasificadores de lecho móvil suelen trabajar a presión atmosférica y los de lecho fluidizado suelen trabajar a presión, alcanzando los 30 bares en algunos casos.

#### **7.4.1.2.3. Relación agente gasificante/residuo**

Es uno de los parámetros más importantes en la gasificación, especialmente cuando esta se autoabastece energéticamente mediante la oxidación parcial, con aire u oxígeno del residuo tratado. Valores excesivamente bajos de este parámetro pueden no generar la cantidad suficiente de energía para mantener el proceso en las condiciones adecuadas, produciéndose una disminución del rendimiento. Cuando el agente gasificante es aire, existe además un efecto de dilución por parte del N<sub>2</sub>.

Existe un valor óptimo de la relación gasificante/residuo para cada proceso, este valor depende de la composición del residuo gasificado. Por ejemplo cuando se trata de biomasa forestal la relación óptima en peso de aire/biomasa se ha comprobado que esta entre 0,5 y 1,6 para los gasificadores de lecho fluido y de 1,5 para los gasificadores de lecho móvil. (Nolberto Gonzáles y Vladimir Quintanilla, 2008)

### **7.4.2. Sistema de generación de energía eléctrica**

#### **7.4.2.1. Generador Eléctrico**

Es una máquina rotativa que transforma energía mecánica transmitida a su eje en energía eléctrica de corriente alterna. Un generador eléctrico funciona con el principio de inducción electromagnética que descubrió el científico británico, Michael Faraday en 1831. El reveló que si un conductor de electricidad se mueve en un campo magnético, una corriente eléctrica fluirá por el conductor. (González, et al., 2009)

Es decir que la energía mecánica que realiza el alambre en movimiento se convierte en energía eléctrica. Estos pueden ser de corriente continua (dinamo) o corriente alterna (alternador) siendo el más usado hoy en día. (González, et al., 2009)

Existen dos tipos de generadores de corriente alterna, siendo los siguientes:

- Generador síncrono
- Generador asíncrono

(Fitzgerald, et al., 1992)

#### **7.4.2.1.1. Generador Síncrono**

Puede ser llamado generador síncrono o sincrónico. En un generador sincrónico se aplica una corriente continua al devanado del rotor, la cual produce un campo magnético. Entonces el rotor del generador gira mediante un motor primario y produce un campo magnético rotacional dentro de la máquina. Este campo magnético rotacional induce un grupo trifásico de voltajes en los devanados del estator del generador. (Chapman, 2012)



El generador síncrono es una máquina síncrona de corriente alterna cuya velocidad en régimen permanente es proporcional a la frecuencia de la corriente que alimenta su inducido. A la velocidad de sincronismo en el campo magnético giratorio creado por la corriente en el inducido, gira a la misma velocidad que el creado por la corriente de excitación, resultando así un par constante. (Fitzgerald, et al., 1992)

Dos términos muy utilizados para describir los devanados de una máquina son devanados de campo y devanados de armadura. En general, el término devanados de campo se aplica a los devanados que producen el campo magnético principal en la máquina, y el término devanados de armadura se aplica a los devanados donde se induce el voltaje principal. En las máquinas sincrónicas, los devanados de campo están sobre el rotor, de modo que los términos devanados del rotor y devanados de campo y devanados de armadura. (Chapman, 2012)

En esencia, el rotor de un generador sincrónico es un gran electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser construidos salientes o no salientes. El término saliente significa proyectado hacia fuera o prominente; un polo saliente es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético construido al mismo nivel de la superficie del rotor. (Chapman, 2012)

En los generadores sincrónicos es necesario alimentar el devanado del rotor con corriente continua, la cual origina un campo magnético giratorio en el interior del generador. Este a su vez, produce un sistema trifásico de voltajes en los arrollamientos del estator. Debido a que el rotor del generador gira, es necesario utilizar mecanismos especiales para llevar a cabo el suministro de la corriente continua de excitación.

Básicamente, la corriente continua puede ser suministrada por tres mecanismos de excitación: autoexcitación, excitación auxiliar y excitación sin escobillas. (González, et al., 2009)

La excitación auxiliar consiste en alimentar el devanado inductor mediante la corriente continua generada por una dinamo auxiliar, regulada por un reóstato y montada sobre el árbol del generador sincrónico. (González, et al., 2009)

La autoexcitación consiste en tomar la corriente desde los terminales del generador, transformarla mediante un transformador de excitación, rectificarla mediante un sistema electrónico estático e inyectarla en el devanado inductor. Esto mediante un dispositivo de escobillas y anillos rozantes que rodean a árbol de la máquina, pero aislados del mismo árbol. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

#### **7.4.2.1.2. Generador Asíncrono**

También conocido como generador de inducción. La mayor desventaja de los generadores asíncronos es que necesitan de una batería de condensadores conectada a la salida, la cual compense la energía reactiva generada. Para la creación del campo magnético, el generador asíncrono debe estar conectado a la red y tomar de ella la corriente reactiva necesaria. Cuando la turbina hidráulica incrementa la potencia se produce un incremento en el deslizamiento. Ya que la red eléctrica es la que fija la frecuencia no se precisa que la turbina disponga de un regulador de velocidad. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009).

Para llevar a cabo el arranque del generador asíncrono, se actúa sobre la admisión de agua en la turbina; de tal manera que se vaya acelerando hasta que

el generador se aproxime a su velocidad de sincronismo, instante en el que se cierra el interruptor automático de línea. (González, et al., 2009)

### **7.4.3. Subestación eléctrica**

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección. (Ramírez, 1981)

Según Ramírez (1981), una subestación está asociada con una central generadora, controlando directamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia, convirtiendo la tensión de suministro a niveles más altos o más bajos, o puede conectar diferentes rutas de flujo al mismo nivel de tensión. Algunas veces, una subestación desempeña dos o más de estas funciones.

