



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA
DEL USO DE BOSQUES ENERGETICOS DE EUCALIPTO PARA LA REDUCCIÓN DEL
CONSUMO DE CARBON Y LEÑA EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR, EN UN INGENIO
AZUCARERO DE LA COSTA SUR**

Joaquín Fernando Duarte Herrera

Asesorado por la Inga. MSc. Ismelda Isabel López Tohom

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA
DEL USO DE BOSQUES ENERGÉTICOS DE EUCALIPTO PARA LA REDUCCIÓN DEL
CONSUMO DE CARBON Y LEÑA EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR, EN UN INGENIO
AZUCARERO DE LA COSTA SUR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOAQUÍN FERNANDO DUARTE HERRERA
ASESORADO POR LA INGA. MSC. ISMELDA ISABEL LÓPEZ TOHOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Milbian Kattina Mendoza Méndez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Estrada Martinez
EXAMINADORA	Inga. Maria Marta Wolford Estrada
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA
DEL USO DE BOSQUES ENERGÉTICOS DE EUCALIPTO PARA LA REDUCCIÓN DEL
CONSUMO DE CARBON Y LEÑA EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR, EN UN INGENIO
AZUCARERO DE LA COSTA SUR**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 1 de octubre de 2016.

Joaquín Fernando Duarte Herrera



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-028-2015

Guatemala, 19 de noviembre de 2016.

Director
José Francisco Gómez Rivera
Escuela de **Ingeniería Industrial**
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 **Joaquín Fernando Duarte Herrera** carné número **200714790**, 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,

"Id y Enseñad a Todos"

Inge. Isabel López Tohom
C.C. 5243

MSc. Ing. Ismelda Isabel López Tohom
Asesor(a)

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

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

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



REF.DIR.EMI.088.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DEL USO DE BOSQUES ENERGÉTICOS DE EUCALIPTO PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CARBON Y LEÑA EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR, EN UN INGENIO AZUCARERO DE LA COSTA SUR**, presentado por el estudiante universitario **Joaquín Fernando Duarte Herrera**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

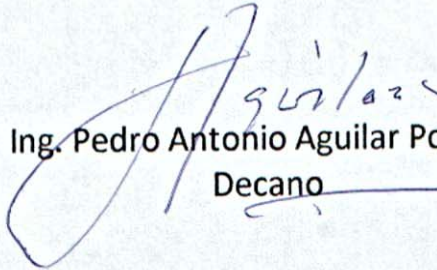


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 296.2017

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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DEL USO DE BÓSQUES ENERGÉTICOS DE EUCALIPTO PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CARBON Y LEÑA EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR, EN UN INGENIO AZUCARERO DE LA COSTA SUR,** presentado por el estudiante universitario: **Joaquín Fernando Duarte Herrera,** 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, julio de 2017

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser amor, ser parte de mí y guiar mi camino.
Mis ancestros	Elfego Duarte, Luis Herrera, Mónica Barrios y Silvia Ortiz. Por cuidarme todos los días y heredarme armas para afrontar esta vida.
Mis padres	Mónica Herrera y Fernando Duarte. Mis almas maestras en esta vida, por su amor incondicional expresado de todas las formas posibles.
Santiaguito	Por llenar mi casa y mi vida completa de bendiciones con su energía positiva, su alegría y su inocencia genuina. Por recordarme que nuestro estado natural es la felicidad.
Mi hermano	Rodrigo Duarte. Mi mayor maestro. Por su corazón valiente y por darme el mayor regalo que he recibido en esta vida.
Mis primos	Por tantas risas compartidas, su ejemplo y apoyo incondicional.
Mis amigos y amigas	Por creer en mí, por acompañarme en todo momento, por su solidaridad y camaradería.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma mater, porque gracias a ella pude realizarme como profesional y aportar a mi familia y la sociedad guatemalteca.

Facultad de Ingeniería

Por haberme formado y capacitado, permitiéndome trabajar durante el curso de mi carrera.

**Mis compañeros
de estudios**

Linda Solís, Roger Rodríguez, Miguel Letrán, Ferdiner Ulises, George Varadi, Debora Calderón y Eduardo Motta. Sin su apoyo y ayuda, esto no sería posible. ¡Qué éxito conocerlos!

Mis amigos y amigas

Por los buenos momentos vividos. ¡Gracias por tanta energía, tantas risas y tanto cariño!

Mis maestros

Por transmitir sus conocimientos con entusiasmo y entrega, cambiando mi forma de pensar y mi vida.

Mis tíos

Por cuidarme, darme su ejemplo y determinación, su cariño y compañía a lo largo de la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
3.1. Descripción del problema	15
3.1.1. Alto consumo de carbón y leña dura de olivo para producción de energía en la caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur.....	15
3.1.2. Uso de bagazo de caña, biogás y pacas de heno como biomasas alternativas para reducir el consumo de carbón y leña en la caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur.....	17
3.1.3. Una planta de producción de biogás, a través de desechos orgánicos en un ingenio azucarero de la costa sur	17
3.2. Formulación del problema	19
3.3. Preguntas de investigación.....	21
3.3.1. Pregunta central.....	21

3.3.2.	Preguntas auxiliares	21
3.4.	Delimitación del problema	23
3.4.1.	Delimitación tecnológica	23
3.4.2.	Delimitación geográfica	23
4.	JUSTIFICACIÓN.....	25
5.	OBJETIVOS	29
5.1.	Objetivo general	29
5.2.	Objetivos específicos	29
6.	ESQUEMA DE SOLUCIÓN	31
7.	ALCANCES	33
8.	MARCO TEÓRICO	35
8.1.	Bioeconomía	35
8.2.	Biorefinería.....	36
8.3.	Eficiencia energética	38
8.4.	Biomasa	39
8.5.	Energía de biomasa	40
8.6.	Uso de biomasa e impacto de un ingenio azucarero	42
8.7.	Bosques energéticos.....	43
8.8.	Bosque energético en la costa sur	44
8.9.	Plantas de eucalipto	46
8.10.	Suelo.....	47
8.11.	Plagas	48
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO DE INFORME.....	51

10.	METODOLOGÍA	55
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	57
12.	CRONOGRAMA.....	59
13.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
13.1.	Recurso humano	61
13.2.	Recurso físico.....	61
13.3.	Recurso técnico.....	62
13.4.	Recurso financiero.....	62
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fijación de CO2 del ambiente en bosques energéticos.....	6
2.	Huella de carbono de una organización	9
3.	Árbol de problemas, análisis de causas y efectos	18
4.	Matriz energética del ingenio azucarero de la costa sur	19
5.	Esquema de solución de necesidades a cubrir	31
6.	Metodología esquemática	56
7.	Diagrama de Gantt.....	59

TABLAS

I.	Matriz de coherencia	22
II.	Recursos financieros.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\$ ct	Centavos de dólar
Cm	Centímetros
Cb	Consumo de bagazo
US \$	Dólares americanos
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂/año	Dióxido de carbono al año
GEI	Gases efecto invernadero
GB	Gigabite
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramos
kJ/g	Kilojoules por gramo
km	Kilometro
kWh	Kilowatt hora
MDL	Mecanismos de desarrollo limpio
MC	Mercado de carbono
CH₄	Metano
M³	Metros cúbicos
Mg	Miligramo
mm	Milímetros
SO_x	Óxidos de azufre
N₂O	Óxido nitroso
Q	Quetzales guatemaltecos
tg	Teragramo

TM

Toneladas métricas

NOx

Tonelada métrica por hectárea

GLOSARIO

Búnker	Combustible fósil también conocido como fuelóleo. Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada.
Chip de madera	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.
Diésel	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.
Pay Back	Denominado período medio de maduración, se trata de una técnica administrativa utilizada para hacerse una idea aproximada del tiempo que tardarán en recuperar el desembolso inicial invertido en el proceso productivo.
Software	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.

1. INTRODUCCIÓN

La operación de un ingenio azucarero comprende distintos procesos productivos, en los cuales para obtener un producto final se pueden generar distintos desechos o subproductos. A algunos de estos subproductos no se les ha prestado la suficiente importancia desde el punto de vista energético, ya que actualmente solo un porcentaje de ellos es utilizado como materia prima para producción de energía y como resultado se obtienen bajos niveles de eficiencia energética para los mismos. Es común que los ingenios en la actualidad generen energía con bagazo de caña en la época de zafra; sin embargo es poca la información que se tiene respecto al aprovechamiento óptimo del potencial energético del mismo, ya que para obtener la mejor eficiencia de cualquier biomasa se debe mantener ciertas condiciones, como porcentaje de humedad y poder calorífico, con las que dicha biomasa ingresa a la caldera. Los procedimientos existentes no son muy rigurosos respecto a establecer controles para eficientar el uso de las biomásas alternativas en la caldera, pues culturalmente la industria azucarera aun considera al bagazo de caña, desechos orgánicos y otras biomásas alternativas que pueden usarse para producir biogás o bien para combustión en la caldera como subproductos con poco o nulo valor financiero significativo en su operación. De ello se puede inferir que la generación de energía en la industria azucarera guatemalteca está aún muy enfocada en la utilización de carbón y leña como materia prima combustible para la generación de energía.

Existen también otros tipos de desechos orgánicos que pueden ser aprovechados energéticamente en los ingenios guatemaltecos de la costa sur como las pacas de heno (formadas de hojas, ramas y otros desechos de caña

de azúcar), desechos orgánicos (desperdicios) de alimentación, heces fecales de animales, entre otros, que tienen un alto potencial de producción de energía, el problema es que dicho potencial no ha sido aún cuantificado y por ello es poco el interés de la industria azucarera por hacer esfuerzos para incluir su utilización en sus operaciones, estos desechos están disponibles en grandes cantidades a cortas distancias de los lugares donde pueden utilizarse como son las calderas o los biodigestores para producción de biogás. También es factible desarrollar bosques energéticos cercanos a los puntos de demanda de biomasa para contribuir con el uso de esta como combustible.

Al utilizar de manera óptima todas estas biomásas alternativas se puede satisfacer mayor porcentaje de la demanda de combustibles energéticos del ingenio con las mismas, diversificar la matriz energética del ingenio y a su vez provocar una disminución en la demanda energética de carbón y leña, lo cual se traduce en menos emisiones de GEI para el ambiente, una mejora en la huella de carbono de la organización y una menor dependencia de los precios del carbón y la leña en el mercado para la producción de energía, se obtienen beneficios como convertirse en una empresa que promueve y apoya la sostenibilidad desde el enfoque ambiental y que optimiza sus gastos en compras y fletes de combustibles como el carbón y la leña que contaminan considerablemente nuestro aire y encarecen el costo de la energía producida.

Con la finalidad de diversificar la matriz energética del ingenio azucarero se propone evaluar la factibilidad de implementación de un bosque energético de eucalipto para satisfacer la demanda de combustible de una caldera acuotubular y de esta forma reducir la cantidad de carbón y leña comprada a consumir, mejorando la huella de carbono de la organización y disminuyendo la dependencia de los precios de los combustibles fósiles en el mercado nacional. Se presentara una comparación de los costos de generación de energía usando

carbón y leña (actualmente) contra los costos de generación, a través de biomasa de un bosque energético de eucalipto, adicional a ello se presenta una cuantificación de la cantidad actual generada de GEI, a través de la generación con carbón y leña en una caldera acuotubular y la mejora en la huella energética, mediante el uso de bosques energéticos, la fijación de carbono y un cálculo estimado de los bonos de carbono que potencialmente se pueden obtener.

