



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, MEDIANTE EL
TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL VACUNO PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA
ENERGÉTICA DE LEÑA EN ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**

Georges Varadi Clark

Asesorado por el MSc. Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, MEDIANTE EL
TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL VACUNO PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA
ENERGÉTICA DE LEÑA EN ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GEORGES VARADI CLARK

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDGAR LEONEL ORTIZ CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

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. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Héctor Alexander Juárez Reyes
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL VACUNO PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LEÑA EN ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 2 de mayo de 2017.

Georges Varadi Clark



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
RECIBIDO
11 MAY 2017
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
18.20

ADSE-MEAPP-009-2017

Guatemala, 04 de abril de 2017.

Director
Roberto Guzmán Ortiz
Escuela de Ingeniería Mecánica
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 **Georges Varadi Clark** carné número **9312697**, 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,

Edgar Leonel Ortiz Castillo
"Id y Enseñad a Todos"
Edgar Leonel Ortiz Castillo, MSc.
Ingeniero Civil
Colegiado No. 3525
MSc. Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo
Asesor (a)

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

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

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



Cc: archivo
/la



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

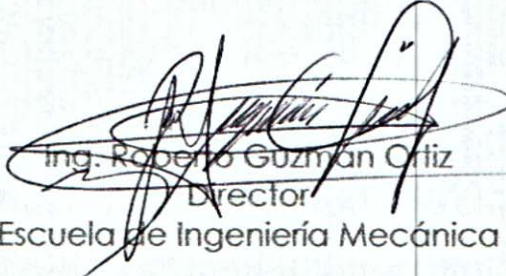
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.182.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación de la Coordinadora del Área de Gestión y Servicios de la Escuela de Estudios de Postgrado, modalidad Pregrado-Postgrado, del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL VACUNO PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LEÑA EN ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ** del estudiante **Georges Varadi Clark**, CUI **2817-55086-1801**, Registro Académico No. **9312697** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzman Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, junio de 2017

/oej

Universidad de San Carlos
De Guatemala

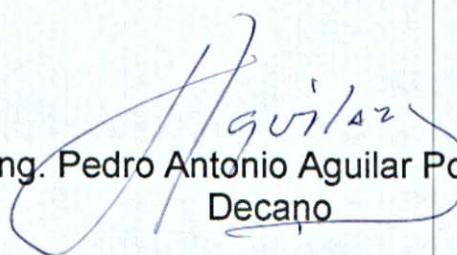


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.305.2017

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, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL VACUNO PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LEÑA EN ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Georges Varadi Clark**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, julio de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser Amor, ser parte de mí y guiar mi camino
Padres	Tibor y María, por ser un gran ejemplo
Esposa	Cucu, por ser el amor de mi vida y siempre apoyarme
Hijos	Nicole y Diego, por ser mi luz y el motor de mi vida
Hermana	Christine, por tu apoyo y comprensión.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser mi *alma mater*, porque gracias a ella pude realizarme como profesional.

Facultad de Ingeniería

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

Mis compañeros de estudios

Débora Calderón, Eduardo Motta, Miguel Letrán, Ulises González, Joaquín Duarte, Eddy Cabrera, Linda Solís y Roger Rodríguez.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
1. INTRODUCCIÓN	V
2. ANTECEDENTES	1
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3.1. Descripción del problema	3
3.1.1. Consumo de leña en Sacatepéquez.....	3
3.2. Formulación del problema	6
3.2.1. Preguntas de investigación.....	8
3.3. Delimitación del problema	9
3.3.1. Delimitación sectorial.....	9
3.3.2. Delimitación geográfica	9
3.3.3. Delimitación Tecnológica.....	9
4. MATRIZ DE COHERENCIA	11
5. JUSTIFICACIÓN	13
6. OBJETIVOS	15
7. NECESIDAD A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
8. MARCO TEÓRICO.....	19
8.1. Aspectos físicos del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.....	19
8.1.1. Extensión territorial	19
8.1.2. Ubicación geográfica	19
8.1.3. Altitud.....	19
8.1.4. Población	20
8.2. Energías renovables.....	20
8.2.1. Fuentes de biomasa	20

8.3.	Biogás	21
8.3.1.	Proceso de formación de biogás	22
8.3.2.	Fermentación anaeróbica.....	23
8.3.3.	Factores de control para la producción de biogás...	24
8.4.	Biodigestor	28
8.4.1.	Tipos de biodigestor	28
8.4.2.	Sistema discontinuo	29
8.4.3.	Sistemas semi-continuos.....	30
8.4.4.	Sistema continuo.....	30
8.5.	Diseño de los biodigestores	30
9.	ÍNDICE PROPUESTO	33
10.	METODOLOGÍA	35
10.1.	Tipo de estudio.....	35
10.1.1.	Fase I (Recopilación bibliográfica)	35
10.1.2.	Fase II (Experimental)	35
10.2.	Alcance y resultados esperados	36
10.3.	Variables e indicadores	36
11.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	39
12.	CRONOGRAMA	41
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	43
14.	REFERENCIAS	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Consumo por tipo energético.....	4
2.	Árbol, problemas y causas, efectos.....	10
3.	Necesidades a cubrir y esquema de solución.....	17
4.	Etapas de la fermentación.....	24
5.	Biodigestor semicontinuo.....	29

TABLAS

I.	Fuentes de procedencia de la leña consumida en Guatemala.....	5
II.	Matriz de coherencia.....	11
III.	Presupuesto.....	39

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto, *Diseño de investigación para la producción de biogás mediante el tratamiento de estiércol vacuno para la reducción de la demanda energética de la leña en Antigua Guatemala, Sacatepéquez* pertenece a la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; la cual consciente de la problemática energética nacional del uso no sostenible de leña, ha integrado a la línea de investigación de Eficiencia Energética del Programa de Maestría en Energía y Ambiente, la “Gestión y Uso Eficiente de la Leña en Guatemala”, con el objeto de aportar en la investigación, análisis y generación de propuestas que contribuyan al desarrollo energético sostenible del país.

Como primer punto, se indican los impactos ambientales generados por la demanda energética de la leña y de los efectos negativos de los gases emitidos por los vacunos, debido a la producción de gases de efecto invernadero. Se analizan aspectos generales a la búsqueda de métodos de generación de biogás, por medio de un sistema alternativo para la generación de biogás para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la misma y no depender de la leña.

Posteriormente, se investiga la generación de metano, con la finalidad de utilizarlo para la cocción de alimentos o generación de electricidad, mediante un análisis que revela sus beneficios y la facilidad de producirlo. Se indica cómo diseñar un biodigestor para producir metano, con el propósito de recurrir al método más adecuado para su generación, dependiendo de los recursos económicos disponibles y del entorno, culminando con un análisis de factibilidad

que reúne toda la información para establecer un diseño definido para la generación de metano con el estiércol vacuno y no depender de la leña como recurso energético primario.

La leña fue la primera fuente de energía para el ser humano y la más importante durante la mayor parte de su historia. En Guatemala es la principal fuente energética. El alto consumo de la leña se debe a que la mayor parte de la población vive en el área rural, siendo la mayoría de escasos recursos económicos. En el último balance energético, refleja que el total de la energía consumida en el país es la leña que representa el 56,84 %, los derivados del petróleo el 33,66 % y la electricidad el 9,5 %. El mayor consumo energético es el residencial que representa un total de 61,8 %; esto debido al consumo de la leña para la cocción de los alimentos, informe elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2012). Este fenómeno produce la tala descontrolada de los pocos bosques existentes en la región; no solo preocupa la deforestación, sino que también es preocupante los daños que el uso de la leña provoca a la salud de quienes dependen de ella como única fuente de energía calorífica, principalmente las amas de casa y los niños que son quienes están más expuestos a los gases generados por la quema de la misma, los cuales, a su vez, también contribuyen con el calentamiento global.