Básicamente una subestación consiste en un número de circuitos de entrada y salida, contado a un punto común, barraje de la subestación, siendo el interruptor el principal componente de un circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores, pararrayo, en lo correspondiente a equipo de alta tensión, y con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares. (Ramírez, 1981)

Los elementos principales que se tomarán en cuenta en el diseño de la subestación que por su importancia cabe mencionar son:

- Transformador de potencia
- Seccionadores
- Pararrayos
- Sistemas de control, comunicación y protección.
- Red de distribución de tierras

#### **7.4.4. Generadora Distribuida Renovable**

La Generación Distribuida Renovable (GDR) es la forma en que se genera electricidad, aplicando tecnologías que hagan uso de los recursos renovables. Estas son interconectadas a las redes de distribución en donde su participación de potencia neta no deberá superar los cinco megavatios (5 MW). (Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, 2014)

En Guatemala, las plantas GDR que sean inscritas como tal, deberán adoptar obligatoriamente los requerimientos planteados por la Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, NTGDR. Asimismo, el término anterior no debe confundirse con el de Generador Distribuido Renovable, que es la persona individual, representante legal o dueño de una central de generación de energía eléctrica por medio de recursos renovables y sea participe en la actividad de GDR, siendo calificados como Participantes del Mercado Mayorista. (Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, 2014)

#### **7.4.4.1. Legislación**

En Guatemala se ha mostrado interés por el desarrollo sostenible del país, demostrado en el desarrollo de la Política Energía y por ello se presentará el aspecto legal, específicamente los términos regulatorios para un (GDR). Estas son:

- Constitución Política de la Republica de Guatemala.
- Ley General de Electricidad.
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.
- Reglamento de la Ley General de Electricidad.
- Reglamento de Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.
- Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía (NTGDR).

#### **7.4.4.2. Requisitos del estudio**

Se determinan los datos necesarios para hacer el estudio de implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la planta de generación, a través de biomasa forestal instaurada, como una generación distribuida renovable; los datos necesarios para poder simular y calcular las implicaciones eléctricas son: especificaciones técnicas de los GDRs y las especificaciones técnicas de las redes de distribución a los cuales serán conectadas. (Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, 2014)

- Especificaciones técnicas de la GDR.
- Especificaciones técnicas de las líneas de transmisión.

#### **7.4.4.3. Cálculos y simulaciones**

Partiendo de las especificaciones técnicas de los GDRs y de las redes de distribución, se procederá con el cálculo de los conductores que conectarán desde las coordenadas del generador hasta el punto de conexión a la red de distribución correspondiente. Teniendo la conexión y con los datos adicionales que se agregan, se simular la red con y sin los GDRs conectados, adicionalmente se calcula las corrientes de corto circuito que aporta las instalaciones del GDR. De igual manera se adjuntan todos los elementos a calcular y simular que involucran el diseño de una planta de gasificación de biomasa forestal. (Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, 2014)

- Cálculos de los requerimientos energéticos
- Cálculo y diseño del bosque energético a utilizar
- Cálculos y diseño de la planta de gasificación
- Cálculo de la subestación necesaria
- Cálculos del calibre de conductor de conexión

#### **7.5. Impacto ambiental**

El impacto ambiental es la alteración que introduce la actividad humana en su entorno. Se puede interpretar en términos de bienestar y salud para el ser humano, o de la calidad de vida de la población desde el punto de vista más general. (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013)

También se puede definir como la interrelación de las sociedades con su base biofísica que evalúa la diferencia entre la evolución de un proceso en el

tiempo que tendría un determinado entorno, o alguno de los factores constituyentes, con y sin la acción humana que provoca o provocará esta diferencia. (Buendía, 2002)

### **7.5.1. Impacto por la producción de plantaciones energéticas**

Las plantaciones energéticas implican una reforestación de áreas en las que actualmente se tiene un desperdicio de su potencial energético. La plantación y uso continuo y sostenible de los bosques energéticos produce varias mejoras a ambiente, sien embargo el eucalipto es una especie alelopática, esto implica que su relación con otras especies vegetativas puede ser conflictiva por la búsqueda de nutrientes. Mas allá de eso, las plantaciones traerán varios beneficios. (Pilonos de Antigua, 2016)

A continuación se presentan los elementos importantes que deben ser evaluados en el estudio de impacto ambiental:

- Reforestación de zonas áridas
- Desequilibrio en la interacción de nutrientes
- Uso de árboles fijadores de nitrógeno
- Secuestro y conversión de carbono
- Producción de oxígeno
- Contribución en el manejo de cuencas hidrográficas

## **7.6. Beneficios del proyecto**

### **7.6.1. Indicadores económicos**

#### **7.6.1.1. Valor Neto Actual (VAN)**

Es la diferencia entre el valor actual de una inversión y el valor actual de la recuperación de fondos donde es aplicable una tasa considerada como la mínima aceptable para la autorización de los fondos para la inversión. Por lo tanto, es un valor proyectado que tiene en cuenta todas las posibilidades de valores actuales de los beneficios netos derivados de un proyecto. (Erosa, 2014)

#### **7.6.1.2. Tasa interna de retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se calcula a partir del valor de la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. El proyecto se estima como rentable si el valor del TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor y, entre varias alternativas, la más conveniente será aquella de mayor TIR. (Alonso, 2014)

#### **7.6.1.3. Relación beneficio/costo (B/C)**

La relación beneficio-costo es la razón que indica el retorno económico obtenido por cada unidad monetaria invertida. Entonces se puede inferir que es una comparación monetaria de beneficios y costos de un proyecto en particular, en donde, si el beneficio excede al costo, es un indicador para su aceptabilidad; por el contrario, si el costo es mayor que el beneficio, este debe de ser rechazado. (Cohen & Franco, 2006)

### **7.6.2. Indicadores ambientales**

#### **7.6.2.1. Huella Ecológica**

Es un instrumento contable que permite la determinación de los requerimientos de consumo y los requerimientos de asimilación de desechos de



una comunidad o región en relación a la cantidad de tierra que dispone. Por lo tanto, establece una relación de consumo y su capacidad biológica para producir los bienes que consume. Este instrumento se incluye como indicador dentro de un sistema agroforestal, ya que es una herramienta que sirve para medir de manera cualitativa y cuantitativa los recursos ecológicos necesarios para sostener a una población que tiene un determinado nivel de consumo y tecnología. (Viglizzo, 2010)

#### **7.6.2.2. Huella de carbono**

Según Viglizzo (2010), es una medida cuantificable de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se expresan en equivalentes de CO<sub>2</sub>, las cuales son liberadas a la atmósfera por actividades humanas. Estas actividades comprenden toda la secuenciación que conlleva la creación de un producto (ciclo de vida), desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final como residuo. Por lo anterior, es una clasificación de los productos en relación a su potencial de contaminación.