El capítulo I contiene información referente a antecedentes de proyectos de bosques energéticos en ingenios azucareros y en Guatemala. Hace comparaciones; en términos sociales, ambientales y económicos; de los costos e impactos producidos al generar con carbón y leña, frente al uso de bosques energéticos como biomasa para generación de energía. También se presentan las condiciones generales de la costa sur del país como ambiente, clima, suelos y biodiversidad en relación con las plantaciones de bosques de eucalipto.

El capítulo II contiene información referente a aspectos financieros y ambientales del uso de bosques energéticos de eucalipto en un ingenio azucarero. Se presenta la inversión inicial, los indicadores financieros de viabilidad del proyecto, costos de mantenimiento y temas legales y ambientales. Se presenta la comparación de costos del uso de bosques energéticos contra el uso de carbón y leña como combustibles, la huella de carbono de ambos escenarios y el impacto socioeconómico del uso del bosque energético.

El capítulo III contiene información referente a la metodología de implementación del proyecto, variables a tomar en cuenta e indicadores. Se presentan análisis económico y ambiental de la implementación del estudio y los métodos de investigación documental y recolección de datos.

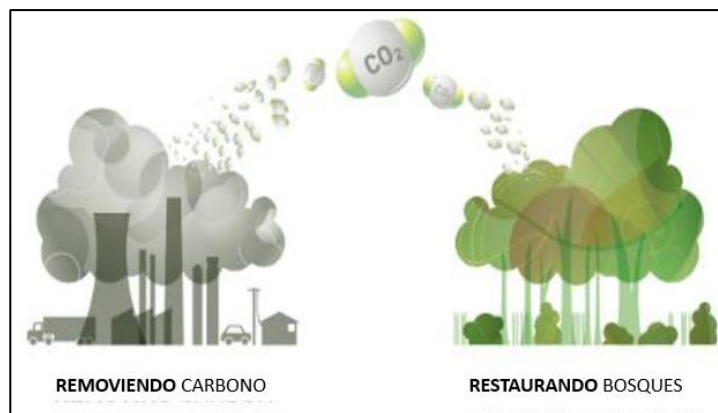
2. ANTECEDENTES

En un ingenio azucarero se llevan a cabo diversas actividades productivas donde generalmente se utiliza una materia prima para obtener un producto final, por ejemplo: se cultiva y cosecha caña de azúcar para obtener azúcar, se utiliza la melaza, que es un subproducto del proceso de producción de azúcar, como materia prima para producción de alcohol en la destilería, se utilizan combustibles varios como carbón, leña, bagazo de caña, biogás y otras biomásas alternativas para producir energía en las calderas. Todas las actividades productivas anteriormente mencionadas, y algunas otras más, se llevan a cabo en el ingenio azucarero de la costa sur en cuestión, en el cual se buscan nuevas opciones de biomásas alternativas que puedan estar presentes cerca de los puntos de consumo para aminorar el consumo de carbón y leña y así contribuir con la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), además de contribuir con la optimización al uso de las biomásas que están presentes ya en el ingenio como sub-productos de cualquiera de los procesos que en el mismo se llevan a cabo para el aprovechamiento de los recursos que se tiene disponibles.

Broek y Wijk (1997) presentan el caso de generación de electricidad en un ingenio azucarero de Nicaragua, a partir de biomasa de bagazo de caña y eucalipto. El bagazo de caña se usa como combustible durante la zafra, como sucede actualmente en todos los ingenios. Por una tonelada de caña molida se extraen 0.35 toneladas de bagazo apto para combustión. El bagazo se almacena al aire libre en el terreno del ingenio y se utiliza como combustible para las calderas durante la zafra. Para la época de no-zafra se utilizan como combustible plantas de eucalipto provenientes de plantaciones energéticas que

el ingenio cultiva y mantiene con esta finalidad. Adicional al beneficio de cultivar y cosechar la biomasa que se utilizara posteriormente como materia prima energética, lo cual facilita conocer y controlar su poder calorífico entre otras propiedades químicas de interés, al ser posteriormente utilizada como combustible en calderas, se puede también mencionar como un beneficio para el medio ambiente que los bosques energéticos cercanos a altos focos de contaminación del aire, como es la fábrica de un ingenio azucarero, contribuyen a mejorar la calidad del aire mediante la fijación de CO₂, convirtiendo el CO₂ del aire (carbono inorgánico) en compuestos orgánicos (reacción química realizada únicamente por organismos vivos), en este caso la fijación de CO₂ es realizada por los arboles de eucalipto que forman los bosques energéticos mediante la fotosíntesis, a través de este proceso la clorofila de los árboles de eucalipto captura la energía convirtiendo el dióxido de carbono (CO₂) del aire en carbohidratos para formar la materia orgánica como parte de su crecimiento, cuando esta materia orgánica se quema regresa a su forma de dióxido de carbono y agua liberando la energía que contiene.

Figura 1. **Fijación de CO₂ del ambiente en bosques energéticos**



Fuente:<http://www.greenfleet.com.au/portals/0/About%20Greenfleet/Greenfleet-Removing%20Carbon,%20Restoring%20forests.jpg>.

Cabe destacar el esfuerzo de dicho ingenio nicaragüense que se refleja en su sostenibilidad, ya que no necesitan comprar combustibles fósiles (como carbón y/o leña) para continuar con la operación de sus calderas en la época de no zafra, es decir, dicho ingenio no depende de los costos del carbón y la leña para generar energía, en su lugar, utilizan el poder calorífico de sus propios bosques energéticos de eucalipto. Además de esto contribuyen con la conservación del medio ambiente, ya que sus bosques energéticos ubicados en cercanías de su operación purifican el aire y mitigan el impacto que ellos mismos provocan, y se produce menor cantidad de CO₂ al utilizar eucalipto como combustible en las calderas del que se produce utilizando combustibles fósiles. Se debe cuantificar la cantidad de biomasa de eucalipto necesaria para mantener la operación de las calderas en la no zafra y tomar en cuenta también los costos de: recuperación y reforestación de los bosques energéticos con los que se cuenta, transporte de la biomasa desde sus bosques energéticos hacia las calderas, los cuales son mínimos, ya que los bosques se encuentran bastante cerca de las calderas. Con acciones como esta se logra reducir la huella de carbono de la organización, a través de la conversión de dióxido de carbono en compuestos orgánicos mediante la fotosíntesis de los árboles de eucalipto, este proceso se conoce como fijación de carbono y es realizado en este caso por los eucaliptos que crecen en los bosques energéticos cercanos a la operación del ingenio azucarero nicaragüense en el caso presentado.

Los autores realizan una comparación entre la generación de electricidad a partir de bagazo y eucalipto (biomasas), y la generación de electricidad a partir de bunker (combustible fósil) en la cual se evalúan aspectos ambientales y macroeconómicos del ingenio azucarero nicaragüense. Se comparan los costos de ambas maneras de generar electricidad, además de los efectos socioeconómicos y ambientales de la generación de electricidad con biomasas, con los efectos de la generación a partir de combustibles fósiles. La producción

de electricidad obtenida de biomasa tiene un costo inferior (3.7 \$ ct/kWh) al de la electricidad obtenida de bunker (5.7 \$ct/kWh). Según Broek y Wijk (1997) a las emisiones de CO₂ de la generación de electricidad con combustibles fósiles, se comprobó que son 30 veces superiores a las emisiones de la generación con biomasa (750 contra 25 g CO₂/kWh). La huella de carbono de la organización puede mejorar en un 30 % al utilizar en lugar de combustibles fósiles, biomasa como fuentes energéticas, en este caso madera proveniente de los bosques energéticos de eucalipto, bagazo de caña o cualquier otra biomasa disponible con factibilidad de ser aprovechada, esto puede comprobarse a través de un estudio de huella de carbono que determine las emisiones de GEI liberadas por la organización en un periodo determinado, generalmente de un año. Esto se realiza siguiendo normativas internacionales como ISO 14064-1 y GHG Protocol.

La huella de carbono de la organización será la totalidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de la misma, y su impacto ambiental se mide llevando a cabo un estudio que determina las emisiones de GEI liberadas (por emisiones de CO₂ en la fábrica) o fijadas (mediante bosques energéticos, según el caso del ingenio azucarero nicaragüense) de la organización en un período determinado, generalmente un año. Se realiza siguiendo normas internacionales reconocidas como ISO 14064, PAS 2050 o GHC Protocol entre algunas otras.

Figura 2. **Huella de carbono de una organización**



Fuente: <http://www.gestionar-facil.com/wp-content/uploads/2015/05/Huella-de-carbono-hacia-una-gerencia-verde-t2.jpg>.

Cabe mencionar que el bagazo de caña es la biomasa más fácil de obtener en todos los ingenios azucareros en la época de zafra y que en la época de no-zafra los ingenios deben buscar opciones para la generación de energía, lo más recomendable será utilizar biomazas que tengan alto poder calorífico y bajo potencial de emisión de GEI. El caso del ingenio nicaragüense presenta claramente los beneficios de contar con biomazas alternativas dentro del mismo ingenio, ellos cuentan con la opción del eucalipto, ya que es lo más fácil de obtener, debido a que ellos mismos cultivan y crecen los bosques para abastecer la demanda de biomasa en la época de no-zafra.

Regresando al bagazo de caña, que es lo más común en los ingenios azucareros, la importancia del secado de esta biomasa en la producción energética en calderas radica en el aprovechamiento de su poder calorífico máximo según Santillán (s.f.). En los ingenios azucareros se utiliza el bagazo

como combustible para generar vapor utilizado en procesos térmicos como evaporación de jugos, generación de electricidad y cogeneración. Cerca del año 1885 se quemaba bagazo húmedo en las calderas y con el avance del tiempo y la tecnología se ha introducido mejoras en los sistemas de alimentación y aprovechamiento de las biomásas y los gases que estas emiten al momento de la combustión.

La eficiencia térmica es el factor más importante en los procesos y fábricas, donde se queman combustibles orgánicos, ya que esta señala la cantidad de producción de vapor en función del consumo de combustible. Al analizar la optimización de la eficiencia en una caldera se analizan los siguientes factores: eficiencia de la caldera, temperatura del gas de salida, porcentaje de CO₂, exceso de aire de la combustión y humedad del combustible sólido. Por ello es importante hacer énfasis en la humedad de la biomasa que se utilizara en las calderas al momento de ser ingresada en estas. Esto va estrechamente ligado también a la simplicidad de control y operación en el proceso de recepción, almacenaje y despacho de las biomásas, la continuidad de la operación y la capacidad de almacenaje de dichas biomásas con las que el ingenio cuenta. Al analizar cuidadosamente las condiciones mencionadas cualquier ingenio azucarero puede obtener el óptimo aprovechamiento de sus biomásas y por consecuencia su máxima eficiencia.

Como se mencionó anteriormente, el combustible comúnmente usado en las calderas de los ingenios azucareros es el bagazo que se obtiene diariamente del proceso de molienda de caña, en la mayoría de casos, sin tener un correcto almacenamiento, pre secado, ni ningún proceso de preparación (trituration, secado) por lo que se presume que la humedad promedio está en el orden del 50 % con base húmeda. El secado de cualquier biomasa consiste en la eliminación de agua que ésta contiene hasta límites adecuados y se puede

estandarizar para la gran mayoría de casos, sin importar que biomasa en específico se está tratando. Un combustible de biomasa con alta humedad no puede tener las mismas características físicas que un material seco, particularmente su poder calorífico, que es lo que últimadamente determina su potencial de producción de energía. Con el secado de la biomasa se logra bajar los valores de humedad y consecuentemente mejorar la producción de calor en la combustión de una unidad de biomasa combustible. El bagazo al tener una humedad promedio luego de la molienda de 50 % con base húmeda puede ser secado hasta valores de 30 % que procuren mejores condiciones térmicas en la combustión y consecuentemente un incremento en la eficiencia térmica de las calderas de bagazo.