Es prioritaria la búsqueda de alternativas que reduzcan, hagan más eficiente, o reemplacen el consumo de leña como principal fuente de energía; por esta razón, la Maestría en Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala se ha enfocado en la línea de investigación, “Gestión y Uso Eficiente de la Leña en Guatemala”

Un análisis de los sistemas energéticos basados en el biogás es

complejo, dado que para su análisis se hace necesaria la integración de multitud de fuentes de información procedentes de muy diversos ámbitos: el sector forestal, el energético, el industrial, el ambiental, así como la sociedad en su conjunto, ya que todos los actores implicados, sin excepción, tienen interferencias sobre los mismos. La oportunidad de generar biogás para el uso de energía por el sector residencial, comercial e industrial, específicamente con la implementación de biodigestores, tiene un gran potencial, ya que utiliza diferentes deshechos o biomásas y evita la contaminación al medio ambiente.

2. ANTECEDENTES

El aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre y el alto consumo de leña como recurso energético primario, es una orientación que obliga a buscar otros tipos de energías renovables. El biogás es una de las opciones más versátiles, ya que puede ser utilizado para cocinar los alimentos, generar calor o electricidad.

En el año 2009, la Universidad Zamorano efectuó un estudio de factibilidad para un programa nacional de biogás en Honduras por medio de estiércol de ganado, dio como resultado que el biogás y el biodigestor constituyen una alternativa que está siendo bien recibida para cocinar en el área rural y está siendo adoptada gradualmente en Honduras; pero la falta de suficiente asistencia técnica, monitoreo y seguimiento de los proyectos, no ha permitido un avance importante con respecto al número de unidades diseminadas.

Se han realizado estudios preliminares de la generación de biogás, comenzando de la digestión anaeróbica del mucílago de café, empleando lodo de estiércol de cerdo como inóculo, realizado en la Universidad de Ingeniería Química de Bucaramanga, Colombia, en el año 2012. La investigación muestra que es viable la producción de metano a partir del mucílago de café. Con lo cual es posible solucionar el problema de acumulación y contaminación debida a los grandes volúmenes que se generan de este residuo, durante el beneficio de café húmedo. (Quintero, Rondon, 2012).

Guatemala es un país que posee una gran cantidad de recursos naturales, la mayoría son renovables y todos con un gran potencial energético. El recurso más utilizado en nuestro país es la leña, esto se da por situaciones culturales,

económicas y geográficas. Gran parte de la población es de escasos recursos económicos no tiene acceso a las diferentes alternativas energéticas, como la energía eléctrica o el gas. La leña es utilizada para cocinar, calentar los hogares y otras actividades. También son utilizadas otras fuentes como la biomasa, la cogeneración con bagazo de caña, el carbón y la biodigestión, entre otros. Además el agotamiento de los combustibles fósiles ha aumentado el interés de producción de biocombustibles a partir de fuentes renovables.

El uso de biomasa como fuente de energía representa un equilibrado ciclo cerrado del carbono con relación al dióxido de carbono de la atmósfera. En varios países de Latinoamérica se han desarrollado investigaciones demostrando que resulta factible realizar proyectos de biogás, ya que son fáciles de construir en comunidades rurales que no tienen acceso a otras fuentes de energía y además no requieren una gran inversión en infraestructura. (Lokey, 2009).

Los científicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) están desarrollando un método para generar biogás a partir de aguas residuales para producir energía alternativa, en la cual se reutiliza el agua residual de los hogares e industria para que, en vez de ir a los canales de aguas negras, sirva como materia prima para generar energía alternativa en el proceso de su tratamiento.

Los rumiantes poseen cuatro estómagos donde residen bacterias que se ocupan de degradar los alimentos fibrosos que ingresan al complejo aparato digestivo. En este proceso se libera gas metano, el cual es expulsado a la atmósfera en grandes cantidades, entre 3 a 4 litros de metano por día. La digestión y defecación del bovino contribuye aproximadamente al 18 % del calentamiento global

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Descripción del problema

3.1.1 Consumo de leña en Sacatepéquez

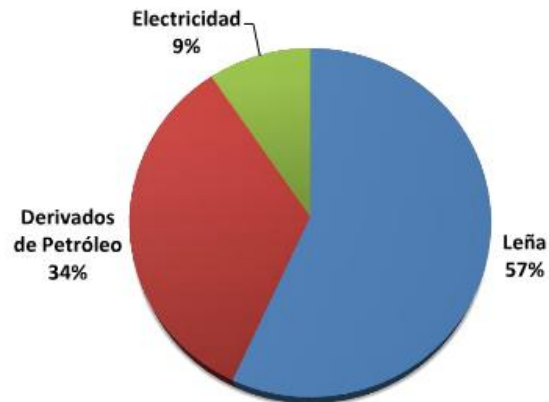
El consumo de la leña en el año 2012 muestra que el 70 % de la población consume un total de 16 millones de toneladas anualmente en el territorio de Guatemala, el balance nacional de la oferta y demanda del consumo de leña tiene un déficit anual de 5 650 623 toneladas y no es sostenible.

En Guatemala la principal fuente energética de mayor demanda en el país es la leña. El alto consumo de leña se debe a que la mayor parte de la población vive en el área rural, siendo la mayoría de escasos recursos económicos, lo que les impide tener acceso y disponibilidad a otras fuentes energéticas, como la energía eléctrica o el gas. Además existe una tradición cultural y social en la cocción de los alimentos con los procedimientos y el sabor final, por ello la leña es utilizada como combustible en forma ineficiente con el método de tres piedras, el cual desaprovecha un gran porcentaje de la energía consumida.

De acuerdo a un estudio realizado por CEPAL (2012), cerca de 2,1 millones de hogares en Guatemala, consumen leña para cocinar, los cuales en su mayoría están en las áreas donde no se tiene acceso a la electricidad que, por lo general, es en los municipios más pobres del país.

La gráfica 1 representa la matriz energética de Guatemala en el año 2012.

Figura 1. **Consumo por tipo energético, año 2012**



Fuente: Dirección General de Energía. Ministerio de Energía y Minas. 2012.

El departamento de Sacatepéquez enfrenta la creciente pérdida de su cobertura vegetal por la deforestación. La población no utiliza prácticas adecuadas de conservación de suelos. Las condiciones climáticas del municipio favorecen el cultivo del café y otras hortalizas, pero las causas de la deforestación y degradación de los bosques es la tala de árboles descontrolada y la degradación de la tierra, generada por pobreza extrema, prácticas tradicionales de roza, tumba y quema, expansión de áreas de cultivos. El INAB e instituciones que integran la mesa nacional contra la tala ilegal, hacen esfuerzos para recuperar las áreas boscosas del país mediante los incentivos forestales.

El departamento de Sacatepéquez presenta un consumo promedio *per cápita* de leña en el sector urbano y rural de Guatemala de 1,10 toneladas, y una demanda de 94 786,02 toneladas en el área urbana y de 556 626,30 toneladas en el área rural, haciendo un total de 651 412,32 toneladas.