#### **7.6.3. Descripción de beneficios comunitarios**

Los beneficios comunitarios son un elemento clave en la argumentación del problema. Al evaluar los elementos principales que afectarán a la comunidad, La Nueva Bendición del Municipio de Guanagazapa, Escuintla, destacan:

- Aumento en la actividad productiva, comercial y turística.
- Mejora en la productividad en actividades de producción.
- Disminución de costos de actividades comerciales.
- Mayor disponibilidad de telecomunicaciones.
- Mejora en la calidad de servicios de salud y educación.

- Almacenamiento adecuado de alimentos.
- Creación de nuevos puestos de trabajo para la ejecución del proyecto.
- Capacitación para operarios y de las personas que trabajarán directamente en los bosques energéticos.
- Iluminación de noche de manera eficiente.
- Avance en temas de cultura medio ambiental, reforestación y prácticas conservacionistas de los recursos naturales dentro de las comunidades.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

**LISTA DE SÍMBOLOS**

**GLOSARIO**

**RESUMEN**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS**

**ORIENTADORAS**

**OBJETIVOS**

**RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO**

**INTRODUCCIÓN**

### **1. ANTECEDENTES**

1.1. Antecedentes de la electrificación rural en Guatemala

1.2. Plantas de gasificación de biomasa

1.2.1. Contexto nacional

1.2.2. Contexto latinoamericano

1.2.3. Contexto mundial

1.3. Contexto de La Nueva Bendición

1.3.1. Contexto histórico

1.3.2. Geografía

1.3.3. Economía

1.3.4. Infraestructura

1.3.5. Agricultura

1.3.6. Bosques

### **2. MARCO TEORICO**

2.1. Alternativas de electrificación rural

2.1.1. Extensión de la red eléctrica

- 2.1.2. Energía solar fotovoltaica
- 2.1.3. Biodigestores
- 2.1.4. Motor diésel
- 2.1.5. Gasificador de biomasa
- 2.1.6. Microcentrales hidroeléctricas
- 2.1.7. Comparación de alternativas
- 2.2. Electrificación de zonas rurales aisladas
  - 2.2.1. Caracterización de la oferta y demanda energética, en zonas rurales aisladas de Guatemala
    - 2.2.1.1. Identificación de la oferta en las zonas rurales aisladas
    - 2.2.1.2. Caracterización de la demanda de zonas rurales aisladas
  - 2.2.2. Marco legal
    - 2.2.2.1. Constitución Política de la Republica de Guatemala
    - 2.2.2.2. Ley General de Electricidad
    - 2.2.2.3. Reglamento de la Ley General de Electricidad
    - 2.2.2.4. Plan de Expansión del Sistema de Transporte del SNI 2008 - 2018
    - 2.2.2.5. Planes de expansión de las redes de distribución de las empresas de distribución de energía eléctrica
  - 2.2.3. Roles de instituciones con respecto al marco legal
    - 2.2.3.1. Ministerio de Energía y Minas
    - 2.2.3.2. Instituto de Electrificación Rural
    - 2.2.3.3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica
- 2.3. Biomasa
  - 2.3.1. Dendroenergía
  - 2.3.2. Fuentes de biomasa
  - 2.3.3. Energía generada de las plantaciones energéticas
  - 2.3.4. Biomasa de residuos agrícolas
- 2.4. Gasificación de biomasa

- 2.4.1. Proceso de gasificación
  - 2.4.1.1. Pirólisis
  - 2.4.1.2. Oxidación
  - 2.4.1.3. Gasificación
- 2.4.2. Parámetros de operación
  - 2.4.2.1. Temperatura
  - 2.4.2.2. Presión
  - 2.4.2.3. Relación agente gasificante/residuo
- 2.4.3. Tipos de gasificadores
- 2.4.4. Productos de la conversión
- 2.5. Sistema de Generación de energía eléctrica
  - 2.5.1. Motor de Combustión Interna
  - 2.5.2. Generador eléctrico
- 2.6. Subestación eléctrica
  - 2.6.1. Transformador
  - 2.6.2. Sistemas de tierra física
  - 2.6.3. Protecciones
- 2.7. Generación como autoproduccion
  - 2.7.1. Legislación
  - 2.7.2. Cálculos y simulaciones
- 3. FASE I: REQUERIMIENTOS TÉCNICOS
  - 3.1. Demanda del proceso
    - 3.1.1. Demanda de biomasa
  - 3.2. Factores críticos del proceso
  - 3.3. Materiales
  - 3.4. Personal requerido
  - 3.5. Caracterización de la biomasa
    - 3.5.1. Cálculo del poder calorífico de la biomasa forestal

### 3.5.2. Cálculo del poder calorífico de los residuos agrícolas

## 4. FASE II: ESTUDIO TÉCNICO

### 4.1. Diseño de las plantaciones energéticas

#### 4.1.1. Biotecnología

#### 4.1.2. Características de biomasa forestal

#### 4.1.3. Cantidad y recolección biomasa de residuos agrícolas

### 4.2. Diseño de la planta de gasificación

#### 4.2.1. Selección del tipo de gasificador

#### 4.2.2. Potencia del gasificador requerida

#### 4.2.3. Selección del motor de combustión interna

#### 4.2.4. Parámetros de operación

#### 4.2.5. Composición del gas

#### 4.2.6. Ahorro por uso de residuos agrícolas

#### 4.2.7. Esquema del gasificador

#### 4.2.8. Costos

#### 4.2.9. Indicadores

### 4.3. Diseño del sistema eléctrico

#### 4.3.1. Dimensión del generador

#### 4.3.2. Transformación

#### 4.3.3. Cálculo presupuesto y diseño

##### 4.3.3.1. Alumbrado público

##### 4.3.3.2. Líneas de distribución

##### 4.3.3.3. Presupuesto

## 5. FASE III: IMPACTO AMBIENTAL

### 5.1. Impacto ambiental por producción de plantaciones energéticas

### 5.2. Impacto de la instalación

### 5.3. Impacto de operación del gasificador

- 5.3.1. Emisiones de gases
- 5.3.2. Alquitrán y fenol
- 5.3.3. Fuego
- 5.3.4. Ruidos
- 5.3.5. Olores
- 5.4. Deforestación
- 5.5. Huella Ecológica
- 5.6. Huella de carbono
  
