



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

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A
BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE
LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO,
GUATEMALA**

Edmar Danilo Ramos Pérez

Asesorado por el Ing. Kevin David Zea Castañeda

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A
BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE
LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO,
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDMAR DANILO RAMOS PÉREZ
ASESORADO POR EL ING. KEVIN DAVID ZEA CASTAÑEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADOR	Ing. César Leonel Ovalle Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

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:

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 31 de mayo de 2016.

Edmar Danilo Ramos Pérez

Guatemala, 24 de agosto de 2016

Ingeniero

Juan José Peralta Dardón

Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Presente

Estimado Ingeniero Peralta:

Lo saludo cordialmente deseándole éxitos en sus labores cotidianas. El motivo de la presente es para informarle que he asesorado y revisado el Trabajo de Graduación titulado: **“PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO, GUATEMALA”**, elaborado por el estudiante de Ingeniería Mecánica Industrial **Edmar Danilo Ramos Pérez**, con No. de carné **199911425**.

Considero que dicho trabajo cumple con todos los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería, por tanto, **APRUEBO** el esquema, contenido y conclusiones del mismo, ya que lo encuentro completamente satisfactorio.

Sin otro particular me despido de usted.

Atentamente,



Kevin Zea
Kevin David Zea Castañeda
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado Activo No. 7204



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Edmar Danilo Ramos Pérez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Karla Lizbeth Martínez Vargas
Ingeniera Industrial
Colegiada No. 5,706
Inga. Karla Lizbeth Martínez Vargas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

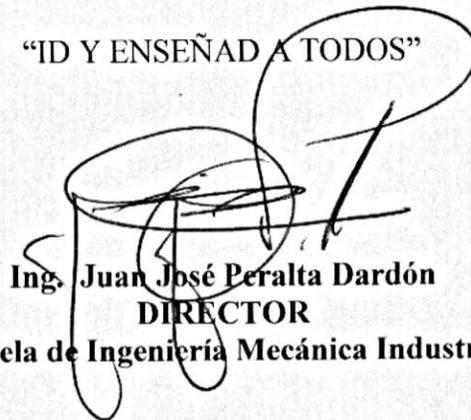
Guatemala, septiembre de 2016.

/mgp



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 titulado **PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Edmar Danilo Ramos Pérez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

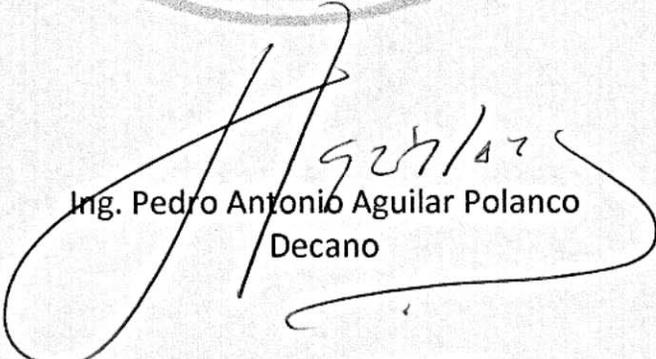


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 493.2016

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: **PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER ENERGÍA A BAJO COSTO Y PRESERVAR EL ÁREA DE BOSQUE, REDUCIENDO EL CONSUMO DE LEÑA EN LOS HOGARES RURALES DE LA ALDEA LA CIÉNAGA, SAN RAYMUNDO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Edmar Danilo Ramos Pérez**, 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, octubre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Jesucristo

Por ser mi Señor y Salvador, por darme la vida, la sabiduría y la fuerza para culminar mi carrera, además de bendecirme con tantas cosas y personas maravillosas cada día.

Mis padres

Danilo Ramos y Anabella Pérez, por sacarme adelante y darme todo lo que he necesitado y más. En especial a mi madre por todo su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional y excepcional, que me ha brindado en cada instante de mi vida.

Mis hermanos

Luis, Mery y Dania Ramos Pérez, por formar parte de esta meta y de mi vida con todo su apoyo y cariño que siempre nos ha unido.

Mi hija

Paula Daniela Ramos, por ser la luz de mis ojos, y para quien quiero ser un ejemplo.