Respecto a la cantidad consumida de bagazo de caña en las calderas en función del porcentaje de humedad que este presenta, se dice que para humedades entre 50 y 65 % el consumo de bagazo (C_b en toneladas por día) puede obtenerse mediante la ecuación $C_b = 0.161 * H^{2.144}$ y para humedades entre 30 y 49% a través de $C_b = 13.18 * H^{0.919}$ (Santillán, s.f.). Al utilizar el bagazo con menor humedad existe entonces un ahorro del combustible de biomasa a través de la mejora en el aprovechamiento de su poder calorífico. Actualmente en la mayoría de ingenios guatemaltecos de la costa sur no se practica el uso de tecnologías de optimización de condiciones para obtener el recomendable poder calorífico del bagazo, a través de controles en su almacenamiento y despacho a calderas, el bagazo se quema, tal como sale de la molienda, generalmente con humedades entre el 40 y 50 % lo cual implica disminución de su poder calorífico y consecuentemente de la eficiencia de su combustión en caldera.

Se puede mejorar la eficiencia térmica de las calderas si se logra secar el bagazo a valores cercanos al 30 %, o al menos entre 40 y 30 %, optimizar el

uso de la biomasa (hasta un 37 % de optimización en el consumo de bagazo) utilizando procesos de secado del bagazo con tecnologías de fácil acceso y operación, como secado a través de vapor, secado solar, entre otros. Al mejorar la eficiencia del proceso de combustión de bagazo, se es más eficiente energéticamente, esto implica mejor producción de energía con menos consumo de bagazo, por ende se contamina menos el medio ambiente reduciendo emisiones de gases efecto invernadero por lo que la optimización en el secado de bagazo previo a su uso es una alternativa ecológica.

Mediante la metodología de la huella de carbono la organización puede identificar sus principales focos de emisiones y así desarrollar un inventario de GEI para cuantificar su huella de carbono, con esto se define una línea base y se desarrolla la estrategia de reducción de emisiones a seguir.

Los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) ofrecen la posibilidad de que los países industrializados puedan adquirir certificados de reducción conocidos como bonos de carbono en los países en desarrollo ofreciendo rentabilidad para los países que capturan carbono, a través de la venta de estos bonos de carbono. Según Lobos, Vallejos, Caroca y Marchant (2005) algunos gobiernos y empresas han tomado medidas para disminuir las emisiones de GEI como consecuencias de las reglas vigentes. Las normas permiten la compra externa de créditos de emisión, formando las bases para el Mercado de Carbono (MC). Según Seppänen, P. (2003) para evaluar la importancia financiera de los bonos de carbono es necesario conocer la captura neta de carbono y asignarle un precio unitario. Para ello, se llevó a cabo un estudio basado en los costos de las plantaciones de eucalipto y una productividad real de eucalipto en el sur-este de México. Se cuantificó, el secuestro de carbono en las plantaciones y se establecieron los costos de reforestación por edad. Se calculó el costo del carbono capturado dividiendo su cantidad entre los costos de la plantación por

edad. Se calculó finalmente el costo unitario del carbono usando los costos operativos y los costos totales de la reforestación. (Seppänen, 2003) refiere que el costo del secuestro de carbono oscila entre USD \$ 10 y US & 68 por tonelada, dependiendo de la edad de la plantación. Los expertos esperan que una vez formado el mercado de carbono, su precio se establezca alrededor de US\$ 5.00/ tonelada de carbono puro (Otsamo com. Pers., 2002). Mogas, J. (2005) afirma que la posibilidad de considerar la absorción de CO₂ derivado de la plantación de árboles como una forma de contrarrestar las emisiones de carbono puede ser rentable derivado del beneficio económico y el beneficio social obtenido.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

3.1.1. Alto consumo de carbón y leña dura de olivo para producción de energía en la caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur

Actualmente, el ingenio produce la mayor cantidad de su energía eléctrica utilizando como materia prima carbón y leña dura de olivo. Esto hace que la matriz energética del ingenio dependa en un 65 % del carbón y la leña, lo cual hace que el costo de la energía producida dependa directamente de los costos de dichos combustibles, insumos que se compran y consumen la mayor cantidad del año para mantener la producción de energía eléctrica en los niveles esperados. Es necesario que la matriz energética del ingenio este más equilibrada y se incluyan más fuentes renovables como biomásas alternativas, residuos agrícolas u orgánicos, biogás, energía eólica, solar o bagazo de caña para reducir el consumo de carbón y leña.

El área de calderas del ingenio no utiliza procedimientos y mecanismos estandarizados de recepción, almacenaje, manejo y despacho de bagazo de caña de azúcar que permitan y faciliten la mejor optimización en el aprovechamiento de su potencial energético como combustible utilizado para producir energía eléctrica en la caldera acuotubular. Entre los combustibles utilizados en esta caldera se puede mencionar, en orden descendente de la cantidad utilizada de cada uno: Carbón, leña, bagazo de caña, biogás, rastrojo y cascabillo de café, vetiver y bunker. Al no contar con procedimientos que

garanticen la mayor eficiencia en el uso del bagazo de caña de azúcar que está consumiendo mayor cantidad de este para producir la energía eléctrica en la caldera, es decir, se podría producir mayor cantidad de energía eléctrica con las cantidades de bagazo de caña de azúcar actualmente utilizadas si se enfocan los esfuerzos en controlar y mejorar la eficiencia del bagazo como fuente energética o/y la eficiencia de la caldera acuotubular a través de controles que garanticen las condiciones óptimas del bagazo al momento de ser quemado en la caldera y condiciones que garanticen también que las pérdidas de energía en la caldera son mínimas y están identificadas y controladas.

El consumo de leña y carbón en el proceso productivo de energía eléctrica de las calderas del ingenio ha podido ser calculado, según los historiales de compra, ingresos y egresos de bodega y reportes de consumo de cada una de las calderas, dicho consumo asciende a 29,800 TM de leña y 155,100 TM de carbón al año en promedio.

Según reportes históricos de consumo de combustibles, se tiene conocimiento de que en el ingenio se consume también cascara de café y pacas de heno (hojas secas, ramas y basura de la cosecha de caña de azúcar) para su combustión en calderas.

El ingenio consume actualmente un promedio de 800 TM de leña y un promedio de 7,000 TM de carbón a la semana.

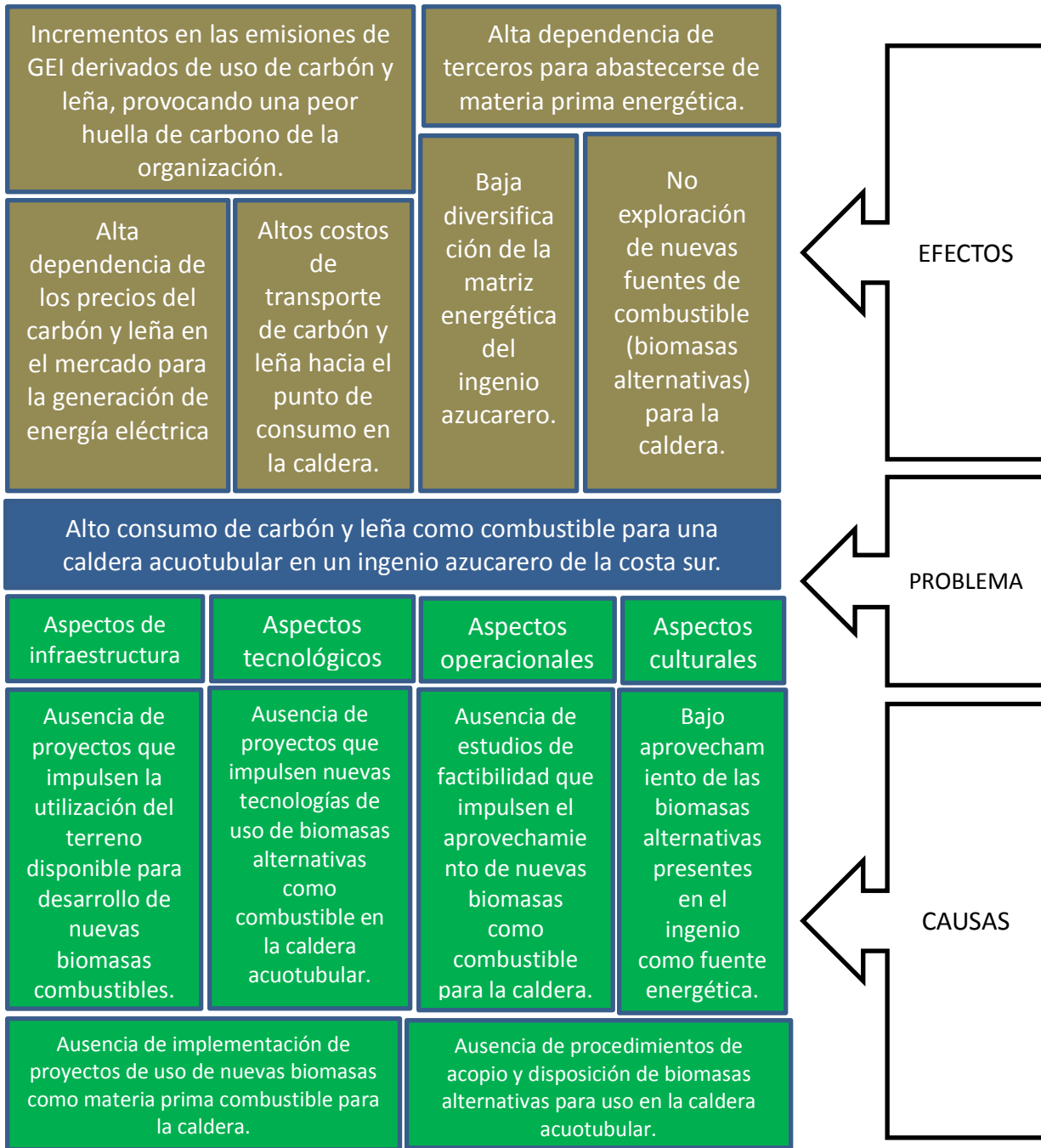
3.1.2. Uso de bagazo de caña, biogás y pacas de heno como biomásas alternativas para reducir el consumo de carbón y leña en la caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur

Actualmente es necesario utilizar leña y carbón con fines energéticos en el ingenio; sin embargo no es recomendable depender de un solo recurso como fuente energética primaria, por lo que se recomienda buscar incrementar la utilización de biomásas alternativas como bagazo de caña, biogás y pacas de heno para la reducción del consumo de carbón y leña, o bien buscar nuevas opciones de biomásas potenciales a desarrollar en el ingenio para utilizarlas como materia prima combustible para generación de energía en la caldera acuotubular.

3.1.3. Una planta de producción de biogás, a través de desechos orgánicos en un ingenio azucarero de la costa sur

El ingenio cuenta con una planta de producción de biogás, a través de desechos orgánicos que son recolectados y utilizados en biodigestores donde se produce biogás para su uso en las calderas. Actualmente, la planta cuenta con 4 biodigestores con una capacidad instalada de producción de biogás al año de 24, 400,00 M3 generando con esto 8 MW mensualmente. El aprovechamiento de esta tecnología permite que la matriz energética del ingenio cuente también con este tipo de energía disponible y que se haga un buen uso de las biomásas disponibles como la vinaza, subproducto del proceso de producción de alcohol a base de melaza, heces y desechos sólidos provenientes de aguas residuales, estiércoles animales (como la cerdaza y/o la gallinaza).