- 6. FASE IV: EVALUACIÓN FINANCIERA
  - 6.1. Presupuesto de ejecución
  - 6.2. Financiación del proyecto
  - 6.3. Relación beneficio/costo (B/C)
  - 6.4. Tasa interna de retorno (TIR)
  - 6.5. Valor Neto Actual (VAN)
  
- 7. FASE V: MODELO DE GESTIÓN COMUNITARIO
  - 7.1. Capacitación de operarios
  - 7.2. Talleres formativos
  - 7.3. Seguimiento y sostenibilidad del proyecto
  
- 8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
  
- 9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

**ANEXOS**





## 9. METODOLOGÍA

La metodología adoptada tiene la finalidad de alcanzar los objetivos programados. Se diseñó en función de revisiones bibliográficas, investigaciones, consultas con profesionales en el campo de los bosques energéticos, gasificación de biomasa, generación de energía eléctrica y electrificación rural. Se solicitó información y se recopilaron datos para su procesamiento y análisis. Se puso énfasis en el equipo fundamental para el buen funcionamiento de la generación como un autoproducer. Asimismo, se hace mención de un aspecto importante que es la regulación del subsector eléctrico de Guatemala.

En la revisión bibliográfica se seleccionaron los temas referentes a una planta de gasificación y los equipos que la constituyen hasta su conexión a la red de distribución, que comprende el gasificador, el motor de combustión interna, generadores eléctricos y el equipo de protección y control.

En esta investigación se realizará un modelo de estudio no experimental cuantitativo en el que se simularán, de forma teórica, el bosque energético de las especie específica dentro de un sistema de producción, en el cual se consideran los siguientes parámetros a evaluar:

- Cálculo de la demanda de energía eléctrica de la comunidad.
- Cálculo del poder calorífico de las biomasa y de su capacidad de suministro.
- Diseño del bosque energético.
- Caracterización energética de la biomasa forestal y agrícola.
- Diseño de la planta de gasificación de biomasa para generación de energía eléctrica.
- Diseño del sistema de transformación, distribución, instalación eléctrica.

- Impacto ambiental de la planta y el bosque.
- Análisis socio económico del proyecto.
- Propuesta de un Modelo de Gestión Comunitario.

Para lo cual se consideran como variables independientes las condiciones climáticas, capacidad del uso de la tierra del área de estudio, capacidad energética de las especies, así como la población actual y generaciones futuras; sus demandas y necesidades de consumo. Dentro de las variables dependientes se incluye a la producción, oferta, precios, ingresos monetarios e importancia ambiental que se pueda obtener del sistema de generación de energía eléctrica. Estas variables se clasifican como dependientes ya que definirán “el diseño del sistema agroforestal” que será utilizado.

En la investigación se plantea utilización de metodología participativa en la dinámica comunitaria y del método científico en general, en el diseño experimental. Cada etapa es fundamental para la investigación.

La primera etapa lo constituye el trabajo de gabinete que articula la revisión conceptual y analítica del estado del arte respecto a la propuesta particular, tomando en cuenta referencias de tipo nacional y/o internacional que permitan fundamentar adecuadamente el marco teórico conceptual, y además sustentar la participación activa de la comunidad en el proceso, tomando en cuenta un enfoque de pertinencia cultural.

En cuanto a la metodología del trabajo de campo, esta toma en cuenta procesos de observación y consulta comunitaria, mediante grupos focales, sobre la pertinencia y validación de la propuesta, método de análisis y propuesta, utilizando el método científico para elaborar una propuesta para la implementación de la planta.

Además se plantea un análisis de factibilidad que involucra el costeo de implementación de la planta, y su gestión que se puede plantear con la identificación de dos rutas: la gestión de la cooperativa ante organismos internacionales y los mecanismo de gestión en el sistema de consejos de desarrollo, para la búsqueda de financiamiento de parte del Estado.

También se utilizan métodos participativos para identificar el sostenimiento en el largo plazo, identificando con el liderazgo comunitario los mecanismos que permitan la autosostenibilidad de la planta, con recursos comunitarios.

Para las consultas comunitarias se utilizará el método de grupos focales, privilegiando la participación activa del liderazgo comunitario y se utilizarán talleres participativos para la socialización y validación de la propuesta.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, es necesario utilizar métodos teóricos, estadísticos y análisis numérico de ecuaciones. Los métodos teóricos y análisis numérico de ecuaciones son de naturaleza bibliográfica a partir de la revisión y análisis de documentos de tesis, trabajos de graduación, libros de texto, artículos científicos o normas que respalden las definiciones, teorías o leyes citadas en el mismo.

Algunas de las técnicas de análisis que se utilizarán se describen a continuación:

- Observación: este método constituye el pilar de la investigación en el ámbito comunitario, y aunque la propuesta es esencialmente de carácter técnico científico, tiene un componente comunitario importante, tanto en la validación de la propuesta, como en la implementación y sostenibilidad de la misma, a través del planteamiento de un modelo de gestión . Para ello la observación permitirá contar con información clave para cumplir con la pertenencia cultural.
- Grupos focales: Los grupos focales es una técnica muy apropiada para grupos comunitarios; para llevarla a cabo se identifican más o menos diez participantes, cuidando que sean grupos a quienes convoquen intereses comunes (por ejemplo liderazgo comunitario), además se prepara una guía con preguntas generadoras para la discusión y el aporte comunitario.

- Revisión documental y Análisis de información. Se realizarán mediante técnicas apropiadas de delimitación y selección de la información que es necesaria para documentar y plantear la propuesta técnico científica.