Otro grave problema es el estiércol vacuno generado, esto provoca impactos ambientales negativos, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales. Se considera que la industria vacuna tiene gran responsabilidad en el calentamiento global. Además, el escurrimiento de estiércol aumenta los niveles de nitrógeno y fosforo en las vías fluviales, causando explosiones de crecimientos de algas que puedan afectar a los peces y las plantas, incluso hasta el punto de crear zonas acuáticas muertas. El estiércol vacuno es el principal factor de óxido nitroso atmosférico, uno de los principales gases de efecto invernadero.

Tabla I. **Fuentes de procedencia de la leña consumida en Guatemala**

Procedencia	Porcentaje
Recolección hogares en bosques naturales	49 %
Silvicultura	44 %
Residuos industria	4 %
Café	2 %
Construcción	1 %

Fuente: IARNA/URL-BANGUAT 2009. *Cuenta integrada de bosques.*

3.2 Formulación del problema

Antigua Guatemala, perteneciente al departamento de Sacatepéquez, Guatemala, es un municipio en desarrollo, sin embargo la población aún conserva costumbres que no son beneficiosas para el medio ambiente.

La leña, como fuente de energía para la cocción de alimentos y para la calefacción en los hogares, ha sido usada desde hace mucho tiempo. Su uso es preocupante debido a los malos usos del recurso bosque, ya que se talan árboles a una velocidad mucho mayor de su regeneración, esto se le suman las escasas alternativas de energía a las que tienen acceso las comunidades rurales, así como sus limitaciones económicas para poder sustentar una alternativa que no dañe el ambiente y que no implique deforestar.

Esta práctica, además de ser dañina para el ambiente, también afecta la salud de las personas, debido a que la quema de leña produce humo que contiene partículas, las cuales al ser inhaladas por las personas continuamente, provocan y son una de las principales causas de enfermedades respiratorias. Se estima que entre el 60 y 70 % de los hogares donde se utiliza leña para la cocción de alimentos, no cuenta con una chimenea adecuada para la extracción de humo y que entre un 5 y 10 % de estas familias, duerme en el mismo lugar donde cocinan, lo que aumenta en un 31 % el riesgo de contraer enfermedades respiratorias (Rosales , 2013).

De acuerdo a las estadísticas de salud (INE, 2014), en el departamento de Suchitepéquez se registraron 1 691 defunciones causadas por infecciones agudas en las vías respiratorias; además, en la consulta externa de los centros médicos, se atendió a 6 329 personas que presentaban infecciones en las vías

respiratorias, mientras que en la consulta interna se atendió a 3 776 personas con el mismo padecimiento.

El consumo de leña en el departamento de Sacatepéquez, como fuente principal de energía, se da principalmente en las zonas rurales donde las personas no cuentan con los recursos económicos suficientes como para optar al uso de otra fuente de energía, como por ejemplo estufas a gas o eléctricas. Sumado a esto, el complicado acceso a algunas comunidades dificulta el traslado de los cilindros de gas propano, por lo que la mayoría de los pobladores prefiere dedicar parte de su tiempo para la recolección de leña, la cual además de todo, es gratuita y de fácil acceso.

De acuerdo a la Línea base de oferta y demanda de leña en Guatemala (INAB, FAO e IARNA/URL, 2012), el departamento de Sacatepéquez presenta una oferta de leña de 616 780,11 toneladas de biomasa leñosa, y una demanda de 664 792,00 toneladas de biomasa leñosa. Por lo tanto, se tiene un déficit de 48 011,89 toneladas de biomasa leñosa, lo que significa que la oferta de leña no supe la demanda.

El uso de la leña como fuente de energía primaria está afectando a los bosques de Guatemala, ya que propicia la tala ilegal de árboles con el fin de suplir sus necesidades de energía; es por esta razón que se hace necesaria la búsqueda de una fuente biomásica que reduzca el consumo de leña y que permita que los bosques se regeneren.

3.2.1 Preguntas de investigación

A continuación, se formulan las preguntas más importantes a resolver con el proyecto de investigación.

3.2.1.1 Pregunta central

¿Qué alternativas de proyectos para la reducción del consumo energético de leña en el sector de Antigua Guatemala departamento de Sacatepéquez, son viables técnica y financieramente, mediante el uso eficiente de biogás?

3.2.1.2 Preguntas auxiliares

- ¿Qué potencial energético se podría obtener mediante el uso de biogás generado por el estiércol vacuno?
- ¿Qué proyectos se pueden implementar técnicamente en el sector ganadero de Antigua Guatemala, Sacatepéquez para la gestión y uso de biogás?
- ¿Cuál es la viabilidad financiera de la implementación de dichos proyectos con fines energéticos?
- ¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados a la reducción de leña en Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez?

3.3 Delimitación del problema

Las delimitaciones sectoriales y geográficas del proyecto son las siguientes:

3.3.1 Delimitación sectorial

La investigación en estudio, la cual forma parte de la línea de investigación “Gestión y Uso Eficiente de la Leña en Guatemala”, del Programa de Maestría en Energía y Ambiente, se centrará en el sector ganadero y lechero.