Figura 3. **Árbol de problemas, análisis de causas y efectos**

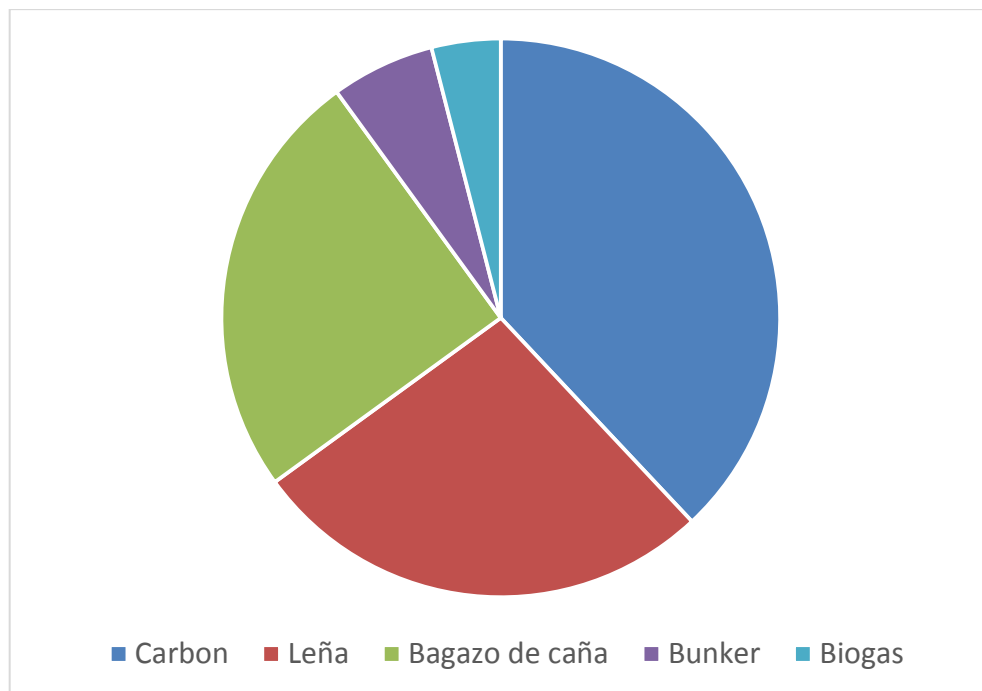


Fuente: elaboración propia.

3.2. Formulación del problema

Según la matriz energética actual, el ingenio depende del carbón y de la leña para la producción de energía eléctrica en un 38 y 27 % respectivamente, es decir un 65 % de la energía producida se logra con la combustión de carbón y leña. El 35 % restante depende de biomazas alternativas: bagazo de caña, rastrojo de café, pacas de heno, residuos orgánicos usados para producir biogás, por lo que se hace necesario incrementar el balance entre el uso de carbón y leña y el resto de biomazas mencionadas o bien nuevas biomazas alternativas. La producción de energía eléctrica a partir de biomasa está regulada por el Decreto Ley 20-86 y por el Decreto 57-95.

Figura 4. **Matriz energética del ingenio azucarero de la costa sur**



Fuente: elaboración propia.

La cogeneración a partir de bagazo de caña presenta una alternativa de mayor rendimiento energético y económico, que conlleva también beneficios ambientales y permite que la matriz energética del ingenio no dependa únicamente de combustibles que no produce y que debe comprar como son el carbón y la leña. Siendo el bagazo un material renovable y subproducto del proceso de molienda, permite ahorro en costos de operación, ya que los principales costos del ingenio están en combustibles.

Debido a que el ingenio muele caña de azúcar únicamente en zafra, periodo de 7 meses comprendido entre noviembre y mayo, el bagazo de caña solo puede aprovecharse durante estos meses, es por esto que es necesario optimizar el aprovechamiento de energía eléctrica de esta fuente ya que es necesaria la generación de energía eléctrica de manera estable. Es por esto que es necesario optimizar el uso de cualquier otra biomasa presente y disponible en el ingenio como las mencionadas anteriormente: residuos agrícolas, residuos de la cosecha de caña sin quema previa, residuos alimenticios o residuos sólidos de aguas residuales, entre otros; así también impulsar la utilización de nuevas tecnologías de abastecimiento de biomásas como por ejemplo, el uso de bosques energéticos. El ingenio cuenta con un balance energético no sostenible, teniendo una dependencia muy alta al carbón y la leña, generando una serie de problemas asociados como la deforestación y contaminación del aire con altas emisiones de gases efecto invernadero (GEI) provenientes de la combustión de estos combustibles fósiles.

3.3. Preguntas de investigación

3.3.1. Pregunta central

¿Qué alternativas de proyectos para la reducción del consumo energético de carbón y leña en una caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur, son viables técnica y financieramente mediante el uso y aprovechamiento de biomasa alternativas?

3.3.2. Preguntas auxiliares

¿Qué cantidad de biomasa y qué potencial calorífico se puede obtener con el uso de un bosque energético de eucalipto como fuente alternativa de materia prima combustible para una caldera acuotubular en un ingenio azucarero de la costa sur?

¿Qué especie de eucalipto es factible implementar para su utilización como combustible en una caldera acuotubular tomando en cuenta las condiciones climáticas, ambientales, de suelo y el entorno de la región de la costa sur de Guatemala y su potencial calorífico?

¿Cuál es la viabilidad financiera de la implementación de un bosque energético de eucalipto para la producción de materia prima combustible, para una caldera de un ingenio de la costa sur?

¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados al uso de materia prima energética proveniente de bosques energéticos de eucalipto en la caldera de un ingenio azucarero de la costa sur?

Tabla I. **Matriz de coherencia**

	Pregunta	Objetivo
Central	¿Qué alternativas de proyectos para la reducción del consumo energético de carbón y leña en una caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur, son viables técnica y financieramente mediante el uso y aprovechamiento de biomasa alternativas?	Determinar la factibilidad técnica y financiera de la reducción del consumo energético de carbón y leña en una caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur, mediante el uso eficiente de bosques energéticos de eucalipto como materia prima energética.
1	¿Qué cantidad de biomasa y qué potencial calorífico se puede obtener con el uso de un bosque energético de eucalipto como fuente alternativa de materia prima combustible para una caldera acuotubular en un ingenio azucarero de la costa sur?	Evaluar el potencial calorífico del bosque energético de eucalipto como materia prima energética y las variables asociadas a la demanda de biomasa de una caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur.
2	¿Qué especie de eucalipto es factible implementar para su utilización como combustible en una caldera acuotubular tomando en cuenta las condiciones climáticas, ambientales, de suelo y el entorno de la región de la costa sur de Guatemala y su potencial calorífico?	Determinar con base a las especies utilizadas como materia prima energética y las características de la región de la costa sur de Guatemala la que mejor se adapta a las condiciones climáticas, ambientales, de suelos, entorno y al uso destinado como biomasa energética.
3	¿Cuál es la viabilidad financiera de la implementación de un bosque energético de eucalipto para la producción de materia prima combustible para una caldera de un ingenio de la costa sur?	Calcular los indicadores financieros, en función del análisis de la inversión inicial, costos de mantenimiento y demás gastos por temas legales y ambientales versus los ahorros derivados del uso eficiente de bosques energéticos de eucalipto para determinar la viabilidad financiera del proyecto.
4	¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados al uso de materia prima energética proveniente de bosques energéticos de eucalipto en la caldera de un ingenio azucarero de la costa sur?	Calcular las reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) por medio de la fijación de CO ₂ y la determinación de los bonos de carbono asociada a la implementación del bosque energético de eucalipto, en un ingenio azucarero de la costa sur.

Fuente: elaboración propia.

3.4. Delimitación del problema

3.4.1. Delimitación tecnológica

Las mejoras propuestas en la presente investigación se centralizarán en la optimización del aprovechamiento de la energía potencial de las biomásas dentro de toda la organización, enfocándose principalmente en las biomásas alternativas que ofrecen la mayor cantidad de energía de consumo potencial, como el uso de bosques energéticos de eucalipto, basándonos en un análisis de los distintos valores de poder calorífico que ofrecen las distintas biomásas que están al alcance de la operación, principalmente: bagazo de caña, basura de caña, biogás derivado de desperdicios alimenticios y sedimentos de aguas residuales o desechos agrícolas, biomasa de eucalipto proveniente de bosques energéticos, entre otros.

Las mejoras propuestas en los procedimientos de transporte, recepción, almacenamiento y despacho de las biomásas alternativas: bagazo de caña, pacas de heno y otros desechos orgánicos, se realizarán tomando en cuenta la infraestructura y la tecnología con la que el ingenio azucarero de la costa sur cuenta actualmente, así también, se propondrá para algunos casos la implementación y uso de nuevas tecnologías o bien nuevos proyectos para uso de biomásas alternativas, los cuales representan una inversión para el ingenio, una mejora en su huella de carbono, su sostenibilidad y una mejora para sus procesos.

3.4.2. Delimitación geográfica

La investigación se enfocará en la región comprendida dentro de la finca buganvilia en el km 99.5 carretera a Sipacate, Escuintla. Se identificará toda la

biomasa alternativa potencial, presente actualmente en el ingenio como bagazo de caña, pacas de heno y residuos alimenticios y agrícolas, así también biomasa alternativa como es la proveniente de bosques energéticos de eucalipto que puedan desarrollarse en el ingenio, tomando en cuenta toda el área geográfica, ya que es importante no incurrir en altos costos de transporte de la biomasa sino aprovechar la cercanía de las biomasa presentes o desarrollo de biomasa potenciales, para consumo en las calderas como puntos de consumo final.

4. JUSTIFICACIÓN

La comercialización de energía eléctrica es una de las principales actividades económicas del ingenio, por lo que la generación de esta debe realizarse con la mejor eficiencia, la generación de energía se realiza a través de calderas en las que se utiliza como materia prima para combustión principalmente carbón, leña, bagazo de caña, pacas de desechos orgánicos de cosecha de caña, biogás. Actualmente, la matriz energética del ingenio depende aun del abastecimiento de leña y carbón, se ha comprobado que la quema de estos combustibles fósiles contribuye mayormente con el incremento de CO₂ en el medio ambiente comparada con la quema de biomásas como el bagazo de caña, lo cual contribuye empeorando la huella ecológica en la organización.

El poder calorífico del bagazo de caña debe ser aprovechado al máximo en las calderas para eficientar el uso de este como materia prima del proceso de generación, con esto se contribuye a la disminución de consumo de carbón y leña en las calderas, lo cual se traduce también en ahorros para la compañía por los altos costos de estos insumos comparados con el costo de las biomásas disponibles como el bagazo de caña, que es un subproducto del proceso de producción de azúcar cuyo potencial energético debe ser aprovechado, así también se puede mencionar cualquier desecho orgánico proveniente de la operación del ingenio, a través de realizar una gestión integral de estos desechos y garantizar procedimientos para la optimización de su aprovechamiento energético en calderas de generación de energía. También es importante considerar nuevos proyectos de inversión para introducción de nuevas biomásas alternativas que puede ser que actualmente no se utilicen en

dicho ingenio, pero que se han utilizado en algunos otros obteniendo grandes beneficios como mejoras en costos de operación, menores costos por materia prima para generar energía y mejoras en la huella ecológica de la organización, esto a través de bosques energéticos de eucalipto.

Como parte de estos procedimientos, se supone también una mejora en el transporte, recepción, almacenamiento y despacho de biomasa a las calderas garantizando la optimización del poder calorífico de las distintas biomasa a utilizar, para lograr una mejor eficiencia del proceso, obtener mejores beneficios para la empresa y el medio ambiente y asegurar la disponibilidad de potencia en el mercado eléctrico guatemalteco.