En el trabajo de campo se utilizarán herramientas como las guías de entrevista que se lleven a cabo en la comunidad, con expertos del tema y con actores políticos como lo puede ser la junta directiva de la comunidad.

Al final del proyecto se plantea realizar matrices de análisis de la información recolectada en las diversas fases de la investigación. Estas matrices serán útiles para la comprensión del significado de los datos y el avance del proyecto, cruciales para la presentación y discusión de resultados.

Se plantea el uso de técnicas estadísticas aplicadas, como puede ser la regresión lineal. Los métodos utilizados para la obtención de resultados en esta investigación serán proporcionados por la estadística descriptiva, al realizar un análisis de tipo descriptivo e inferencial, según las fases y variables a utilizar.

Con lo anterior se realizará una comparación estadística con los datos teóricos proyectados (Bosque energético y generación proyectada) y los reales (sistemas agricultores en la región y experiencias con plantaciones). También se realizará un análisis de las gráficas teóricas y calculadas con datos específicos para el diseño. Con los resultados de estos análisis se espera proyectar qué porcentaje se puede cubrir de la demanda en relación a los servicios comunitarios, energéticos y ambientales.

En el análisis de los datos cuantitativos recopilados se utilizarán métodos de estadística descriptiva; esto para determinar la oferta mínima, media y máxima que demuestran los datos históricos, que consisten en la producción agrícola

anual y datos de crecimiento de bosques energéticos para la geografía de la comunidad, La Nueva Bendición.

Se realizará una proyección de la demanda, que tomará en cuenta la energía eléctrica para una comunidad que no cuenta con ella en la actualidad. A partir de esta proyección de demanda se tiene que dimensionar la planta de generación y así simultáneamente, el motor de combustión interna y el generador eléctrico. Para el elemento del diseño del bosque, la planta y el sistema eléctrico, se utilizará la recopilación de información documental y bibliográfica como lo son las Normas Técnicas de Generación y Distribución Renovable (NTGDR), las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTOID) y normativas internacionales específicas que nos provea el *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* y la *International Electrotechnical Commission (IEC)*.

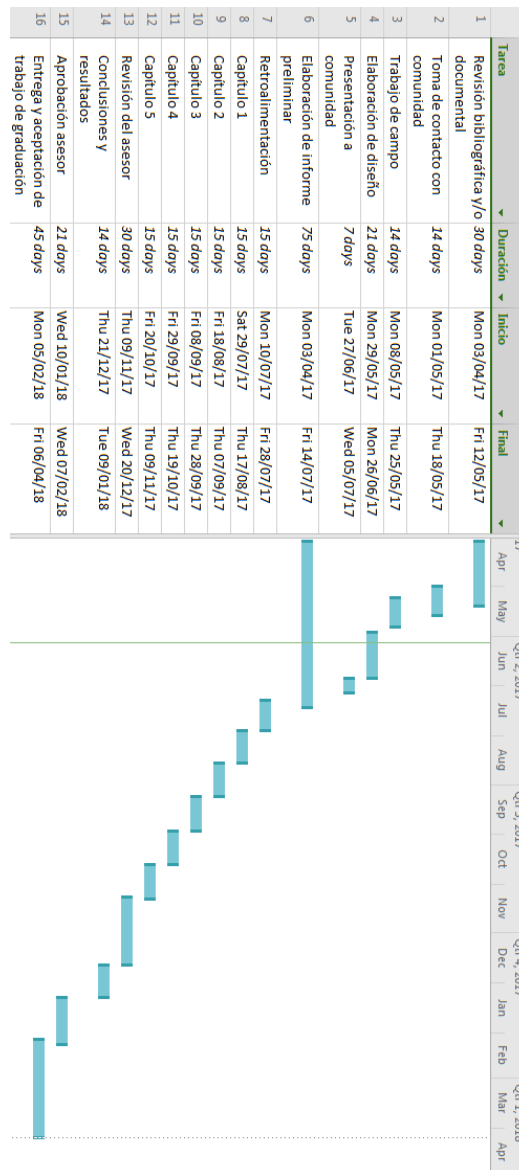




## 11. CRONOGRAMA

Para obtener un seguimiento ordenado, se integraron las actividades, considerando el tiempo necesario para desarrollarlas adecuadamente.

Figura 6. Diagrama de Gantt



Fuente: Elaboración propia.



## **12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **12.1. Recursos humanos**

Se propone a un investigador de tiempo completo, con estudios de ingeniería mecánica eléctrica para el desarrollo de las fases necesarias para elaborar esta investigación.

Además se contará con apoyo técnico de profesionales expertos en temas de sistemas agrícolas y bosques energéticos. Se contará con un profesional con estudios de postgrado y experto en el tema, el cual fungirá como asesor del presente trabajo de investigación, en las etapas de protocolo, desarrollo y presentación del informe final.

Se incluirán las siguientes entrevistas:

- Ingeniero, Guillermo García de Recursos Forestales para el tema de Bosques Energéticos.
- Ingeniero, Herber González de Indutec. S.A. para el tema de generación por gasificación.
- Junta directiva de la ECA, La Nueva Bendición, Guanagazapa, Escuintla. Para adquisición de información de la comunidad.
- Departamento Técnico de la organización Utz Che´.

### **12.2. Recursos físicos, tecnológicos y materiales**

#### **12.2.1. Físicos**

Se tiene contemplado tener un espacio adecuado para analizar la información, tabulación de datos, desarrollo de resultados y elaboración del informe final. Para lo anterior se contará con un inmueble adecuado apto para el desarrollo de estas actividades y no se valorará un costo adicional dentro del proyecto.

### **12.2.2. Tecnológicos**

Los insumos tecnológicos para el desarrollo de la primera fase de la investigación serán: una computadora portátil, cámara fotográfica profesional y una grabadora de voz. Para el desarrollo de las siguientes fases se utilizará una computadora portátil y uso de *software* para analizar los datos (Excel y el sistema estadístico SPSS).