Mis abuelos

Mama Tea, y Papa Chepe, por todas sus bendiciones y cariño durante mi vida. En memoria de Papa Juan (q. e. p. d.) y en especial de Mama Noy (q. e. p. d.), a quien extrañamos mucho, por lo extraordinaria mujer que fue.

Mis tíos

Por su cariño y aprecio, en especial mi tía Noy y mi tía Nury, por ser parte importante de mi vida, su apoyo y amor han sido fundamentales.

Mis primos

Por todos los buenos momentos que hemos compartido.

Mis amigos

Que de una manera u otra estuvieron involucrados apoyándome en la culminación de mi carrera y en mi vida en general.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, brindándome la oportunidad de llegar a ser un profesional.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos necesarios en toda mi formación académica.

**Mis amigos de
la Facultad**

Con quienes viví una gran experiencia, llena de horas de estudio, pero también en donde pudimos compartir muchas aventuras y buenos momentos. Agradeceré siempre su apoyo y amistad.

Mi asesor

Ing. Kevin David Zea Castañeda, por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. La leña, un producto combustible.....	1
1.2. Obtención de la leña.....	2
1.2.1. Recolección	2
1.2.2. Forma industrial.....	3
1.3. Uso de leña en las comunidades rurales.....	4
1.3.1. Características del consumo.....	4
1.3.2. Leña, cultura o necesidad.....	5
1.3.3. Cultura de utilización	5
1.4. Usos y aplicaciones de la leña	5
1.4.1. Uso doméstico	6
1.4.2. Consumo diario promedio.....	8
1.5. Uso de la leña en la industria	9
1.5.1. Elaboración de carbón.....	9
1.5.2. Hornos de ladrillo.....	11
1.5.3. Calefacción.....	11
1.6. Introducción al biogás.....	12
1.6.1. Generalidades	13

1.6.2.	Uso del biogás a nivel mundial.....	14
2.	IMPACTOS ECONÓMICO, ECOLÓGICO Y EN LA SALUD POR EL USO DE LA LEÑA	17
2.1.	Fuentes de trabajo	17
2.1.1.	Productores de leña	18
2.1.2.	Productores de carbón	19
2.1.3.	intermediarios.....	19
2.1.4.	Consumidores	20
2.2.	Deforestación	20
2.2.1.	Tala de árboles.....	21
2.2.2.	Pérdida de fauna	22
2.2.3.	Degradación del suelo.....	23
2.2.4.	Bajo nivel de mantos freáticos.....	23
2.3.	Daño en ecosistemas.....	24
2.4.	Cambio Climático	25
2.5.	Enfermedades por inhalación de CO ₂	26
2.5.1.	Enfermedades pulmonares	27
2.5.2.	Enfermedades cancerígenas.....	29
2.5.3.	Problemas en la vista	29
2.6.	Contaminación del aire.....	30
2.6.1.	Partículas y sustancias liberadas en la combustión	31
2.7.	Análisis comparativo del uso del biogás vs. la leña	32
3.	SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE INVESTIGACIÓN, Y PROPUESTA DE PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE BIOGÁS.....	33
3.1.	Nombre de la comunidad	33
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	34

3.1.2.	Etnia	35
3.1.3.	Idioma	36
3.1.4.	Costumbres	36
3.2.	Acceso a servicios	37
3.2.1.	Educación	37
3.2.2.	Movilización	38
3.2.3.	Empleo	39
3.3.	Definición de biogás	39
3.3.1.	Componente químico.....	40
3.3.2.	Valor energético.....	41
3.4.	Obtención del biogás	41
3.4.1.	Principios	41
3.4.2.	Materia prima para generar biogás.....	42
3.4.3.	Proceso y procedimiento	42
3.4.4.	Residuos orgánicos	43
3.4.5.	Almacenamiento	44
3.5.	Esquema de un sistema de producción de biogás	46
3.5.1.	Componentes y sus funciones.....	47
3.5.2.	Diagrama de flujo.....	48
3.6.	Uso y aplicación	49
3.6.1.	Cocinas.....	50
3.6.2.	Vehículos	51
3.6.3.	Máquinas industriales	52
3.7.	Ventajas del uso de biogás.....	54
3.7.1.	Ventajas económicas.....	54
3.7.1.1.	Combustible a bajo costo	57
3.7.1.2.	Materia prima sin costo.....	57
3.8.	Ventajas ecológicas.....	58
3.8.1.	Energéticas.....	60