La biomasa es un recurso abundante, renovable y disponible en varias formas en el ingenio y presenta el beneficio de la reducción de la contaminación ambiental en relación con el uso de combustibles fósiles a pesar de la baja cantidad de energía obtenida por unidad de peso, también presenta problemas de almacenaje y transporte (los cuales no representan un problema dentro del ingenio, porque el área geográfica es pequeña comparada con las largas distancias de transporte del carbón y leña) y necesita un sistema de pretratamiento dependiendo cual sea la biomasa (en la mayoría de casos pre-secado) para ser más eficiente, por esto se justifica la mejora en aprovechamiento de biomasa y reducción de uso de carbón y leña en el ingenio para contribuir con la misma en el país.

El ingenio debe tomar acciones para buscar y optimizar el uso de biomasa alternativas que sean accesibles y que estén disponibles dentro del mismo, actualmente se puede mencionar el bagazo de caña, residuos agrícolas, estiércol, residuos alimenticios, desechos orgánicos, desechos de la

cosecha de caña de azúcar (hojas, ramas, etc.) para reducir el uso de carbón y leña.

La utilización de biomasa presenta algunas ventajas y también algunos problemas: entre las ventajas se puede mencionar que es un recurso abundante, renovable y disponible en varias formas y diversas variedades de uso, producción descentralizada con recursos regionales y reducción de la contaminación ambiental en relación con el uso de combustibles fósiles. Las desventajas son: grandes áreas con un solo tipo de cultivo pueden causar desequilibrio ecológico, la baja cantidad de energía obtenida por unidad de peso, apenas es viable cuando el precio del petróleo es alto, presenta problemas de almacenaje y transporte (los cuales no representan un reto dentro del ingenio porque el área geográfica es pequeña) y necesita un sistema de pre-secado para ser más eficiente.

El aprovechamiento de este tipo de energía renovable contribuye notablemente a la mejora y conservación del medio, puesto que no tiene un impacto medioambiental significativo, teniendo en cuenta que el CO₂ que se libera a la atmósfera durante la combustión ha sido previamente captado por los vegetales durante su crecimiento; por lo tanto, el balance final es neutro. Es importante que el origen de esta biomasa esté cerca del punto de consumo, para evitar incrementar los costos de la energía generada.

Reducir las distancias de transporte, mejorar la recepción, almacenamiento y despacho de biomasa hacia las calderas impacta directamente en la optimización de su aprovechamiento energético, lo cual se puede traducir en una reducción de la demanda energética de carbón y leña en el ingenio azucarero, apoyando así el objetivo de la línea de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Estudios de Postgrado de la

Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; la cual hace énfasis en la reducción del uso de leña como recurso energético para contribuir con la resolución de la problemática energética y ambiental en el contexto del entorno nacional, conforme al quinto eje de la política energética nacional 2013-2027: Reducción del uso de leña en el país; el cual tiene como objetivo operativo disminuir el uso de leña en industrias con una meta a largo plazo de reducción de un 15 %, a través de acciones como la elaboración de estudios técnicos que evidencien los beneficios de reemplazar la leña por otras alternativas como el uso de biomásas.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Determinar la factibilidad técnica y financiera de la reducción del consumo energético de carbón y leña en una caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur, mediante el uso eficiente de bosques energéticos de eucalipto como materia prima energética.

5.2. Objetivos específicos

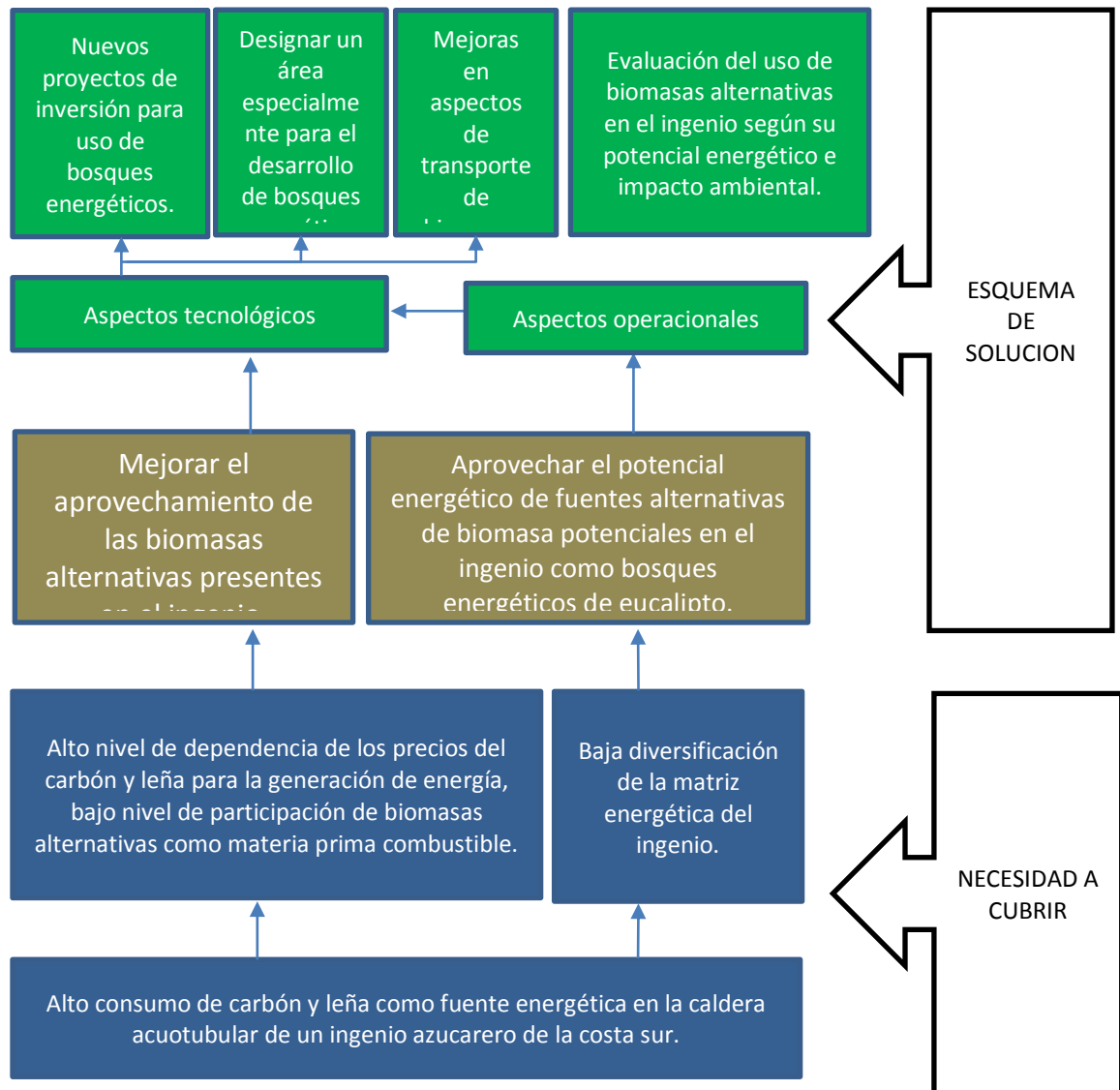
- Evaluar el potencial calorífico del bosque energético de eucalipto como materia prima energética y las variables asociadas a la demanda de biomasa de una caldera acuotubular de un ingenio azucarero de la costa sur.
- Determinar con base a las especies utilizadas como materia prima energética y las características de la región de la costa sur de Guatemala la que mejor se adapta a las condiciones climáticas, ambientales, de suelos, entorno y al uso destinado como biomasa energética.
- Calcular los indicadores financieros, en función del análisis de la inversión inicial, costos de mantenimiento y demás gastos por temas legales y ambientales versus los ahorros derivados del uso eficiente de bosques energéticos de eucalipto para determinar la viabilidad financiera del proyecto.

- Calcular las reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) por medio de la fijación de CO₂ y la determinación de los bonos de carbono asociada a la implementación del bosque energético de eucalipto en un ingenio azucarero de la costa sur.

6. ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se presenta un esquema de soluciones abajo con la finalidad de ordenar gráficamente las opciones viables que se tienen para reducir el consumo de carbón y leña actualmente en el ingenio azucarero.

Figura 5. Esquema de solución de necesidades a cubrir



Fuente: elaboración propia.

7. ALCANCES

El presente trabajo pretende exponer una descripción técnica y financiera del uso de bosques energéticos de eucalipto, para mitigar el uso de carbón y leña como combustibles en una caldera acuotubular de un ingenio azucarero, de la costa sur. La matriz energética del ingenio actualmente depende en un 65 % del uso de carbón y leña, por lo que el costo de la energía generada depende en un alto porcentaje de los costos en el mercado de estos combustibles, además de los costos del transporte de los mismos hacia la caldera. Adicional al tema de costos, la cantidad de CO₂ generada al utilizar carbón y leña como materia prima energética es bastante alta, según los autores Broek y Wijk (1997) la generación de electricidad con combustibles fósiles genera emisiones 30 veces superiores a las de generación con biomasa. Con esta propuesta se busca diversificar la matriz energética del ingenio, satisfaciendo el abastecimiento de materia prima combustible para la generación de energía eléctrica a menor costo, y a su vez, mejorar la huella de carbono de la organización, a través de la fijación del CO₂ generado por la fábrica en los árboles de eucalipto que conforman el bosque energético en cuestión.

Al calcular las reducciones de gases efecto invernadero, mediante la fijación de CO₂ en los bosques energéticos de eucalipto se puede determinar los bonos de carbono asociados a la implementación del proyecto en el ingenio azucarero. También se busca calcular la viabilidad financiera del proyecto en función de los costos de inversión y mantenimiento asociados a la implementación del proyecto contra los ahorros obtenidos.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Bioeconomía

La bioeconomía se refiere a un segmento de la economía que promueve una sociedad que dependa en menor medida de los recursos fósiles y materia prima para sus necesidades energéticas y que por el contrario utilice la biomasa como fuente energética principal. Se define como la aplicación de conocimiento para ser sostenibles, amigable con el medio ambiente y para que las organizaciones sean más competitivas. Pavone (2012) menciona la bioeconomía como una oportunidad de implementar una economía global realmente sostenible sustentada en recursos biológicos, pero advierte que no involucra explotar los productos de la naturaleza, al contrario, de reconfigurarla, manipularla genéticamente e integrarla en el ciclo de producción del mercado.

Por otro lado, la economía biológica permite investigar el sistema socioeconómico junto al sistema biológico como un todo, así estudiar las interacciones no lineales entre sus componentes y no solo entre las características de los componentes individuales (Mohammadian, 2008). El concepto de bioeconomía se refiere a utilizar de forma más eficiente el valor económico latente en los procesos y productos biológicos. Esta ante la propuesta de un nuevo paradigma económico dictado por la bioeconomía que promueve relaciones económicas que sustituyan el uso de recursos no renovables por el uso de recursos biológicos de la naturaleza con un enfoque sostenible.

Trigo (2013) define uno de los senderos productivos de la bioeconomía la eficiencia en la cadena de valor que consiste en el análisis de la cadena de producción, para optimizar el proceso productivo, incluyendo actividades que reducen las pérdidas en cualquier nivel que se estén produciendo. Esto reduce la emisión de gases efecto invernadero, a través de mejoras en la eficiencia y apoya el propósito del sector bioenergético de sustituir al uso de combustibles fósiles y transformar la biomasa en bioproductos comerciables y energía.