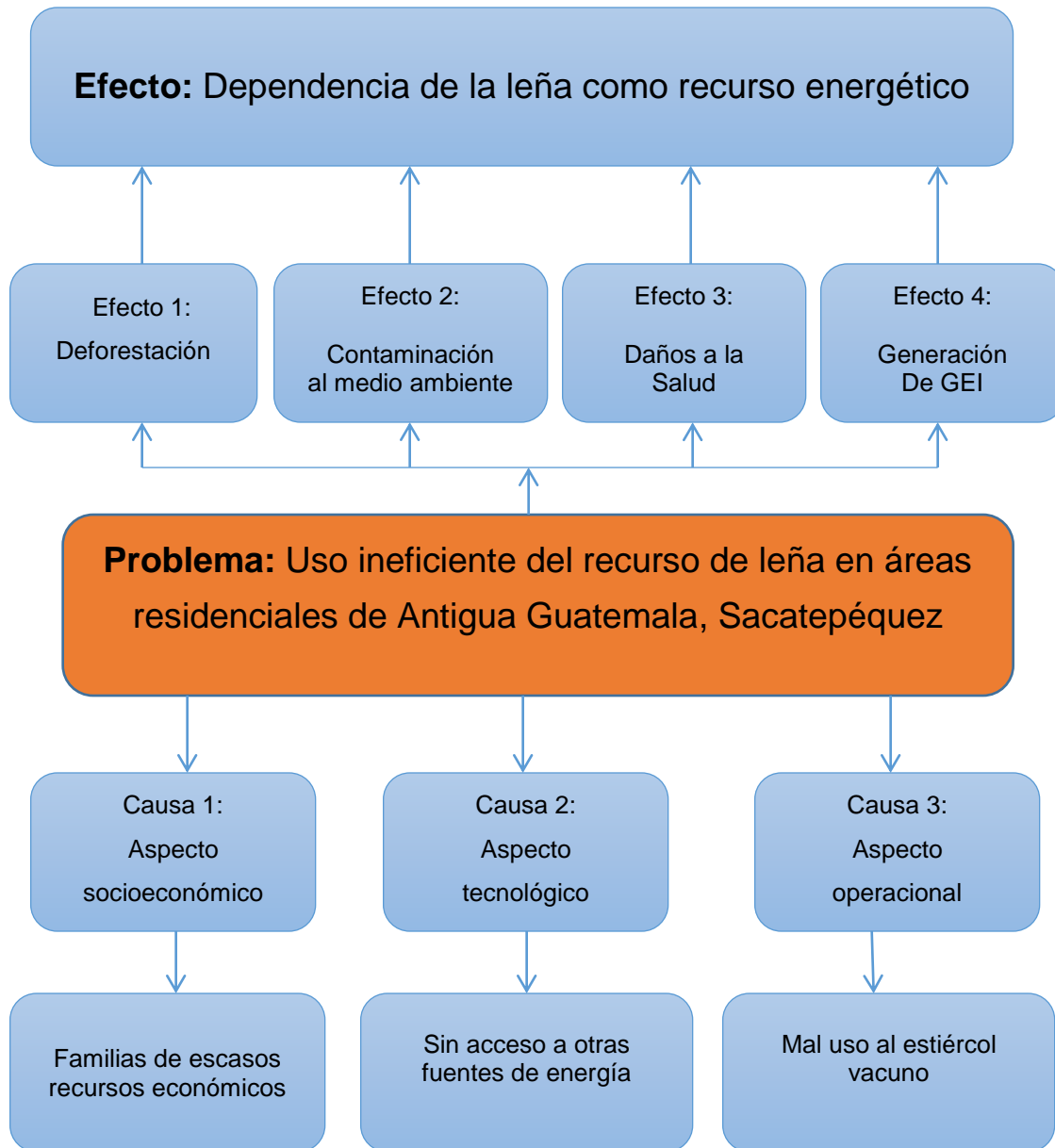
3.3.2 Delimitación geográfica

La investigación se enfocará en la finca Filadelfia, Antigua Guatemala del departamento de Sacatepéquez con una extensión de cinco hectáreas.

3.3.3 Delimitación tecnológica

El estudio se enfocará en la generación de biogás a través del estiércol vacuno que se genera y la implementación de biodigestores.

Figura 2. **Árbol, problema y causas, efectos**



Fuente: elaboración propia.

4 MATRIZ DE COHERENCIA

A continuación, se presenta la matriz de coherencia elaborada para el proyecto de investigación:

Tabla II. **Matriz de coherencia**

Núm.	Pregunta	Objetivo
Central	¿Qué alternativas de proyectos para la reducción del consumo energético de leña en el sector de Antigua Guatemala departamento de Sacatepéquez, son viables técnica y financieramente mediante el uso eficiente de biogás?	Determinar la factibilidad técnica y financiera de proyectos para la reducción del consumo energético de leña en el sector de Antigua Guatemala, mediante el uso del estiércol vacuno para producir biogás.
1	¿Qué potencial energético se podría obtener mediante el uso de biogás generado por estiércol vacuno?	Evaluar el potencial energético del estiércol vacuno para producir biogás en Antigua Guatemala.
2	¿Qué proyectos se pueden implementar técnicamente en el sector ganadero de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, para la gestión y uso de biogás?	Determinar la factibilidad técnica para la implementación del uso del estiércol vacuno para producir biogás en Antigua Guatemala.
3	¿Cuál es la viabilidad financiera de la implementación de dichos proyectos con fines energéticos?	Calcular la factibilidad financiera para el desarrollo del proyecto de uso del estiércol vacuno para producir biogás con fines energéticos.
4	¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados a la reducción de leña en Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez?	Describir los beneficios ambientales, asociados a la reducción del uso de la leña y el aprovechamiento del estiércol en Antigua Guatemala.

Fuente: elaboración propia.

5 JUSTIFICACIÓN

El déficit de la leña que presenta el país, genera la búsqueda de formas alternativas y renovables para sustituir la leña. El consumo de leña en el año 2012 refleja que el 70 % de la población consume un total de 27,51 millones de metros cuadrados. El balance nacional de la oferta y demanda del consumo de leña no es sostenible, tiene un déficit anual de 5 650 623 toneladas. (WISDOM, 2011). Hay que desarrollar instrumentos, medios y la promoción de fuentes alternas de energía para reducir el consumo insostenible de leña y mejorar las condiciones de vida de la población. Las fuentes alternas de energía tienen que ser accesibles a la población rural, facilitar asistencia técnica y financieras para el desarrollo,

En Antigua Guatemala es un grave problema y la demanda es cada vez mayor, también hay que considerar los efectos negativos que causa la deforestación, la cual contribuye al efecto invernadero, al calentamiento global y al cambio climático.

La actividad ganadera y lechera se extiende en toda la región del país, representa una parte considerable en la generación de empleo directo en el área rural. El estudio de la implementación de producción de biogás a través de estiércol vacuno que es una opción adicional para disminuir la dependencia energética de la leña. La generación de biogás es un recurso renovable alterno que ayuda a frenar la deforestación. La implementación de biogás beneficiaría a las comunidades cercanas en Antigua Guatemala, Sacatepéquez.

El desarrollo de esta investigación está enfocado a la gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala, del programa de Maestría en Energía y Ambiente, con el propósito de que esta investigación y estudio sea una propuesta para el problema que afronta el país, en el ámbito ambiental y energético.

6 OBJETIVOS

General:

Determinar la factibilidad técnica y financiera de proyectos para la reducción del consumo energético de leña en el sector de Antigua Guatemala, mediante el uso de estiércol vacuno para producir biogás.

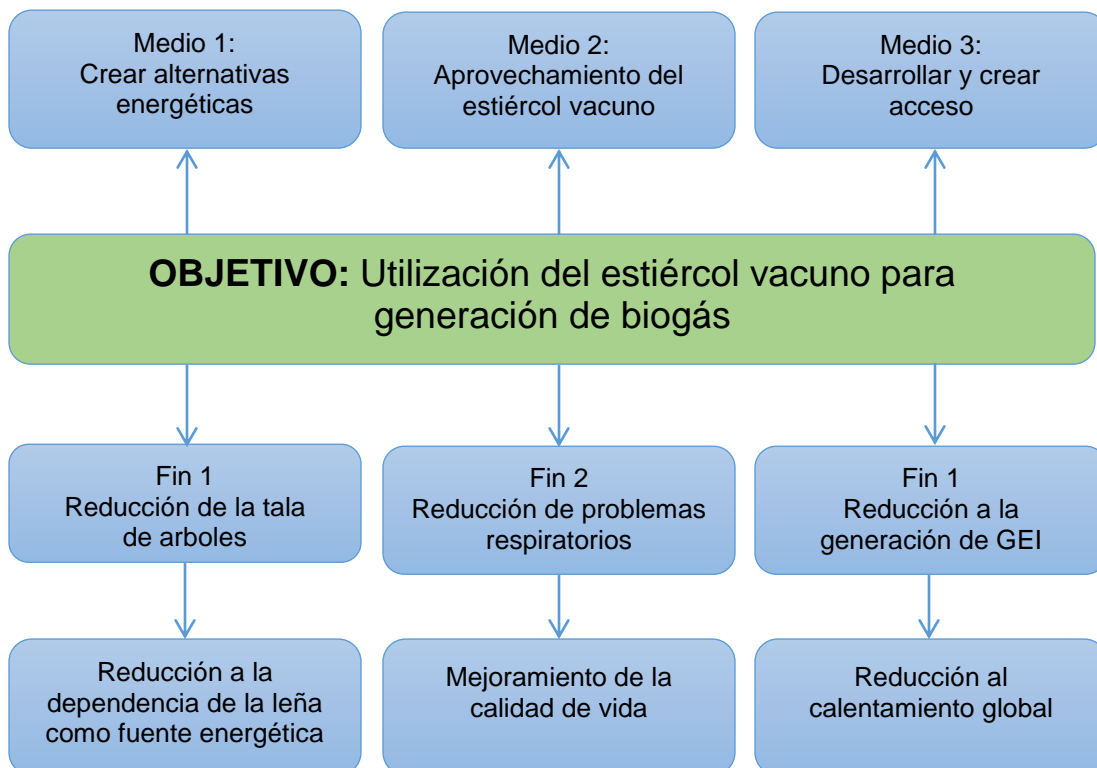
Específicos:

1. Evaluar el potencial energético del estiércol vacuno para producir biogás en Antigua Guatemala, Sacatepéquez.
2. Determinar la factibilidad técnica para la implementación del estiércol vacuno para producir biogás en Antigua Guatemala.
3. Calcular la factibilidad financiera para el desarrollo del proyecto de uso del estiércol vacuno para producir biogás con fines energéticos.
4. Describir los beneficios ambientales asociados a la reducción del uso de la leña y el aprovechamiento de los desechos del estiércol vacuno en Antigua Guatemala.