3.8.2.	Agrícolas	62
3.8.3.	Ambientales.....	63
4.	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PRODUCTOR DE BIOGÁS	65
4.1.	Selección de biodigestor	65
4.1.1.	Digestor de bajo costo.....	68
4.1.2.	Proceso de biodigestión	69
4.1.3.	Medidas del biodigestor.....	69
4.1.4.	Materiales a utilizar	70
4.2.	Instalación	71
4.2.1.	Localización de la fosa	76
4.2.2.	Dimensión de la fosa.....	76
4.2.3.	Preparación de la bolsa de almacenaje	77
4.2.4.	Colocación de la salida del biogás	77
4.2.5.	Válvula de seguridad.....	77
4.3.	Operación.....	78
4.3.1.	Grado de acidez del líquido.....	78
4.3.2.	Temperatura de operación	79
4.3.3.	Suministro de residuos orgánicos	79
4.3.4.	Extracción de biofertilizante.....	79
4.4.	Uso en cocinas.....	80
4.4.1.	Tipo de tubería de conducción	81
4.4.2.	Quemador	81
4.4.3.	Consumo	81
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA	83
5.1.	Análisis de funcionamiento.....	83
5.1.1.	Revisión del estado del biodigestor.....	84
5.1.2.	Comparación biogás versus leña	85

5.1.3.	Funcionalidad	85
5.1.4.	Mantenimiento de los componentes	85
5.1.5.	Uso del biofertilizante	86
5.1.6.	Comercialización del biofertilizante.....	86
5.2.	Ampliación	87
5.2.1.	Instalar otros biodigestores.....	88
5.2.2.	Beneficiar otras comunidades.....	88
5.2.3.	Aplicación en máquinas	88
CONCLUSIONES		91
RECOMENDACIONES		93
BIBLIOGRAFÍA.....		95
APÉNDICE.....		99
ANEXOS		101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Niños recolectando leña.....	3
2.	Aplicaciones de la leña.....	6
3.	Estufa de leña modelo ahorrador. Estufa Patsari.....	8
4.	Plano de una parva o fosa	10
5.	Zona deforestada en Guatemala.....	21
6.	Contaminación de los alvéolos.....	28
7.	Formación de cataratas en el ojo	30
8.	Ubicación de una industria de referencia	34
9.	Mapa de ubicación de la aldea La Ciénaga, San Raymundo.....	35
10.	Escuela ubicada en la aldea La Ciénaga	38
11.	Medio de transporte	39
12.	Esquema del proceso de obtención y utilización del biogás	46
13.	Diagrama de flujo en la producción de biogás	48
14.	Estufa funcionando con biogás	51
15.	Planta portátil de producción de energía eléctrica a base de biogás ...	54
16.	Domo del biodigestor	68
17.	Instalación de la conexión de salida del gas	72
18.	Introducción de la membrana en la zanja.....	73
19.	Conducción del biogás desde el biodigestor hasta la vivienda	74
20.	Válvula de seguridad, botella de refresco	75
21.	Reservorio de biogás instalado dentro de la vivienda	75
22.	Dimensiones de la fosa.....	76
23.	Equipos que funcionan con biogás	80

TABLAS

I.	Beneficios directos de la aplicación de un sistema de digestión anaeróbica utilizando un biodigestor de 7,2 m ³ con una carga anual de 7 885 kg de excrementos frescos de cerdo	56
II.	Beneficios económicos totales derivados de la aplicación de la tecnología de biodigestión para un biodigestor de 7,2 m ³ en un periodo de 20 años	57
III.	Disminución en la emisión de CO ₂ por el uso de biogás producido por un biodigestor de 7,2 m ³ como alternativa a la combustión de diésel	59
IV.	Comparativo del valor energético con otras fuentes	60
V.	Materiales para la elaboración del biodigestor y su costo.....	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
hcf	Altura de la cámara de fermentación
Hc	Altura de la cúpula
SD	Cantidad de sustrato
CTT	Capacidad total del tanque en litros
LD	Carga del biodigestor
CD	Carga diaria de mezcla a añadir
π	Constante matemática igual al 3,141592653
dcf	Diámetro de la cámara de fermentación
°C	Grado centígrado
kg	Kilogramo
kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt
L	Largo K Producción específica de gas
TR	Tiempo de retención de la biomasa en días
TWh	Terawatt hora
Vol	Volumen
Vd	Volumen de digestión de la biomasa
Vc	Volumen de la cámara colectora
VT	Volumen de trabajo en litros