También se utilizará el programa para realizar las simulaciones de los sistemas eléctricos como son el alumbrado público y el sistema de generación eléctrica. Se usarán de referencia normas importantes como la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con excedentes de energía (NTGDR).

### **12.2.3. Materiales**

Se utilizarán diversos materiales y utilería de oficina: aproximadamente 500 hojas de papel bond de 80 gramos, folders, ganchos, cuadernos de cuadrícula, lapiceros, lápices y borradores. Así como una memoria USB de 8 GB de espacio como mínimo. Así mismo se estima el uso de servicio de fotocopidora y la compra de una impresora con capacidad de tinta continua para la impresión de documentos, gráficas, proyecciones, artículos, revistas, libros y el informe final.

En función del trabajo de campo se necesitará de transporte a la comunidad, el cual se realizará en conjunto con la programación de visita a la comunidad de la Asociación Utz Che´, que es una asociación civil de segundo nivel formada por organizaciones comunitarias dedicadas al manejo sostenible de sus recursos naturales; ellos cuentan con un equipo técnico que dará apoyo en la investigación en lo referente al acceso y contacto con la comunidad. Para el trabajo de campo también se requerirán de herramientas tecnológicas mencionadas anteriormente.

### 12.3. Recursos financieros

Los recursos financieros de mayor ponderación están considerados en la sección de visitas técnicas que se pretenden realizar para recolección de datos y el desarrollo de la investigación. Estos recursos se detallan en el resumen de los recursos necesarios.

Tabla V. Recursos financieros

Recurso	Costo
Alimentación en el trabajo de campo	Q 500,00
Transporte	Q 750,00
Internet	Q 1 300,00
Fotocopias	Q 75,00
Documentos impresos	Q 400,00
Actividades relacionadas al trabajo de graduación	Q 1 000,00
Gastos imprevistos	Q 500,00
Total	Q 4 525,00

Fuente: Elaboración propia.

#### **12.4. Factibilidad del estudio**

La factibilidad del estudio de investigación se concreta como un hecho. Al ser una investigación no experimental los costos de la investigación van mas enfocados al trabajo en computadora y a las visitas del trabajo en campo, lo cual no implica un gasto tan fuerte para un periodo de 9 meses.

En función de la factibilidad del estudio en cuestiones técnicas, el proyecto es viable ya que se cuenta con el apoyo de varios profesionales que asesorarán el diseño de la planta, bosques energéticos y sistema eléctrico. En el impacto ambiental, el proyecto también es viable, al ser una opción de generación renovable.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Regil Wald, Juan Sebastián de León (2010). *Estudio de Factibilidad para Producción de Energía Eléctrica, a partir de Biomasa de Eucalipto*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
2. Alonso Aguado, Antonio (2014). Tesis de Ingeniería en Minas. *Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para la Producción de Energía Eléctrica*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros de Minas y Energía.
3. Carranza Cruz, Jeison Elí (2011). *Implicaciones Eléctricas en la Conexión de la Generación Distribuida Renovable en las Redes de Distribución Realizado en Unión FENOSA*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería,
4. M.E.D. Poore y C. Fries (1987). *Efectos Ecológicos de los Eucaliptos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
5. CNEE (2014). *Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía*. Guatemala: Resolución CNEE-227-2014.
6. Sasvín, Elisa (2012). *Bosques Energéticos, como una Alternativa Ambiental*. Guatemala: Centro de Reportes Informativos sobre Guatemala. Recuperado en: <https://cerigua.org/article/bosques-energeticos-una-alternativa-ambiental/>.

7. Consejo Municipal de Desarrollo (2010). *Plan de Desarrollo Municipal, Guanagazapa, Escuintla. 2011-2025*. Guatemala: Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
8. Montenegro, Rolando y Castellanos, Edwin (2011). *Dinámica forestal en seis bosques comunitarios comparada con la dinámica forestal observada en los respectivos municipios*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala
9. Ministerio de Energía y Minas (2012). *Política Energética 2013-2027*. Guatemala.
10. Beljansky, M. (2012). *Matriz energética: sus implicancias en la huella de carbono de productos*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires. 117 p.
11. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2013). Recuperado en: [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03\\_Energias/Otros Niveles/renovables noconvencionales/Tipos Energia/biomasa.html](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/renovables_noconvencionales/Tipos_Energia/biomasa.html).
12. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016). *Dendroenergía*. Recuperado en: <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>
13. Yanchuk, Alvin (2003). *Recursos Energeticos Forestales No. 30*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado en:



[http://www.fao.org/docrep/005/y4341s/Y4341S06.htm#P863\\_7778](http://www.fao.org/docrep/005/y4341s/Y4341S06.htm#P863_7778)

4.