7 NECESIDAD A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La dependencia a la leña como fuente primaria de energía en el municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, crece día a día, por lo que se hace necesario buscar alternativas que satisfagan o reduzcan la demanda. A continuación, se presenta un esquema de solución enfocado en la línea de investigación para la “Gestión y Uso Eficiente de la Leña en Guatemala”.

Figura 3. Necesidad a cubrir y esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

Como alternativa para la reducción del consumo de leña como fuente primaria de energía, se propone la utilización del estiércol vacuno para la generación de biogás por medio de un biodigestor semicontinuo. Todo esto con la finalidad de disminuir los efectos negativos del uso de la leña (deforestación y consumo ineficiente de la leña).

8 MARCO TEÓRICO

8.1 Aspectos físicos del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez

Se presenta a continuación información sobre los aspectos físicos del municipio, como extensión territorial, ubicación geográfica, clima, entre otros.

8.1.1 Extensión territorial

El municipio de Antigua Guatemala cuenta con una extensión territorial de 78 km².

8.1.2 Ubicación geográfica

Antigua Guatemala se encuentra ubicada en la región V o Central de Guatemala con ubicación en el departamento de Sacatepéquez, Sus coordenadas geográficas en latitud Norte 14° 33' 30" y en la longitud Oeste de 90° 43' 50".

Según el sistema climatológico de Thornthwaite, el carácter del clima del municipio es muy húmedo, con vegetación natural característica de selva. Por las jerarquías de temperatura, el noroccidente del municipio, tiene clima semicálido sin estación fría bien definida y el resto posee clima cálido sin estación fría bien definida.

8.1.3 Altitud

Antigua Guatemala está situada a 1 530 metros sobre el nivel del mar.

8.1.4 Población

Para el año 2002 La Antigua Guatemala contaba con una población total de 41 097 habitantes, en sus distintos centros poblados, distribuidos en 19 938 hombres (48,51 %) y 21 159 mujeres (51,48 %). La proyección para el 2008 que presenta el INE para este municipio es de 44 455 habitantes; por su parte la municipalidad para este estudio, toma el índice del INE, reconociendo que hoy en día la población supera con facilidad esa cifra, aproximadamente en 60 000 habitantes.

8.2 Energías renovables

Las energías renovables presentan tres ventajas si las comparamos con los combustibles fósiles. La primera de ellas es que son virtualmente inagotables, son energías que se generan de forma continua y son inagotables, no consumen recursos finitos. Entre ellas destacan: hidroeléctricas, solar, geotérmica, eólica, biomasa y biogás. La segunda ventaja es que no son tan contaminantes como los derivados del petróleo, pero producen algún impacto ambiental, y la tercera es su facilidad de deslocalización, por ejemplo no todos los países tienen petróleo en su territorio, pero pueden crear una planta solar o eólica. Otro factor que hay que considerar es que los recursos energéticos tienen una relación directa con la economía en el mundo que vivimos.

8.2.1 Fuentes de biomasa

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: entre ellos están los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas; estos se usan generalmente para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, calderas, secado de granos, entre otros.

8.3 Biogás

Se sabe que el ser humano conoce desde la antigüedad la existencia del biogás, ya que este se genera en forma natural en los pantanos, de allí que se le ha llamado también “gas de los pantanos”. La producción de biogás, es un proceso que se lleva sin la presencia del oxígeno a partir de una gran variedad de desechos orgánicos. El biogás es un combustible incluido dentro del conjunto de la biomasa, que en el caso del biogás de vertedero está constituido por un conjunto de gases formados como subproductos de la descomposición de la parte orgánica de los residuos sólidos en condiciones anaeróbicas (fermentación en ausencia de oxígeno).

La producción de biogás provee una cantidad de ventajas económicas y ecológicas, ya que es un medio de obtención de un combustible doméstico para las comunidades donde el combustible es escaso y de difícil acceso; reduce la contaminación ambiental, produce un residuo inodoro (biofertilizante) que se utiliza para fertilizar, además evita la propagación de enfermedades y, por último, reduce la tala de bosques en áreas donde se utiliza leña como fuente de combustible. El gas metano se genera en los vertederos controlados en concentraciones dentro del parámetro de combustión, lo que confiere al biogás ciertas características de peligrosidad por riesgos de explosión o incendio, y por esta razón, la necesidad de mantener un control sobre él.

La biomasa que podremos usar como fuente de energía se encuentra, principalmente, de dos formas: como cultivos con un aprovechamiento

claramente orientado a la producción de energía (cultivo energético) o como un residuo de las actividades forestales y agrícolas, o de sus industrias asociadas.

8.3.1 Proceso de formación de biogás

El biogás está compuesto aproximadamente de 60 % a 70 % de metano (CH_4) y 30 % a 40 % de dióxido de carbono (CO_2), con pequeñas trazas de hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N). Su valor energético se encuentra entre 20 a 25 Mega joules/ m^3 . El biogás puede ser utilizado como combustible en las cocinas, en la iluminación o para alimentar un motor para la generación de electricidad. Según los reportes energéticos 1 m^3 de biogás equivale a 0,55 L de *fueloil*. Este puede sustituir parte del combustible. (60 %) que se consume en las calderas de las propias plantas de destilación (Lema M. J. y col, 1992).

La digestión anaerobia está caracterizada por varias fases sucesivas en el desarrollo de degradación del sustrato, participan cinco grandes poblaciones de microorganismos. Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por microorganismos de diferentes velocidades de desarrollo y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor . Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles, que podría producir una baja de la acidez pH. Para la estabilidad de la acidez pH es importante el equilibrio CO_2 -bicarbonato. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, generando agregados de bacterias en las diferentes poblaciones.

8.3.2 Fermentación anaeróbica

La fermentación anaerobia comprende una compleja serie de reacciones de digestión y fermentación que llevan a cabo diferentes especies bacterianas, en condiciones anoxias. Este proceso biológico se rige en la transformación a través de reacciones bioquímicas de la materia orgánica contaminante en biomasa y en un gas cuyos componentes principales son metano (CH_4) y (CO_2) dióxido de carbono, esta mezcla de gases se conoce como biogás. Las bacterias productoras se caracterizan por su sensibilidad a los cambios ambientales.

8.5.2.1 Etapa de hidrólisis

Los compuestos orgánicos complejos, como los lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son despolimerizados, por acción de enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, etc. Este proceso es generado por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaeróbicos facultativos.