GLOSARIO

Afluente	Material de carga o de entrada en un biodigestor.
Bioenergía	Es la energía que se obtiene por transformación de la energía de la biomasa o materia orgánica y que puede ser usada directamente como un combustible, o ser convertida en otras fuentes energéticas líquidas, sólidas o gaseosas.
Biogás	Es un gas combustible que se genera por procesos de digestión anaeróbica de la materia orgánica. Sus componentes principales son metano (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂), con presencia de nitrógeno, oxígeno, ácido sulfhídrico y otros en menor proporción.
Biomasa	Materia orgánica renovable que puede provenir de vegetales y animales, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, y los residuos generados en su producción y consumo.
Bioabono o Biol	Es el efluente líquido que se obtiene de la biodigestión anaeróbica del biodigestor, posee un poder fertilizante en los cultivos y los pastizales.

Calentamiento Global	Incremento de la temperatura de la tierra observado en los últimos años. Según resume el IPCC, Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en su publicación del 2013, es extremadamente probable (95-100 %) que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde la mitad del siglo XX.
Combustión	Es una reacción química exotérmica en que reacciona un elemento combustible con un comburente, el oxígeno.
Digestión anaeróbica	Es una serie de procesos a través de los cuales los microorganismos rompen el material biodegradable en ausencia de oxígeno.
Dióxido de carbono	También conocido como anhídrido carbónico (CO ₂), es un gas inodoro e incoloro que se desprende en la respiración de los seres vivos, plantas y animales y en algunas fermentaciones.
Efecto invernadero	Proceso de calentamiento de la atmósfera provocado por gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano. Estos gases retienen parte de la radiación que proviene del sol, evitando su disipación en el espacio exterior, elevando la temperatura de la atmósfera y la corteza terrestre.
Efuente	Material de descarga o de salida de un biodigestor.

Energía	Es la capacidad de un cuerpo o sistema para realizar un trabajo. En términos generales, la energía es la capacidad que posee un sistema para cambiar sus propiedades en el tiempo.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
Fermentación	Es un proceso metabólico que convierte azúcares en ácido, gases y/o alcohol.
FORSU	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos.
Humedad	Es el porcentaje de agua en un cuerpo o estado gaseoso en la atmósfera.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
Impacto ambiental	Es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad, en un área determinada.
Leña	Es un tipo de biomasa constituida por una porción de madera en bruto, de tronco, ramas y otras partes de árboles y arbustos, utilizados como combustible sólido.

PVC	Policloruro de vinilo.
MEM	Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.
Residuos orgánicos	Son los desechos provenientes originariamente de algún ser vivo.
Residuos inorgánicos	Están conformados por todos los residuos de origen no biológico; estos pueden provenir de la industria o de algún otro proceso no natural.
Silvicultura	Conjunto de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y la explotación de los bosques y los montes.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se presenta la propuesta para introducir en la Aldea La Ciénaga del municipio de San Raymundo, un sistema de producción de biogás a bajo costo, una fuente de energía renovable muy poco utilizada en Guatemala, lo que conllevaría a una serie de beneficios, tanto a sus pobladores directamente, como al medio ambiente que los rodea, ya que se busca reducir considerablemente el consumo diario de leña diario que se tiene actualmente.

En el capítulo uno se hace una descripción de todo lo que comprende el uso de la leña en Guatemala, así como sus aplicaciones, tanto en las comunidades rurales como en la industria. También se hace una introducción al tema del biogás, sus generalidades y usos a nivel mundial.

En el capítulo dos se describen los impactos directos e indirectos por el uso de la leña, en lo económico, ecológico y en lo relacionado a la salud de sus consumidores.

En el capítulo tres se hace referencia de la Aldea La Ciénaga en cuanto a su historia, aspectos físicos, sociales, económicos y servicios. De igual manera se hace la propuesta para la producción y aplicación del biogás como alternativa para producir energía, detallando su manera de obtenerlo y las ventajas de utilizarlo.