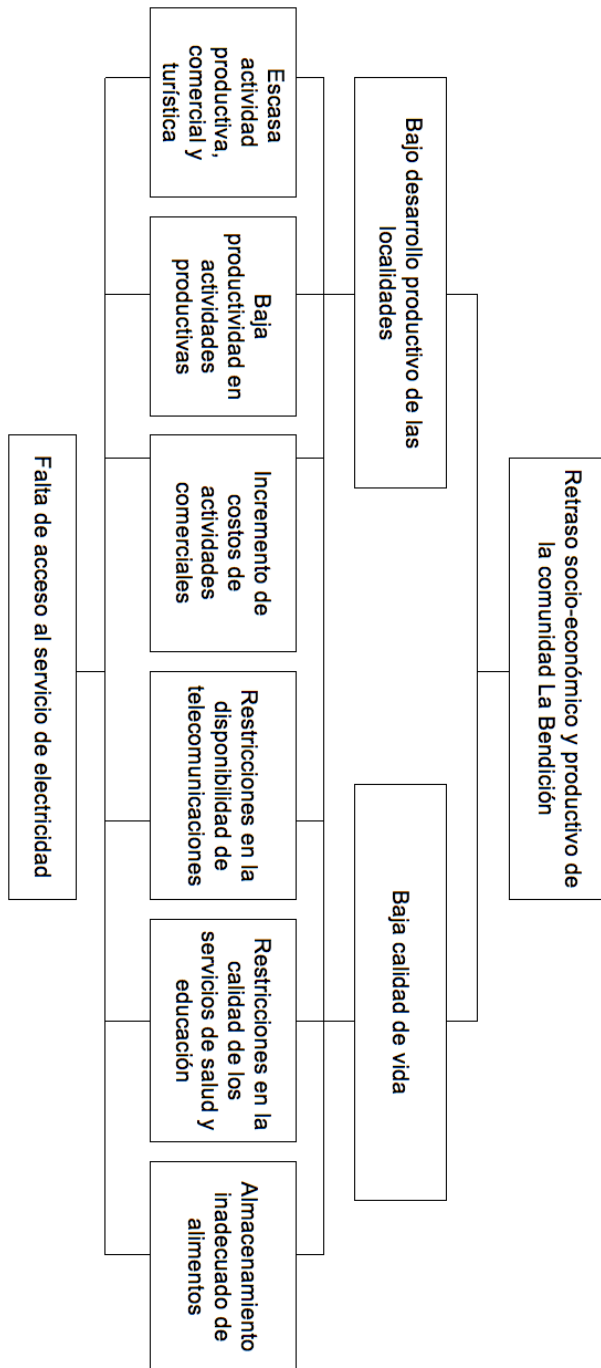
14. Trossero Miguel Ángel (2002). *Dendroenergía: perspectivas de futuro*. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales - Vol. 53. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. Recuperado en: <http://www.fao.org/docrep/005/y4450s/Y4450S02.htm>.
15. Gonzáles Laguado, Nolberto y Quintanilla Prada, Vladimir Antonio (2008). Tesis de Ingeniería Química. *Simulación de un sistema gasificador de bagazo de caña de azúcar conectado a un rector WGS para la producción de hidrogeno*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas.
16. Carrazna Cruz, Jeison Eli (2011). Tesis de Ingeniería Eléctrica. *Implicaciones Eléctricas en la Conexión de la Generación Distribuida Renovable a las Redes de Distribución Realizado en Unión Fenosa*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
17. Ramírez, Carlos Felipe (1981). *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*. Mejía Villegas S.A. Ingenieros Consultores.
18. Fuentes, Felipe (2012). *“Metodología de Sistematización de Experiencias sobre Gestión y Defensa de Tierras Comunales y el Territorio: Empresa Campesina Asociativa La Bendición”*. Guatemala: Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el

manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales. Coalición RRI, PERT-FAUSAC, CEIDEPAZ, UT´Z CHE´.

19. Prensa Libre, Mundo Económico, pág. 29. “*Analizan futuro del sector eléctrico. Millones no tienen acceso a energía*” (7 de septiembre del 2016)

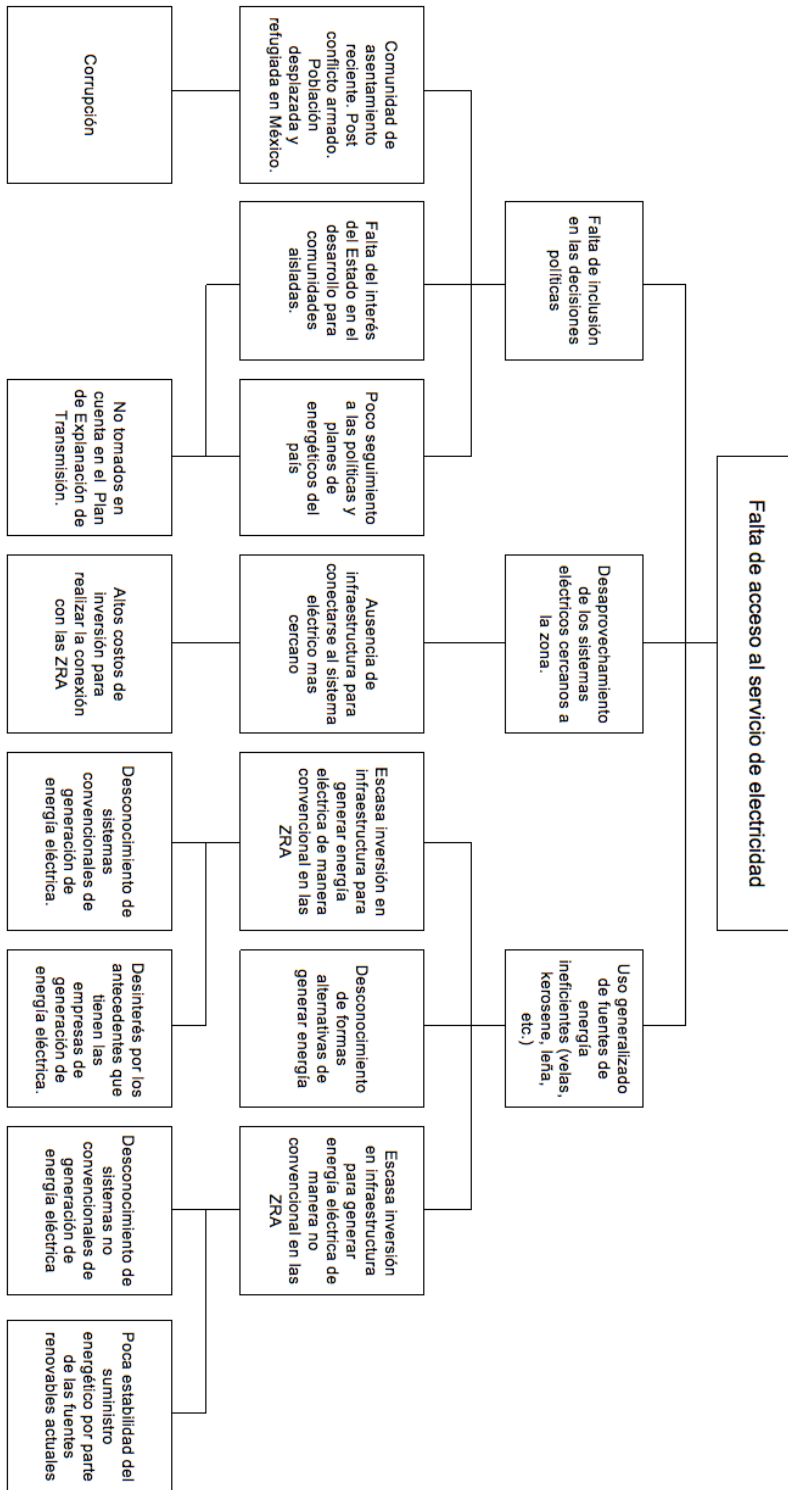
## 14. ANEXOS

Figura 7. **Árbol de problema, análisis de efectos**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. **Árbol de problema, análisis de causas**