8.2. Biorefinería

Biorefinería significa procesar biomasa de forma sostenible para obtener biocombustible, productos comercializables y energía a través de procesos y equipos para la transformación de biomasa (Gonzalez y Kafarov, 2011). Las biorefinerías se caracterizan por tener un enfoque global, integrador, que fomenta el uso de la biomasa como fuente de materia prima, para la producción sostenible de una serie de bienes comercializables, desde productos químicos, materiales y bioenergía, mediante el uso de los componentes de la biomasa. Las biorefinerías son estructuras productivas integradas para optimizar el proceso de procesamiento de la biomasa haciéndolo más eficiente y de esa forma minimizar los impactos ambientales que se originan, a partir de los mismos.

Gonzalez y Kafarov (2011) señalan que con el propósito de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y la dependencia de derivados del petróleo para suplir las demandas de energía de la sociedad se han producido los biocombustibles de primera generación, como el etanol, a partir de cultivos como la caña de azúcar derivando el biocombustible, a partir del azúcar usando técnicas como la fermentación. Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica (DOE, 2004), los productos de base biológica

o bioproductos son productos industriales o comerciales (que no son alimentos) que utilizan materias primas biológicas o materiales renovables derivados de la agricultura como las plantas y animales o de materiales forestales.

De acuerdo con Perlack *et al.* (2005) es necesario implementar incentivos económicos adecuados, mejorar las prácticas y tecnologías, emplear plantas de mayor rendimiento y equipos de cosecha más eficiente para producir de manera sostenible en cantidades significativas residuos de cultivos agrícolas y de los alimentos para convertirlos en bioproductos. Del mismo modo, se debe considerar que el valor de la biomasa tiene que evaluarse considerando el valor de obtención desde su lugar de extracción con respecto a los costos de transporte.

A través de la biotecnología industrial es posible la obtención de bioproductos difíciles de obtener mediante métodos químicos tradicionales; además de que los bioproductos de la biotecnología se presentan como alternativa a procesos químicos tradicionales, con ventajas medioambientales y económicas reduciendo el impacto, a través de procesos industriales eco-eficientes.

Actualmente los problemas ambientales, el incremento de la población, los efectos del cambio climático y la presión por el uso de más recursos naturales como agua, alimentos y energía están provocando que los ecosistemas sean explotados de forma insostenible, afectando la productividad agrícola, en este sentido (Zúniga, 2014) menciona que la bioeconomía en Latinoamérica y Europa fue representada por la producción de biocombustible principalmente. Además, aluden que hay un creciente consenso político y consolidación de una base científica sobre la alternativa conocida como la industria de la biomasa. Así mismo refieren que América Latina posee disponibilidad de recursos

naturales como tierras, biodiversidad y agua que le permiten preservar la calidad ambiental. Sin embargo, está presente el conflicto entre el uso de tierra con fines de producción de energéticos y su empleo para la producción de alimentos, lo que no sucede en Centro América por tener amplias áreas de terreno en desuso productivo.

Según Trigo (2011) América Latina cuenta con áreas agrícolas disponibles por encima del 50 % de tierras con potencial agrícola. Sin embargo, resalta que en los cultivos de caña de azúcar el potencial es muy bajo y en la mayoría de diagnósticos se muestra un pobre desempeño tecnológico, que puede ser identificado, como la restricción más importante para enfrentar la mejora al rendimiento del uso de estos recursos. En otro sentido, la eficiencia energética y las energías renovables son formas de optimización de los recursos naturales y pueden aportar a la bioeconomía para la optimización de los recursos energéticos.

8.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética está relacionada con la cantidad de productos que se obtienen de un proceso por unidad de energía y se definen como el conjunto de actividades encaminadas a optimizar el consumo de energía en términos unitarios, manteniendo el nivel de los servicios prestados (Ramirez, 2008). El uso de energías renovables es una opción para mitigar el camino climático a través de la reducción de gases de efecto invernadero dado el potencial de sustitución del uso de combustibles fósiles que tienen este tipo de fuentes de energías (Moreira, 2006). La energía renovable puede generar de forma segura la misma energía que los combustibles convencionales y puede hacerlo sin producir las emisiones de carbono o los residuos que contaminan el medio ambiente (Wangong y Daniel, 2010).

La forma tradicional de producción de energía es a través de la combustión de combustibles fósiles, genera gases efecto invernadero (GEI's) lo cual es un problema de contaminación ambiental que debemos mitigar actualmente. Una alternativa es el uso de fuentes renovables, aunque la tecnología para el aprovechamiento de estas fuentes se encuentra en desarrollo por lo que es común que se presenten problemas financieros en este tipo de proyectos para su implementación. Se deben buscar programas que ayuden a solventar estos problemas y lograr la ejecución de dichos proyectos que aprovechen el uso de fuentes renovables y reduzcan las emisiones de GEI's. El Programa de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y los certificados de carbono pueden ayudar a lograr transferencias potenciales ya que la demanda estimada de certificados de carbono en el 2010 fue de 250 Tg CO₂/año a un precio de US\$ 11/Mg CO₂ (Haïtes, 2004). De esta forma se puede sumar rentabilidad a proyectos que reduzcan las emisiones de GEI's mediante la venta de certificados de carbono.

8.4. Biomasa

Biomasa se refiere a todas las cosas vivas, particularmente al uso como fuente de combustible y de energía de los residuos producidos en la industria como bagazo de caña, estiércol de animales, mermas de alimentos, desechos de plantas de tratamiento de agua, residuos agrícolas, entre otros. Entre los residuos agrícolas se puede mencionar el pasto, desechos de cosecha y producción de maíz y/o caña de azúcar, cascaras de café, etc. Cada biomasa mencionada anteriormente requiere un pre-tratamiento para que su conversión sea posible.

La biomasa es un tipo de energía renovable que puede reemplazar el uso de combustibles fósiles como el carbón y la leña, esta principalmente

compuesta de carbono, oxígeno, hidrógeno y fracciones de otros minerales como potasio, fósforo, azufre, entre otros. Los componentes principales son normalmente conocidos como celulosa y hemicelulosa. Cuando la biomasa se quema, el carbono reacciona con el oxígeno produciendo dióxido de carbono, agua y calor. El agua y dióxido de carbono en la atmósfera más energía solar y algunos compuestos inorgánicos son absorbidos por las plantas, que los procesan y producen nueva biomasa. Esto implica que la combustión de biomasa posee una producción de CO₂ neutra. Actualmente, la contribución de la biomasa en la producción total de energía del mundo es aproximadamente del 12 %.

El principal cultivo de los ingenios azucareros es la caña de azúcar, que genera como residuo el bagazo de caña el cual se utiliza posteriormente para generar energía limpia, mediante su combustión en las calderas, ya que las emisiones de CO₂ generadas no se consideran como un incremento en la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera, ya que la cantidad de CO₂ emitido fue previamente abatido durante el crecimiento de la caña de azúcar. También brinda la posibilidad de usar fuentes alternativas a los combustibles fósiles.

8.5. Energía de biomasa

La tecnología predominante que se usa a nivel mundial para producir energía a partir del bagazo de caña es mediante el ciclo Rankine, que consiste en la combustión directa de la biomasa en una caldera para generar vapor sobrecalentado, el cual posteriormente se expande en una turbina, el calor de desecho de la turbina de vapor se recupera y se usa para cubrir otras necesidades energéticas dentro de la misma planta. Se puede tomar como referencia que el bagazo de caña tiene un poder calorífico de 8.0 kJ/gm, es

necesario tomar en cuenta la eficiencia térmica de la turbina utilizada así como la eficiencia de la caldera.

El contenido de humedad del bagazo varia, según la velocidad y eficiencia de la molienda, el promedio es del 48 al 50 %, pero en los procesos más modernos se obtienen resultados del 45 % e incluso del 40 % o menos, debido a que muelen a velocidades mucho más lentas. La humedad del bagazo que ingresa a las calderas debe monitorearse y controlarse pero se asume es menor, debido a la evaporación que tiene al permanecer en la pila de almacenamiento y también al efecto de secado que se logra con el uso de agua caliente en la maceración, con el objeto de elevar la extracción de sacarosa, la cual no se puede lograr con agua fría. El uso de agua caliente no solo asegura la obtención de jugo tibio sino que incrementa la temperatura del bagazo sobre la temperatura ambiente, lo cual tiene dos efectos beneficiosos: Secado parcial del bagazo, temperatura elevada del bagazo a la entrada del horno, lo cual significa incremento del valor calórico normal del bagazo.

La incidencia del proceso de secado de la biomasa (bagazo) en la generación de vapor radica en el uso de dicho vapor para procesos térmicos como evaporación de jugos, generación de electricidad y cogeneración. La eficiencia térmica es la consideración más importante en este tipo de procesos, donde se quema combustibles orgánicos, pues la eficiencia térmica de un equipo de combustión señala la cantidad de producción de vapor en función del consumo de combustible. En la valorización técnica de un equipo para combustión de bagazo (caldera) se analiza: la eficiencia del equipo (va desde 50 – 80 %), la temperatura del gas de salida (400 – 500 °F), el porcentaje de CO₂, el exceso de aire de la combustión (20 – 50 %), la humedad del combustible sólido bagazo (30 – 50% en base húmeda). Parte del combustible

utilizado en calderas de los ingenios azucareros es el bagazo que se obtiene en la molienda de caña diariamente en época de zafra.

El secado de cualquier material está supeditado a la eliminación de agua que contiene el mismo hasta límites adecuados, en el caso de las biomásas es igual y del bagazo también, pues un combustible con alta cantidad de humedad no puede tener las mismas características físicas que un material seco, particularmente su poder calorífico. Con el secado se logra bajar los valores de humedad del mismo y mejorar la producción de calor en la combustión de bagazo. El bagazo al tener una humedad promedio de 50 %, luego de la molienda puede ser secado hasta calores menores al 30 % que producen mejores condiciones térmicas de combustión y como consecuencia incremento en la eficiencia térmica de las calderas de bagazo.

8.6. Uso de biomasa e impacto de un ingenio azucarero

Es importante calcular las emisiones de CO₂ reducidas por el reemplazo de combustible fósil, ya que con este dato y considerando un valor promedio de USD \$ 11,00 por tonelada de CO₂ reducido se puede obtener la cantidad de ganancias mediante el MDL que pueden ser usadas para promover y desarrollar tecnología del aprovechamiento de uso de biomásas para generación de energía.

Por otro lado, la disposición final de los desechos orgánicos de un ingenio azucarero como las mermas de alimentación, desechos sólidos orgánicos de cualquier otra procedencia, entre otros. Puede ser su uso en un biodigestor que permita la captura de GEI's para emplearlos en generación de energía (Prasertsan y Sajjakulnukit, 2006). Actualmente gran cantidad de investigaciones en el campo de gasificación de la biomasa están siendo

desarrolladas con el propósito de disminuir el impacto ambiental y generado por la combustión de combustibles fósiles y la inminente crisis que se espera en los años próximos.

Las reservas energéticas estimadas en el mundo son aproximadamente de 200 años para el carbón, 50 años para el petróleo y menos de 100 años para el gas natural. Las leyes de control ambiental se han fortalecido en los últimos años y existe ahora un control riguroso en contra de emisiones contaminantes como son los precursores de lluvia ácida (NO_x , SO_x) y los gases causantes del efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y N_2O). Por todo esto, la biomasa se presenta como una excelente alternativa de producción energética para la actualidad y el futuro, desplazando los métodos de producción tradicionales.

8.7. Bosques energéticos

Las especies de formación de bosques energéticos deben caracterizarse por un rápido crecimiento, que permita rotaciones cortas, con alta producción de madera por árbol o unidad de área y con habilidad para producir rebrotes por lo menos durante tres rotaciones. La elección de especies está condicionada por el uso final que se le dará a la madera y las condiciones ecológicas (clima y suelo) del sitio de la plantación.