La implementación del sistema de producción de biogás es lo que se presenta en el capítulo cuatro. Se describe la selección del biodigestor a utilizar

en el sistema, así como la instalación de todos sus componentes, su operación y posterior uso del producto, es decir, el biogás.

En la parte final del informe se presenta el seguimiento y mejora continua de la propuesta, en donde se detalla el funcionamiento y mantenimiento del sistema, así como la comercialización del biofertilizante resultante de la producción del biogás, y también la propuesta para instalar más biodigestores a lo largo de la aldea, La Ciénaga.

OBJETIVOS

General

Proponer a las comunidades rurales de la aldea La Ciénaga del Municipio de San Raymundo del Departamento de Guatemala, un modelo de producción de energía de bajo costo y que esté al alcance de todos, utilizando los desechos animales y la basura para la producción de biogás, que servirá para cocinar en sustitución de la leña.

Específicos

1. Fomentar la cultura de la conservación de los bosques como recurso natural vital para la vida de las personas.
2. Promover las alternativas de producción de energía a bajo costo a través de los desechos orgánicos.
3. Proveer a las comunidades rurales de un recurso energético que maximice su economía, abaratando la forma de cocinar los alimentos.
4. Aprovechar los residuos orgánicos como materia para producción de biogás.
5. Descontaminar la atmósfera utilizando el metano producido por la biodigestión.

6. Reducción del volumen de basura, ayudando de esta forma a la mejora de un ambiente limpio.
7. Utilizar el bioabono que produce el proceso de la biodigestión como fertilizante para las plantaciones.

INTRODUCCIÓN

Guatemala aún posee muchas zonas rurales, tal como la aldea La Ciénaga del municipio de San Raymundo, en donde los habitantes utilizan una cantidad considerable de leña para la cocción de los alimentos diarios, la cual se obtiene de la tala de árboles que conforman la zona boscosa del país. En el proceso de la obtención de la leña como combustible, hemos perdido la posibilidad de retención de humedad y de agua, así como de oxígeno, contribuyendo a la disminución de los niveles de los mantos freáticos y que, por supuesto, afecta a las poblaciones. A todo esto, hay que agregar la generación de humo liberado (dióxido de carbono) a la atmósfera, contribuyendo así a la contaminación y al efecto invernadero.

Por todo lo anterior, se hace imperativo proponer alternativas de producción de energía que no genere daño ecológico, por el contrario, que procuren el aprovechamiento de productos reciclables que nos puedan suplir la demanda a un bajo costo. A través de los desechos como la basura, y de los desechos orgánicos de origen animal podemos obtener biogás, el cual es un combustible compuesto por metano que es liberado en el proceso de descomposición de los desechos. El biogás es una de las alternativas que puede contribuir a la disminución del uso de leña, así como también a la obtención de energía a un precio muy bajo.

La ejecución de la propuesta de producción de biogás deberá tener muy en cuenta todos los aspectos que a continuación se plantean, para que el proyecto sea lo más funcional posible, y así cumpla con el objetivo de generar

energía a bajo costo y con índices de contaminación muy bajos, como parte importante de un mejor futuro para nuestro país.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. La leña, un producto combustible

Para muchas personas que conforman los grupos étnicos de las zonas rurales de Guatemala, el uso de la leña es de suma importancia para la subsistencia, porque las personas dependen de la madera de los bosques para proveerse de un material combustible y con ello aprovechan su energía para la cocción de alimentos, este producto combustible natural ha dotado a muchas generaciones del sector campesino de un recurso energético valioso para la vida.

La leña está compuesta principalmente por hidratos de carbono (celulosa, hemicelulosa y lignina), es un combustible heterogéneo muy complejo que al arder, una parte se volatiliza y otra parte se quema como carbono fijo (que es el que forma las brasas). La parte volátil de la leña es la que contiene la mayor parte de las calorías (más del 60 %). Esta parte volátil que se desprende durante la combustión de la leña está compuesta por hidrógeno, metano, metanol, hidrocarburos, óxido y dióxido de carbono, entre otros. La temperatura de combustión de esos gases va desde los 360 °C para el metanol hasta los 620 °C para el monóxido de carbono. Todas estas características hacen de la leña un elemento que por mucho tiempo ha formado parte de la cultura de los pueblos del mundo, y en especial en las poblaciones rurales de Guatemala y de Latinoamérica.