8.5.2.2 Etapa de acidificación

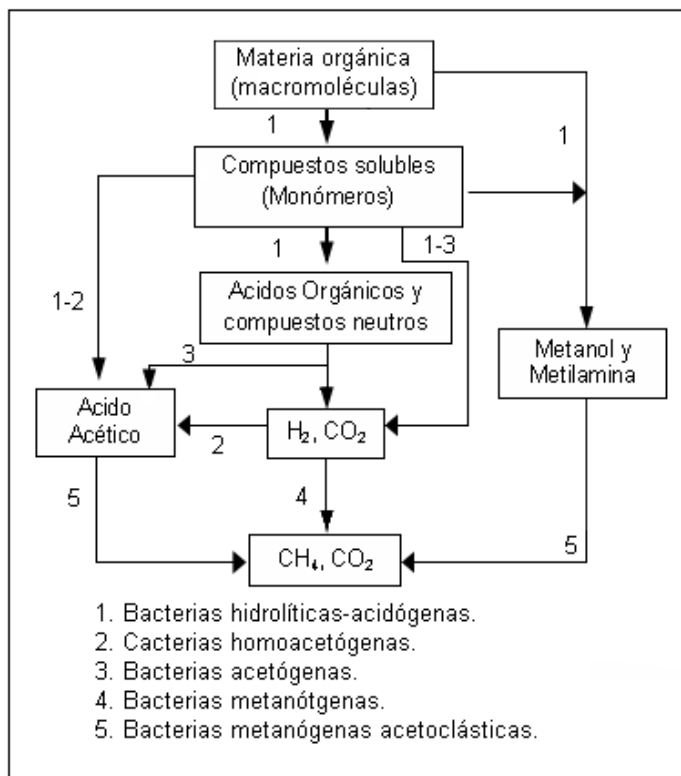
Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$, liberando como productos, Hidrógeno y Dióxido de carbono. Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser que sea realizada y es posible a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que sustraen los productos finales del medio, minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas.

8.5.2.3 Etapa metanogénica

Esta es la última etapa del proceso, en el que compuestos como el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono son transformados a CH_4 y CO_2 . Se

distinguen dos tipos de principales microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que consumen hidrógeno (metanogénicas hidrogenófilas). La principal vía de formación de metano es la primera, con un aproximado de 70 % del metano producido.

Figura 4. Etapas de la fermentación



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa2.shtml>. Consulta: abril, 2016

8.5.3 Factores de control para la producción de biogás

La complejidad de la fermentación o digestión anaerobia refleja la parte biológica de un ecosistema que está influido por parámetros físicos y químicos.

Estos factores son importantes en la tecnología de la digestión anaerobia en donde se incluyen los siguientes:

- Tipo de materia prima
- Temperatura
- Acidez pH
- Velocidad de carga
- Tiempo de residencia
- Ácidos volátiles
- Nutrientes
- Agitadores
- Inhibidores

8.5.3.1 Tipos de materia prima

Las materias primas fermentables se incluyen dentro de una amplia gama a los excrementos humanos y animales, restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, aguas residuales orgánicas de las industrias. El proceso microbiológico no solo requiere fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en cierto equilibrio sales minerales (azufre, calcio, fósforo, magnesio, hierro, tungsteno, níquel, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, potasio y otros).

8.5.3.2 Temperatura

El tratamiento de las fracción orgánica en los reactores anaeróbicos es llevado a cabo, normalmente, dentro de dos rangos distintos de temperatura: el rango mesofílico, entre el intervalo de temperatura de 25 a 40 °C, y el rango termofílico, con temperaturas mayores a los 45 °C. Parámetros físicos del proceso, como la viscosidad y la tensión superficial, dependen de la

temperatura. En algunos casos, la fermentación anaerobia en el rango termofílico ha mostrado ser más inestable que la fermentación en el rango de condiciones mesofílicas. La metanogénesis es también posible en condiciones de temperaturas menores a los 20°C (condición psicrófila), pero ocurre a velocidades más lentas y a menor proporción.

8.5.3.3 Acidez pH

Cada grupo microbiano involucrado en la fermentación anaeróbica tiene una región de acidez pH específica para su crecimiento óptimo. Para los ácidogénicos la acidez pH ideal es de 6, mientras que para los acetógenos y metanógenos es de 7 y 8,5. La acidez pH es, además, un importante modulador del sistema, puesto que influye en varios equilibrios químicos, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Por ejemplo, alto acidez pH ayudan a la formación de amoníaco libre, auténtico inhibidor de la fase metanogénica

8.5.3.4 Velocidad de carga

El volumen adecuado de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor para que la producción de biogás sea óptima, y no exista un exceso de materia ya descompuesta. Este valor tiene una relación inversa con el tiempo de residencia, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de residencia necesario.

8.5.3.5 Tiempo de residencia

Es el tiempo de permanencia del sustrato dentro del biodigestor. De acuerdo al diseño del biodigestor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir diferencia entre los tiempos de residencia de líquidos y sólidos. El tiempo de residencia está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. Generalmente los materiales con mayor porción de carbono retenido en moléculas resistentes como lo es la

celulosa, demanda mayores tiempos de residencia para ser totalmente digeridos. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de residencia.

8.5.3.6 Ácidos volátiles

La concentración de ácidos volátiles, producto de la fermentación, tiene una gran importancia en el proceso de la digestión, pues puede llegar a acidificar el fango provocando el fallo del proceso. El aumento de la concentración de ácidos volátiles puede venir producido por sobrecarga de alimentación, o por inhibición de las metano bacterias. A su vez, una gran concentración puede provocar la rotura de la capacidad tampón fango, disminución de acidez pH; en consecuencia, la inhibición de las bacterias formadoras de metano.

8.5.3.7 Nutrientes

En la degradación anaerobia mixtos o mezclas de aguas residuales se puede suponer que los nutrientes necesarios y micro nutrientes están disponibles en cantidades ilimitadas. En el tratamiento de un solo residuo o algunas aguas residuales, la degradación puede limitarse por la disponibilidad de nutrientes. La adición de elementos de traza como el níquel y el cobalto a la fermentación estimula los procesos anaerobios.

8.5.3.8 Agitadores

Mediante la agitación se espera: La remoción y liberación de los compuestos producidos por las bacterias metanogénicas. También una uniformidad en la densidad bacteriana para evitar la formación de espacios sin actividad biológica.

8.5.3.9 Inhibidores

La presencia de metales, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso de biodigestor.

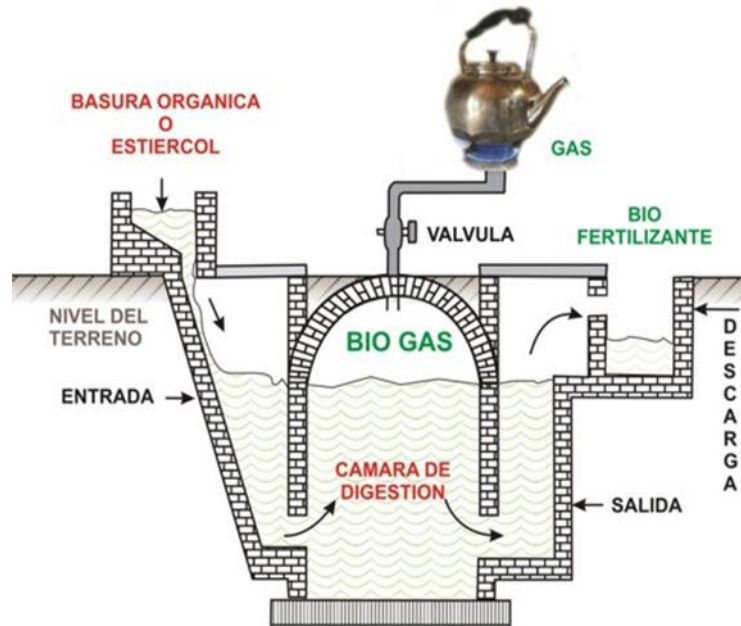
8.6 Biodigestor

Es un digestor de desechos, es su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable, llamado reactor, dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua a través de la fermentación anaeróbica, y así produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. Este sistema puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás, cámara de hidrogenación y postratamiento a la salida del reactor.