El árbol de eucalipto posee un alto valor calorífico y es una opción factible de desarrollar bosques energéticos para proyectos de cogeneración en ingenios azucareros de la costa sur, los ingenios utilizan en época de zafra (noviembre – mayo) bagazo de caña para generar y en época de no zafra utilizan otros combustibles como carbón y leña. Las principales características del eucalipto camaldulenses son su alto valor energético y su facultad para brotar

vigorosamente en cepa, es un árbol de crecimiento rápido y bajo mantenimiento ideal para plantaciones energéticas.

En términos generales el eucalipto es un árbol de climas secos, cálidos, con amplio rango de pluviosidad (entre 200 y 1 250 mm) y alturas (desde el nivel del mar hasta 1 200 metros), es muy tolerante en suelos pero no soporta la competencia de hierbas. Puede producir entre 90,000 y 400,000 semillas por kilo y también puede producirse por estacas de árboles jóvenes. La madera del eucalipto es pesada y dura lo que hace común que se utilice para construcciones, como postes y herramientas.

8.8. Bosque energético en la costa sur

La región elegida para este proyecto (costa sur, La Democracia, Escuintla) posee características climáticas favorables para desarrollar un bosque energético de eucalipto. Dentro de la finca Buganvilia se seleccionó un área para sembrar los arboles de eucalipto haciendo un estudio físico del área para planificar la siembra y desarrollar el cultivo. Se recomienda que los sitios a seleccionar sean uniformes en cuanto a sus condiciones agroclimáticas para evitar diferencias en el comportamiento de los materiales.

Todos los trabajos que conlleva la plantación como limpieza previa del área, preparación, plantación y abonado pueden resultar poco efectivos si no se realizan periódicamente trabajos de limpieza. Estas tareas de mantenimiento deben ser planificadas adecuadamente ya que la plantación debe ser limpiada las veces que sea necesario hasta que los eucaliptos dominen el matorral. Para garantizar la calidad del terreno se necesita garantizar las operaciones de limpieza, también cabe mencionar que la preparación del terreno para la plantación facilita la proliferación posterior del matorral. La razón principal de las

limpiezas de mantenimiento en el área es ayudar al eucalipto a competir por el espacio físico del suelo que estará ocupado también por las raíces de otras plantas.

Las malezas están preparadas para aprovechar las condiciones que se presentan, luego de finalizar los trabajos de plantación, estas compiten ventajosamente por la luz y los nutrientes del suelo con las plantas jóvenes de eucalipto. La limpieza de la plantación es más eficaz y económica cuanto antes se realice. En ocasiones puede ser necesario efectuarla justo al terminar la plantación, esto depende de la época de plantación y el desarrollo de la competencia.

La limpieza manual realizada con moto desbrozadoras portátiles es costosa y poco eficaz, sin embargo, es el único trabajo posible en áreas con pendientes o en épocas muy húmedas. Es útil también el uso de tractor con desbrozadora de cadenas o martillos entre calles pero debe complementarse con limpieza manual al lado de las plantas en las áreas donde no puede acceder el tractor, si no se elimina totalmente el matorral sin desbrozar puede beneficiarse más de la limpieza efectuada que los eucaliptos. Abajo se describen los pasos necesarios para la preparación y limpieza de la tierra.

La fertilización debe realizarse inmediatamente después de la plantación y sobre el terreno limpio y es esencial para mejorar su desarrollo y crecimiento en los primeros años. Los efectos del buen cuidado y la fertilización durante los primeros meses se traducen en un menor tiempo de cosecha, reducción de la edad de corte y más madera al final de la cosecha.

La finalidad principal de la fertilización es ayudar a la planta a desarrollarse rápidamente en los primeros dos años, tanto en su parte aérea

como radicular, lo que le permitirá aprovechar la preparación del suelo y competir ventajosamente por los nutrientes del mismo con cualquier matorral que brote posteriormente. Fertilizar no es una operación complicada, lo importante es seleccionar el abono correcto y obrar de la manera adecuada. Generalmente es suficiente con un abono sólido granulado de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), como el 8:24:16 (N8-P24-K16).

El nitrógeno es fundamental para el crecimiento de la planta, pero en exceso es muy perjudicial, se recomienda evitar los abonos ricos en nitrógeno. Debe fertilizarse en el momento de la plantación o bien realizarse dentro de los 30 días después de la plantación. No deben utilizarse cantidades superiores a 100 gramos por planta evitando siempre que el abono toque directamente la raíz. No se debe abonar sobre la hierba o maleza viva, es imprescindible mantener completamente limpio un diámetro de unos 70 cm. alrededor de la planta.

8.9. Plantas de eucalipto

La manipulación de la planta a lo largo del período de producción va a incidir sobre su calidad final, debe procurarse minimizar la manipulación y sembrar en contenedores con celdas individuales. El número de semillas por alvéolo depende de la capacidad germinativa de la planta, pero debe mantenerse como objetivo una planta por envase, en caso germinara más de una semilla se debe dejar una única plántula, la más vigorosa, centrada en el alvéolo. La selección de la planta se realizará cuando empiecen a tener el primer par de hojas, pues de lo contrario, las raíces pueden enredarse y se puede provocar daños a la planta que permanece. La plántula eliminada nunca debe ser trasplantada a otro alvéolo, ya que los daños repercuten en la estructura de la raíz con efectos muy negativos en la reforestación.

Respecto a las características de la planta de eucalipto ideal, el tamaño de la planta debe estar entre 15 y 20 cm. de altura al momento de la siembra en el terreno, las raíces no deben presentar enrollamientos ni deformaciones especialmente en la base del cepellón, y el sistema radicular del cepellón no debe ser excesivamente denso ni amarillento. La disposición de hojas en el tallo no debe ser menos de unos 2 cm. La presencia de muchos pares de hojas color rojizo/marrón y muy juntos unos de otros es síntoma de que la planta está muy envejecida y excesivamente dura. La planta debe presentar una sola guía principal no muy tierna para que no sea muy sensible a daños físicos en el transporte y manipulación como de tipo fitosanitarios. El estado fitosanitario de la planta debe ser controlado de forma rigurosa desechándose todas las plantas con daños en tallo, raíces o inserciones de las hojas al tallo ya sea por hongos o cualquier agente patógeno, en cualquier caso cada planta debe ser revisada y tratada preventivamente.

El eucalipto es una especie con períodos cortos de producción en vivero, la planta no debe salir demasiado débil o tierna ni excesivamente endurecida. El período de producción varía entre 3 y 5 meses dependiendo de la especie. Una manipulación errónea o deficiente puede resultar en pérdida de calidad de la planta adulta por lo que debe tratarse con cuidado hasta la siembra.

8.10. Suelo

Respecto al tipo de suelo el eucalipto no resulta exigente, es capaz de crecer en sustratos pobres y ácidos. Los mejores crecimientos se observan sobre suelos arcillosos, silíceos, sueltos y profundos, con una acidez moderada o neutra (pH entre 5 y 7). Los suelos forestales, debido a la pluviosidad y al tipo de rocas suelen ser más bien ácidos. El eucalipto no se desarrolla bien en suelos excesivamente calcáreos, muy alcalinos o en suelos encharcados o mal

drenados. La profundidad del suelo es otro factor importante, observándose mayores crecimientos cuanto mayor es la profundidad, no obstante, debido a su vigor y plasticidad es capaz de crecer satisfactoriamente en suelos escasos o poco profundos siempre que se realicen las labores adecuadas.

Para analizar la profundidad y composición de los suelos se realizan zanjas que permiten identificar el perfil del suelo.

8.11. Plagas

Una de las ventajas de los cultivos de eucalipto es la escasa presencia de enfermedades y plagas que afecten su productividad, existen algunas que cabe mencionar para atajarlas y evitar que se conviertan en un problema como el goníptero y algunas enfermedades provocadas por hongos. La Phoracanta o perforador de eucalipto no está presente en la costa sur de Guatemala, debido a las características climatológicas. El goníptero (*Gonipterus suctellatus* Gyll) es un insecto coleóptero originario de Australia, su aparición en distintos países ha seguido a las plantaciones de eucalipto, a lo largo de su vida el insecto cambia de aspecto y de hábitos, tras la salida del huevo, la larva con aspecto de oruga, es blanca y de aproximadamente 1 cm. de longitud. Aparece en las hojas adultas alimentándose de ellas y formando surcos en el limbo. Luego de esa fase se entierra en el suelo y se transforma en adulto, en ese estado su aspecto es el de un pequeño escarabajo adherido a los bordes de las hojas, mientras las come va recorriendo su perímetro dándole así un aspecto de festoneadura.

En 1926 fue descubierto un insecto parásito de los huevos del goníptero que permitía el control de la plaga. Este insecto, la avispa *Anaphes nitens*, destruye las larvas del goníptero al alimentarse de ellas durante su desarrollo

por lo que se ha utilizado como control biológico el desarrollo de la avista *Anaphes* para el control de gonipteros.

La mayoría de hongos que viven sobre las plantas no provocan graves daños. Entre los hongos que afectan al eucalipto el más conocido es *Botrytis cinérea*, provoca la enfermedad denominada el mal azul caracterizada por la aparición de una mancha verde-azulada en el tallo, frecuentemente acompañada por hojas secas en zonas próximas. Ataca a plantas jóvenes que aún no han cambiado la hoja juvenil y a rebrotes. Tras la aparición de los daños la planta muere desde la zona de infección hasta el ápice perdiéndose así esa sección del crecimiento. En ocasiones, la planta responde aislando al hongo con tejido muerto, formando una cicatriz y pudiendo rebrotar por debajo de la zona afectada. En general, en las enfermedades causadas por hongos es muy importante mantener a la planta ventilada eliminando cualquier maleza que lo dificulte. En caso de aparecer la botritis, se recomienda cortar por la parte inferior al daño, aunque si estuviese muy afectada es mejor arrancar la planta y sustituirla por otra nueva teniendo cuidado de no tocar otra planta después para no infectarla, existen también tratamientos fungicidas que pueden ser aplicados si la enfermedad está localizada en pequeños rodales.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO DE INFORME

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE PROYECTOS DE BOSQUES ENERGÉTICOS

- 1.1. Uso de carbón y leña para generar energía en un ingenio azucarero
 - 1.1.1. Costos asociados al uso de carbón y leña
 - 1.1.2. Impacto ambiental y social derivado del uso de carbón y leña
 - 1.1.3. Cuantificación del CO₂ generado por TM
- 1.2. Uso de biomasa alternativas para generar energía en un ingenio azucarero
 - 1.2.1. Fuentes de biomasa en un ingenio azucarero
 - 1.2.2. Uso de un bosque energético de eucalipto
- 1.3. Costos asociados al uso de un bosque energético
- 1.4. Bosques energéticos en Guatemala
 - 1.4.1. Biomasa de eucalipto
 - 1.4.2. Potencial calorífico de biomasa de eucalipto

- 1.4.3. Producción potencial de plántulas de eucalipto en un vivero
 - 1.5. Especies de eucalipto potenciales para su uso en un bosque energético
 - 1.6. Condiciones ambientales a tomar en cuenta para un bosque energético de eucalipto en la costa sur
 - 1.7. Oferta potencial de biomasa de eucalipto
 - 1.8. Variables asociadas a demanda de biomasa de una caldera acuotubular
 - 1.8.1. Biomasa de eucalipto como combustible en una caldera acuotubular
 - 1.9. Ubicación del área para el bosque energético
 - 1.10. Efectos ambientales de plantaciones de eucalipto
 - 1.11. Uso energético del eucalipto
 - 1.11.1. Especies utilizadas con fines energéticos
 - 1.11.2. Especies potenciales para uso en la costa sur de Guatemala
 - 1.12. Condiciones climáticas
 - 1.12.1. Los suelos y su relación con las plantaciones de eucalipto
 - 1.12.2. Forestación de eucalipto en la costa sur
 - 1.12.3. El ambiente y su relación con las plantaciones de eucalipto
 - 1.12.4. Biodiversidad y su relación con las plantaciones de eucalipto
2. CAPÍTULO II: ASPECTOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES
- 2.1. Viabilidad financiera del uso de bosques energéticos de eucalipto en un ingenio azucarero de la costa sur