1.2. Obtención de la leña

La leña se obtiene de la zona boscosa en su estado natural, su utilización ha derivado una serie de diversas aplicaciones, además su obtención es para uso doméstico en los hogares, también vinculada a la calefacción y a la producción de energía para la cocción de productos alimenticios de uso común.

1.2.1. Recolección

En las zonas rurales, el método de obtención de la leña es por recolección, pues, por la estrecha relación de las personas con el bosque se trata de no dañar los árboles, es por eso que se aprovechan las ramas secas que van cayendo al suelo y en algunos casos se cortan las que todavía no han caído. La recolección se lleva a cabo en grupo familiar para poder proveerse de una cantidad adecuada para no incurrir en realizar esta tarea a diario. Este modelo de obtención de leña es bastante común en las zonas rurales donde muchos servicios no llegan y hace necesaria dicha práctica para la subsistencia de las poblaciones.

Figura 1. **Niños recolectando leña**



Fuente: Depósito de documentos de la F.A.O. *La evolución de la legislación forestal en favor de las comunidades rurales*. www.fao.org/docrep/q4030s/q4030s04.htm. Consulta: 30 de diciembre de 2015.

1.2.2. Forma industrial

La obtención de la leña en forma industrial conlleva la aplicación de sistemas sofisticados de corte de árboles, esto propicia la tala desmedida de la zona boscosa, afectando no sólo la flora si no también la fauna que tiene que emigrar hacia otro hábitat.

Cuando se obtiene la leña con métodos industriales, se aplican máquinas que hacen que este proceso sea más rápido y, por ende, se obtienen algunas ventajas económicas. El proceso se desarrolla talando los árboles con una motosierra, luego se procede al desramado que deja el árbol listo para cortarlo en segmentos que se puedan colocar en un procesador, el cual funciona con potencia neumática que empuja el trozo hacia unas cuchillas y estas, a su vez seccionan el trozo, produciendo los leños en una medida práctica y comercial.

1.3. Uso de leña en las comunidades rurales

El uso de la leña en las comunidades rurales, tal como sucede en la aldea La Ciénaga, está ligado a sus actividades cotidianas y forma parte de una cultura que representa a la mayoría de los grupos que habitan en este tipo de zonas en Guatemala. Como parte de esta cultura han utilizado la leña y la siguen utilizando como combustible para la cocción de alimentos como tortillas, guisos, cocidos, entre otros, así como para lograr fuentes de calor en los hogares, lugar en el cual se reúne la familia cerca del fogón para intercambiar experiencias y vivencias del quehacer cotidiano.

1.3.1. Características del consumo

El consumo de la leña es mucho más alto en las zonas rurales que en las zonas urbanas, ya que en las zonas rurales la dependencia de este tipo de combustible se debe a que los expendios de gas propano se encuentran a distancias muy largas, es por ello que lo que está más al alcance es la leña como factor de subsistencia y aprovechamiento de su valor energético. En las áreas urbanas sí cuentan con servicios de distribución de GLP (Gas Licuado del Petróleo), por lo que se consume más el gas propano.

Una de las características más marcadas del uso de la leña está en la elaboración de las tortillas, las cuales son un producto de consumo diario. La leña tiene una importante aplicación para la cocción de este fundamental alimento. También la leña se utiliza en los hornos para la cocción del pan en los poblados más urbanos.

1.3.2. Leña, cultura o necesidad

Hay que remontarse a las primeras civilizaciones en donde los adelantos tecnológicos no permitían el uso de dispositivos que no dependieran de la leña como único recurso energético, la leña fue y es hasta el día de hoy, parte de una necesidad en lo relativo a la energía y al combustible. Los grupos sociales fueron implementando este recurso a la vida y a la subsistencia, por lo que, al transcurrir los años y la evolución de la humanidad se convierte en un factor cultural enraizado en las sociedades y grupos mayoritarios de comunidades, sobre todo en los países en vías de desarrollo.

1.3.3. Cultura de utilización

Para la mayoría de personas que dependen de la leña como generador de energía para su sobrevivencia, logra suplir una necesidad que se convierte en una cultura de utilización.