8.6.2 Tipos de biodigestor

El más común de los biodigestores es el dosel flotante y el domo fijo. El pozo séptico es el más antiguo y sencillo digestor de aguas residuales domésticas. Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable separar las aguas servidas y las que contienen detergentes o jabones. El efecto que producen los jabones y detergentes es que inhibe la acción metabólica de las bacterias. Para poder iniciar con la fermentación hay que realizar un tratamiento químico con polímeros.

Figura 5. Biodigestor sémicontinuo



Fuente: <http://www.biodisol.com/cultivos-energeticos/girasol/biodigestores>. Consulta: mayo, 2016

8.6.3 Sistema discontinuo

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir biogás. La generación de biogás en este tipo de digestores es de 0,50 a 1,00 m³ biogás / m³ digestor. La carga de la totalidad de la materia a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso; por lo general requieren más mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima, si esta se produce ininterrumpidamente y de un depósito de gas o fuentes alternativas para suplirlo.

8.6.4 Sistemas semi continuos

La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o residencia y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0,10 a 0,40 m³ biogás / m³ de digestor. Los biodigestores continuos se utilizan para purificar el agua contaminada por diferentes fosas. Existen tres clases de biodigestores de flujo continuo:

- Cúpula móvil o flotante (Hindú)
- Cúpula fija (Chino)
- Salchicha, tubular, Taiwán, biodigestores familiares

8.6.5 Sistema continuo

Son utilizados generalmente para tratamiento de agua residual, tienen la inclinación a ser grandes de corte industrial, con sistemas comerciales para el control y gestión del proceso. La producción de biogás es mucho mayor, de 0,80 a 1,00 m³ biogás / m³ de digestor. Estos pueden ser:

- Sistema de desplazamiento horizontal
- Sistema de tanques múltiples
- Sistema de tanque vertical

8.7 Diseño de los biodigestores

Los biodigestores han de ser diseñados de acuerdo a su objetivo y aplicación, a la disposición de la fuente orgánica y a la temperatura a la que van a operar. Un biodigestor puede ser diseñado para eliminar el estiércol

producido en una granja de cerdos, o bien como herramienta de saneamiento básico de una escuela. Otro objetivo podría ser proveer de cuatro horas de combustión en una cocina para una familia. Como se comentó anteriormente, el fertilizante líquido obtenido es muy preciado, y un biodigestor diseñado para la finalidad debe permitir que la materia prima esté mayor tiempo en el interior de la cámara del biodigestor, así como reducir la mezcla de agua a 1:3. La temperatura ambiente en que va a trabajar el biodigestor indica el tiempo de retención que se requiere para que las bacterias puedan digerir la materia prima. En ambientes de 30 grados centígrados se requieren aproximadamente 10 días; a 20 grados centígrados unos 25 días y en el altiplano, la temperatura de trabajo es de 10 grados centígrados y se requieren aproximadamente 55 días de retención. Por lo cual, para una misma cantidad de materia prima entrante se necesita un volumen mayor (5 veces) para la cámara del biodigestor en el altiplano que en la costa.

9 ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMALACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL MUNICIPIO**

1.1 Aspectos físicos del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez

1.1.1 Extensión territorial

1.1.2 Clima

1.1.3 Altitud

1.1.4 Población

2. **CAPÍTULO II: ASPECTOS TEÓRICOS**

2.1 Energías renovables

2.1.1 Biogás

2.2 Proceso de formación de biogás

2.2.1 Factores de control para la producción de biogás

2.2.2 Materia prima

2.2.3 Temperatura

2.2.4 Acidez PH

2.2.5 Tiempo de residencia

2.2.6 Ácidos volátiles

2.2.7 Nutrientes

2.2.8 Agitadores

2.2.9 Inhibidores

2.3 Biodigestores

- 2.3.1 Biodigestor discontinuo
- 2.3.2 Biodigestor semicontinuo
- 2.3.3 Biodigestor continuo

2.4 Diseño de biodigestor

- 2.4.1 Materiales
- 2.4.2 Generación de biogás con estiércol vacuno

3 CAPÍTULO III

- 3.1 Requerimientos técnicos
 - 3.1.1 Materiales
 - 3.1.2 Personal requerido
 - 3.1.3 Demanda del proceso
- 3.2 Propuesta de diseño
- 3.3 Análisis de la producción de biogás
- 3.4 Análisis ambiental

RESULTADOS

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

10 METODOLOGÍA

10.1 Tipo de estudio

La metodología adoptada se seleccionó para alcanzar los objetivos establecidos para este proyecto: la producción de biogás mediante el tratamiento de estiércol vacuno. Este estudio se divide en dos fases: La primera fase es la recopilación bibliográfica y la segunda es la fase experimental.

10.1.1 Fase I (Recopilación bibliográfica)

Se diseñó en función de revisiones bibliográficas, artículos científicos, investigaciones previamente realizadas, consultas y entrevistas a profesionales de campo en la generación de biogás. Con esta comparación se pretende determinar si es técnicamente factible utilizar el biogás generado por el estiércol bovino como sustituto de la leña.

10.1.2 Fase II (Experimental)

En la segunda, la fase experimental consta de la fabricación de un biodigestor semicontinuo con recursos y materiales comunes que son encontrados en ferreterías, entre estos: tonel plástico, bolsa tubular plástica, tubería de PVC, llaves de paso, manómetros de presión, mangueras plásticas y una bolsa de captación. Se estará utilizando como inóculo el estiércol bovino, de la finca Filadelfia ubicada en Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Las cargas se estarán obteniendo de 6 bovinos que producirán aproximadamente

60 Kg estiércol/día. Se debe tomar en cuenta que estos materiales se incorporan al biodigestor diluidos en agua. El tamaño del biodigestor está en función de las cargas diarias y el periodo óptimo de fermentación. Las pruebas iniciales de producción de biogás se realizarán 15 días después de la carga inicial, mediante la verificación de quema de biogás, en la cual se acopla una manguera a la salida del gas y mediante un mechero se prende; si el gas quema una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar al uso normal del biogás. Se estará tomando, recopilando y monitoreando periódicamente el volumen generado en la bolsa de captación para tabular estadísticamente la producción de biogás con los parámetros recomendados.

10.2 Alcance y resultados esperados

Con esta investigación se pretende determinar los beneficios técnicos, económicos y ambientales que trae consigo el uso de la generación de biogás a través del estiércol bovino con el uso de la leña.

Un análisis de los beneficios ambientales y a la salud que trae la utilización del biogás a través del estiércol bovino, serán comparados con los impactos generados por el uso de la leña como fuente de energía primaria.