- 2.1.1. Indicadores financieros
- 2.1.2. Inversión inicial
- 2.1.3. Mantenimiento del bosque energético
- 2.1.4. Temas legales y ambientales
- 2.1.5. Ahorros contra el uso de carbón y leña como combustibles
- 2.2. Huella de carbono
 - 2.2.1. Gases de efecto invernadero
 - 2.2.1.1. Reducción de GEI
 - 2.2.1.2. Fijación de CO₂
 - 2.2.2. Mercado de carbono
 - 2.2.2.1. Bonos de carbono
 - 2.2.3. Impacto socioeconómico y ambiental de un bosque energético para un ingenio azucarero
- 3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA
 - 3.1. Variables e indicadores
 - 3.2. Tipo de estudio
 - 3.2.1. Investigación documental (fase 1)
 - 3.2.2. Recolección de datos (fase 2)
 - 3.2.3. Análisis de información y generación de productos (fase 3)
 - 3.2.4. Análisis económico
 - 3.2.5. Análisis ambiental
- 4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN
- 5. CRONOGRAMA

6. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

6.1. Factibilidad de estudio

6.2. Recurso humano

6.3. Recurso físico

6.4. Recurso técnico

6.5 Recurso financiero

7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

10. METODOLOGÍA

La metodología adoptada se seleccionó para alcanzar los objetivos establecidos para este proyecto, se diseñó en función de revisiones bibliográficas, investigaciones previamente realizadas, consultas y entrevistas con profesionales en el campo de desarrollo de bosques energéticos. Se solicitó información y se recopilaron datos para procesarlos y analizarlos. Se realizó énfasis en los bosques energéticos de eucalipto, su potencial calorífico y la cantidad de toneladas métricas que se pueden obtener al año para la viabilidad del proyecto. Así también se analizará y discutirá la reducción de emisiones de GEI, la determinación de bonos de carbono asociada a la implementación del proyecto y los beneficios de la implementación de bosques energéticos en los ingenios azucareros de Guatemala.

En la revisión bibliográfica se seleccionaron temas referentes a bosques energéticos y las gestiones para su implementación, desarrollo, mantenimiento y los beneficios ambientales y financieros asociados a su uso en un ingenio azucarero.

Figura 6. **Metodología esquemática**



Fuente: elaboración propia.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

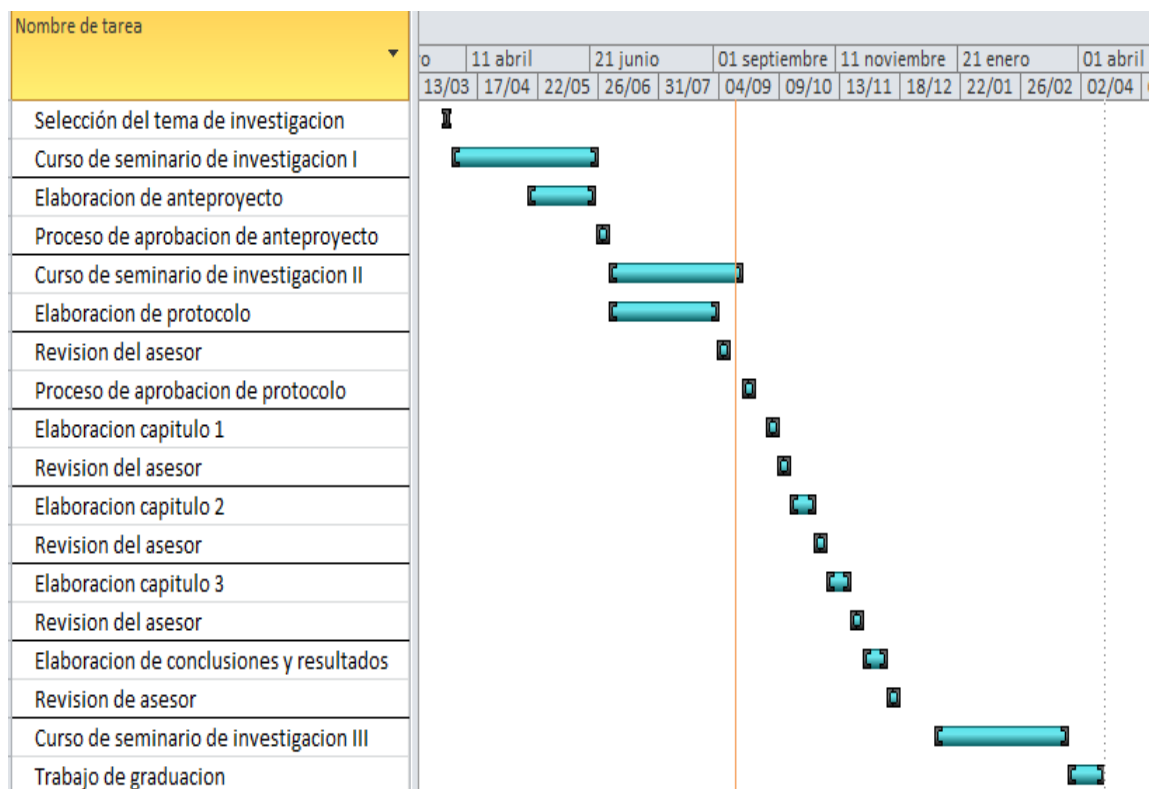
Con la finalidad de alcanzar los objetivos de esta investigación es necesario utilizar métodos teóricos, estadísticos e indicadores financieros. Se ha utilizado como referencia para los métodos teóricos documentos de tesis, artículos científicos, trabajos de graduación, normas y estándares internacionales que respaldan toda la información, definiciones, teorías y resultados citados. Para cual es la ideal de las 3 especies de eucalipto potenciales a elegir para el bosque energético se utilizaran comparaciones múltiples de Tukey y Duncan para determinar con base a las variables poder calorífico, toneladas métricas de biomasa obtenidas por hectárea, condiciones climáticas de la región, y algunas otras variables.

Para el análisis de los datos cuantitativos, se utilizarán métodos de estadística descriptiva. Esto para determinar la especie ideal de eucalipto a utilizar en los bosques energéticos con base a los datos recabados en previos estudios realizados, y datos referentes a las características de la región de la costa sur. Se realizarán análisis de los indicadores financieros asociados a la implementación de un bosque energético, su potencial energético, la cantidad de toneladas métricas que puede llegar a producir al año y las variables asociadas a la demanda de biomasa en una caldera acuotubular. Se realizará la proyección de oferta de biomasa del bosque energético a 5, 10 y 20 años. Se desarrollarán gráficas para observar las posibles variaciones de crecimiento de los eucaliptos, con esto se determinará la cantidad de biomasa que el bosque puede ofrecerle al ingenio anualmente, a partir del 5to año de su implementación. Se analizará la huella de carbono del ingenio actualmente y se comparará con la huella de carbono, luego de la implementación del proyecto.

12. CRONOGRAMA

Para monitorear el buen seguimiento de la investigación se integraron las actividades tomando en cuenta el tiempo adecuado para llevarlas a cabo debidamente.

Figura 7. Diagrama de Gantt



Fuente: elaboración propia.

13. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

13.1. Recurso humano

Un estudiante de la maestría en Energía y Ambiente con cierre de pensum en Ingeniería Industrial será el encargado de realizar los trabajos necesarios para esta investigación contando con el apoyo de profesionales con experiencia en implementación de bosques energéticos de eucalipto.

También se cuenta con el apoyo de un profesional con título de maestría y amplia experiencia en temas de energía y ambiente, que ejecutará el papel de asesor de trabajo de investigación. Adicional a esto, también se utilizará el apoyo de profesionales en el tema de bosques energéticos en Guatemala, a través de entrevistas y solicitud de información.

13.2. Recurso físico

Será necesario contar con un área de trabajo para la recopilación de información y datos, ejecución de cálculos y redacción del informe final. Para esto se cuenta con un inmueble apto sin costo alguno para el proyecto. Se utilizará también información histórica referente a costos de carbón y leña y sus respectivos fletes en el ingenio azucarero e información disponible referente a bosques energéticos en Guatemala.

13.3. Recurso técnico

Como recurso tecnológico se utilizará una computadora portátil, un teléfono celular con grabadora de voz, cámara fotográfica y de video. Estos recursos son propiedad del ingenio, los cuales están asignados al investigador y pueden usarse sin problema para desarrollar la investigación. Se utilizarán también hojas de papel bond blanco de 80 gramos tamaño carta, un bolígrafo, una memoria USB, un borrador, un lápiz, impresión de documentos, entre otros insumos de oficina. Utilización de bibliografía relacionada con desarrollo de bosques energéticos disponible en internet y brindada por expertos profesionales.

13.4. Recurso financiero

Los recursos económicos a utilizar se describen en la siguiente tabla:

Tabla II. Recursos financieros

Unidad de medida	Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total
UN	300	Hojas de papel bond blanco, 80 gramos, tamaño carta	Q 0,10	Q 30,00
UN	1	Bolígrafo	Q 1,00	Q 1,00
UN	1	Borrador	Q 1,00	Q 1,00
UN	1	Lápiz	Q 1,00	Q 1,00
UN	1	Memoria USB 8 GB	Q 40,00	Q 40,00
UN	6	Transporte (gasolina)	Q 100,00	Q 600,00
UN	200	Impresión de documentos	Q 1,00	Q 200,00
		Total		Q 873,00
		10 % por imprevistos		Q 87,30
		TOTAL		Q 960,30

Fuente: elaboración propia.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Flores, N. (s.f.) Artículo: Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala.
2. APLICASOLARS. Energía Biomasa [en línea]. <
<http://www.aplicasolars.com/energia-biomasa.html>> [Consulta: 22 de abril 2016].
3. Duarte, J. (2016) Artículo científico: Energía potencial de la biomasa de un ingenio azucarero en Guatemala.
4. Broek, R. y Wijk, A. (1997). La generación de electricidad a partir de eucalipto y bagazo en ingenios azucareros en Nicaragua: costes, aspectos macroeconómicos y medioambientales
5. Santillán, R. (s.f.). Producción y aprovechamiento energético de biomasa: influencia del secado del bagazo en la eficiencia térmica de generadores de vapor
6. De León, J. (2010). Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto
7. España, L. (s.f.). Artículo científico: Bosques energéticos y su posibilidad en Guatemala
8. Colección FAO: Montes (1981). El eucalipto en la repoblación forestal

9. Crosara, A. (2001). Identificación de indicadores de sustentabilidad en plantaciones de *Eucalyptus Globulus* en el litoral del país
10. Norverto, C. (s.f.). La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina
11. Lobos, G., Vallejos, O., Caroca, C., Marchant, C. (2005). Artículo: El mercado de los bonos de carbono (“bonos verdes”): Una Revisión
12. Seppänen, P. (2003). Artículo: Costo de la captura de carbono en plantaciones de eucalipto en el trópico
13. Pallais, M. (2002). Estudio de factibilidad para producir energía eléctrica a partir de *Eucalyptus camaldulensis* en tiempo de no-zafra para Nicaragua Sugar Estates Limited
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750101>
14. Mogas, J., Riera, P. (2005). El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación.
15. Sandino, A. (1997). Modelos para la estimación del volumen de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. en plantaciones puras en el Ingenio San Antonio, Chinandega.