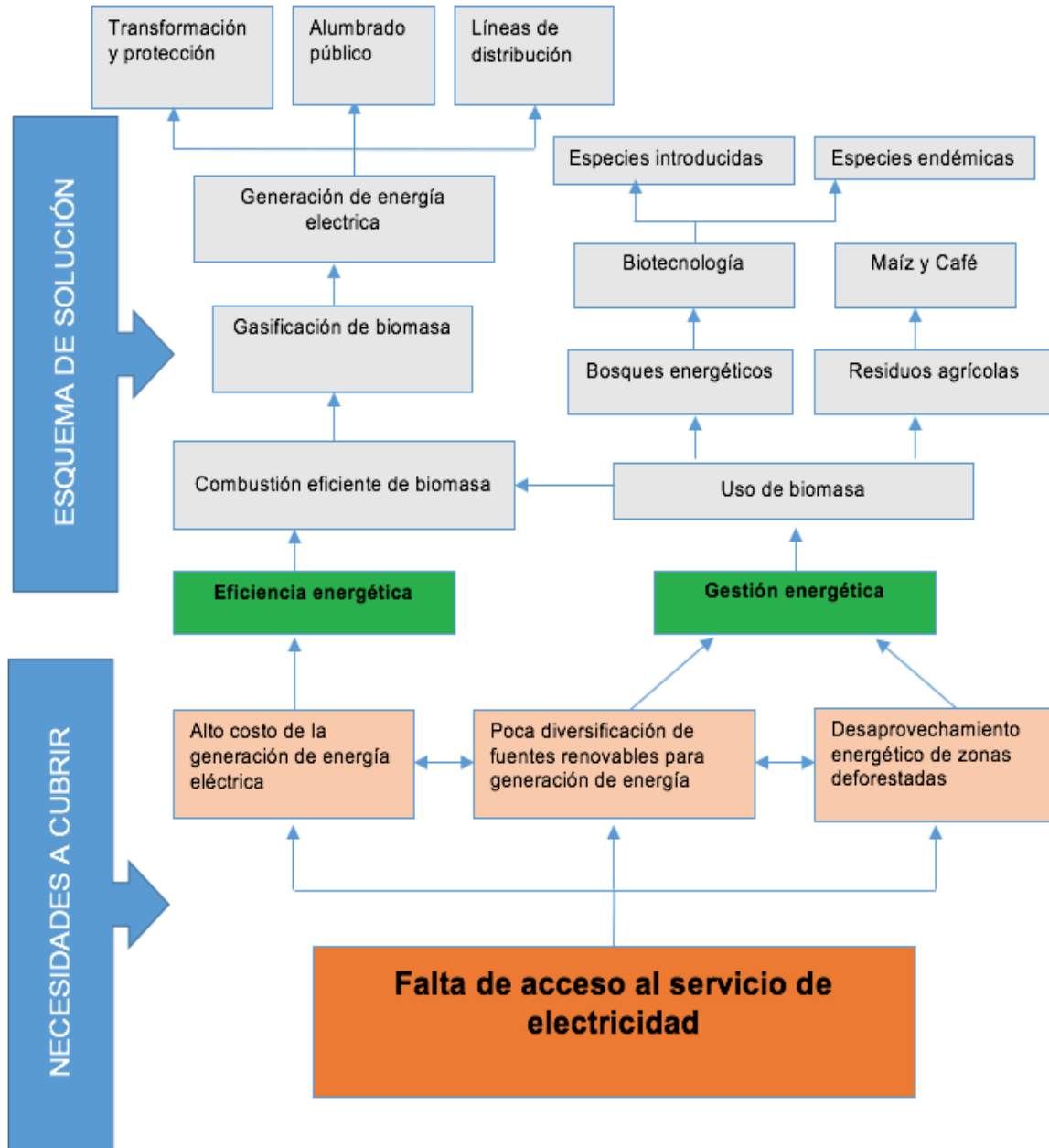
Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI. **Matriz de Coherencia**

	Preguntas	Objetivos
<b>Central</b>	¿Qué factibilidad técnica y económica tiene generar energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa como una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas en La Nueva Bendición, Guanagazapa, Escuintla?	Determinar la factibilidad técnica y económica de generar energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa como una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas en La Nueva Bendición, Guanagazapa, Escuintla.
<b>1</b>	¿Qué potencial tiene la biomasa proveniente de bosques y residuos agrícolas para cubrir la demanda de una planta de gasificación y cuanta biomasa es necesaria para cubrir esa demanda?	Determinar el potencial que tiene la biomasa proveniente de bosques y residuos agrícolas para cubrir la demanda de una planta de gasificación y calcular en base al potencial la biomasa necesaria para cubrir esa demanda
<b>2</b>	¿Qué demanda de energía eléctrica tiene la comunidad y qué infraestructura es necesaria para poder suministrar la energía eléctrica a los usuarios de la comunidad, La Nueva Bendición?	Calcular la demanda de energía eléctrica y dimensionar la infraestructura necesaria para poder suministrar la energía eléctrica a los usuarios de la comunidad, La Nueva Bendición.
<b>3</b>	¿Que factibilidad técnico/económica tiene una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica?	Determinar la factibilidad técnico/económica tiene una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica.
<b>4</b>	¿Cuál es el impacto social y ambiental que tiene el implementar una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica?	Describir el impacto social y ambiental que tiene al implementar una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica.
<b>5</b>	¿Es esta planta una alternativa viable para la electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala.	Concluir si la planta es una alternativa viable para la electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Diagrama necesidad a cubrir y esquema de solución



Fuente: Elaboración propia.