10.3 Variables e indicadores

La investigación estará enfocada en la determinación de los beneficios que trae consigo el uso del biogás como fuente de energía primaria. Para evaluar el progreso de la investigación se tomarán en cuenta las siguientes variables y los siguientes indicadores:

- Energía generada
 - Indicadores: poder calorífico
- Cantidad de biogás generado
 - Indicadores: volumen generado en un tiempo determinado

11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

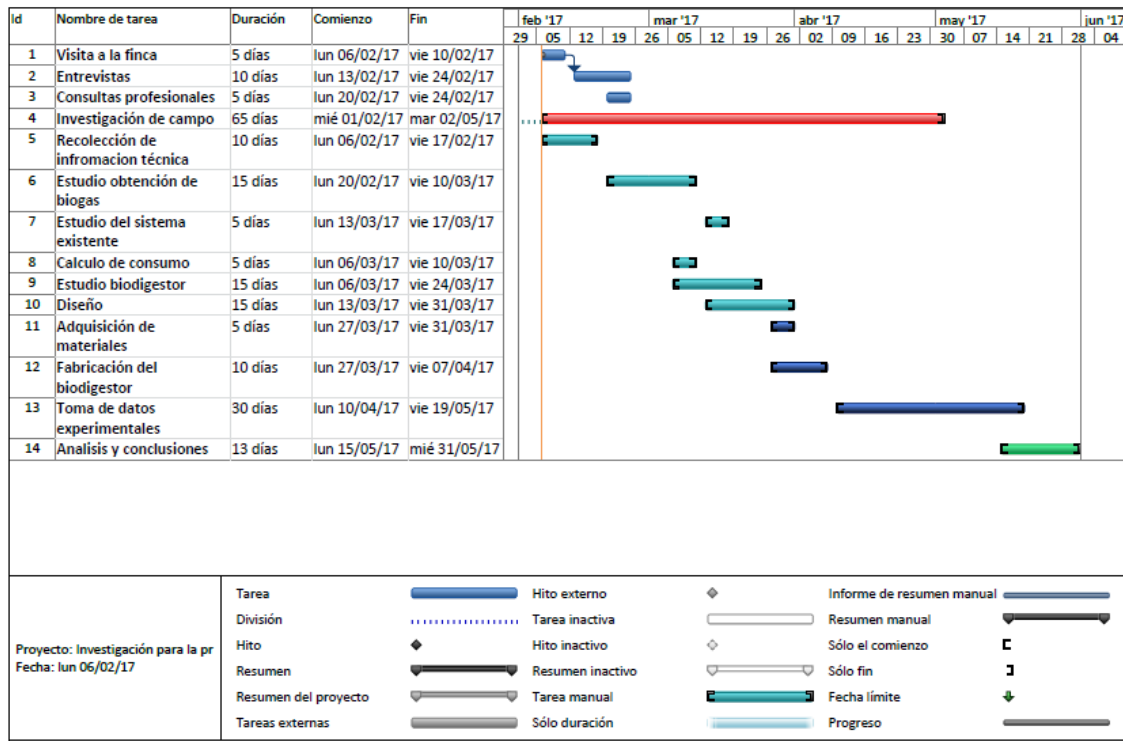
Para el análisis de los datos se hará uso de gráficas y tablas que permitan comparar la generación del biogás y los beneficios vs los producidos por el uso de la leña.

Se llevará a cabo un análisis económico que permita determinar los beneficios que traería a la población la utilización del biogás a través del estiércol bovino.

12 CRONOGRAMA

A continuación, se presenta el cronograma de ejecución propuesto para esta investigación. Fue propuesto para un periodo de 6 meses.

Figura 5. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Project.

13 FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, se presentan los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto de investigación y el costo que representa cada uno de ellos.

Tabla III. **Presupuesto**

No.	Descripción	Costo unitario/mes	Tiempo (meses)	Total
1. Recursos humanos				
1.1.	Asesor	Q 200,00	6	Q 1 200,00
1.2.	Estudiante	Q -	6	Q -
2. Material, equipo e insumos				
2.1.	Papel	Q 50,00	6	Q 300,00
2.2.	Insumos de oficina	Q 15,00	6	Q 90,00
2.3.	Computadora	Q -	6	Q -
2.4.	Impresora	Q -	6	Q -
2.5.	Tinta para impresora	Q 15,00	6	Q 90,00
2.6.	Fotocopias	Q 30,00	3	Q 90,00
2.7.	Biodigestor	Q 1 800,00	1	Q 1,800,00
3	Viáticos	Q 150,00	6	Q 900,00
4	Otros	Q 200,00	3	Q 600,00
TOTAL			Q	5 070,00

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de factibilidad

El proyecto será financiado en su totalidad por el estudiante por lo que no es económicamente factible, sin embargo, se debe recalcar que con la elaboración de este proyecto el estudiante se acreditará con el título de Maestro

en Energía y Ambiente, lo que traerá beneficios económicos en un futuro. Por lo anterior se puede decir que sí es factible llevar a cabo la investigación. Además, esta investigación podrá ser aprovechada por la población en general ya que aportará información importante para reducir la problemática del uso de la leña y la diversificación de la matriz energética, tanto en Guatemala como a nivel mundial.

14 REFERENCIAS

1. CEPAL. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. *Dinámicas, Tendencias Y Variabilidad Climática*. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. *Varios autores. Publicación ONU* 2011. 263p.
2. CONAP-ZOOTROPIC-CDC-TNC. *Plan de Conservación de las Regiones Secas de Guatemala*. Editores: D. Ariano, E. Secaira, B. García y M. Flores TNC, 2009. Guatemala. 60p.
3. DISEÑO DE UNA PLANTA DE GENERACION DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGAS. Universidad de Barcelona. *Autores: Varios*. 1998, España. 228p.
4. GENERACION DE BIOGAS Y LIXIVADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS. Segunda edición. *Editor: Instituto Politécnico Nacional*, 2005. 115p.
5. INAB, IARNA/URL, FAO/GFP. (2012). *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala*. Guatemala: FAO/GFP/Facility.
6. LIZANO, M. (s.f.). *Guía técnica del cultivo de coco*. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

7. MARTÍNEZ, I. R. (2007). Esperanza energética. *Semanario de Prensa Libre* núm. 133, s.f.
8. NARCISO, Rubén, et. al. (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2013*. Instituto Nacional de Estadística, Guatemala.
9. OFERTA Y DEMANDA DE LEÑA EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA. *Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping*. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Rafael Landívar. Autores: Flores- Larrañaga. Publicación 2012. Guatemala 70p.
10. ROSALES, L. (2013). *Plan estratégico nacional para el uso sostenible de la leña*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
11. SALVADOR, A. R. (2010). *Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*. (D. d. Química, Ed.) Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 104(2), 331-345.
12. Schweizer, K. (27 de 02 de 2012). *Deutsche Welle*. Obtenido de Made for minds: <http://www.dw.com/es/carb%C3%B3n-ecol%C3%B3gico-a-partir-de-restos-de-coco/a-15841201>
13. Solarízate, O. (s.f.). Solarízate. Recuperado el 12 de octubre de 2016, de www.solarizate.org/pdf/castellano/fichasalumnos/ficha11.pdf

14. SUAREZ, J., et al. (1999). *Evaluación del poder calorífico superior en biomasa*. Investigación agrícola: sistema de recursos forestales, 8, 129-137.
15. Tení, H. (2015). *Uso sostenible de la leña y combustibles limpios*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala.