Entre las aplicaciones domésticas de las comunidades rurales para la preparación de alimentos varios, utilizan la leña como una única fuente energética disponible para la obtención de calor. Por otra parte, en la industria de la gastronomía, el cocinar con leña se convierte en una cultura exótica. Por el sabor que le impregna la leña a los alimentos, se dice que cocinar con leña hace que la comida tenga un acercamiento a la vida hogareña y esto también es parte de la cultura de utilización sólo que en diferentes circunstancias.

1.4. Usos y aplicaciones de la leña

La leña tiene varios usos y aplicaciones, tanto en el área rural como el área urbana; es más común en el área rural el uso de la leña para la cocción de

los alimentos cotidianos, no así en la vida urbana, en la cual es utilizada para el desarrollo de industria. En este caso se debe indicar que se utiliza la leña en la industria hotelera para chimeneas, así como para hornos de cocción de materiales cerámicos, tales como ladrillos, pisos, mosaicos, tejas, entre otros. Otro sector de alta demanda de leña es el de la comida en los restaurantes en los que se cocinan carnes asadas.

Figura 2. **Aplicaciones de la leña**



Fuente: *Inventario forestal nacional* (FAO-INAB, 2004)

www.deguate.com/artman/publish/ecologia_bosques/importancia-del-sector-forestal-de-guatemala.shtml#.V6DT69ThCt8. Consulta: 5 de enero de 2016.

1.4.1. Uso doméstico

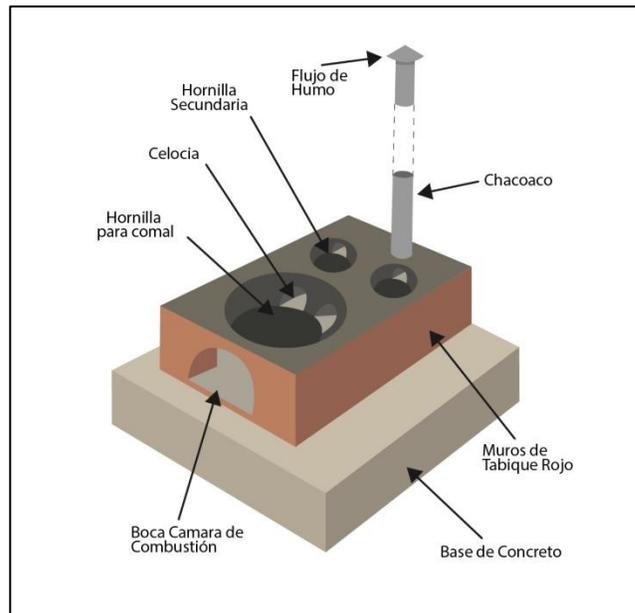
El concepto doméstico se refiere a la utilización de la leña en los hogares en donde se necesita para la elaboración y cocción de los alimentos, esto significa que en un hogar alejado de lo urbano, la madera de leña ha sido recolectada y en donde se involucran todos los que conforman el grupo familiar.

En los hogares pobres de los países en desarrollo, como en Guatemala, la leña, el carbón vegetal y otros combustibles sólidos (principalmente residuos agrícolas y carbón), se queman a menudo en fogones abiertos o estufas de mal funcionamiento. Los residuos agrícolas están relacionados con cáscaras de diferentes frutas que se utilizan en la industria, en donde se extraen aceites y otros productos, estos residuos pueden ser cáscaras de coco, macadamia, jocote marañón, paja de trigo y rastrojo o caña de milpa.

La utilización de la leña se realiza en las cocinas y se hace necesario mantener encendida una fuente de calor a espacio abierto, lo que provoca un consumo del recurso sin beneficio, y por ello no se optimiza el poder calorífico de la madera. La forma como se improvisa un fogón no tiene medidas específicas, se hace según los materiales que se tienen a la mano y el aprovechamiento del calor no se puede calcular por la variabilidad de la elaboración.

Para lograr una eficiencia alta se hacen esfuerzos por diseñar cocinas que produzcan menos humo y concentren el calor, de tal forma que consuman menos leña y no se deteriore la zona del bosque. Las estufas mejoradas son una alternativa para reducir el consumo de leña, estas se fabrican con medidas y un diseño estándar, esto logra que el calor sea aprovechado en un 90 % aproximadamente, estas se construyen de ladrillo y block en su base y la combustión se genera en una cámara cerrada por una plancha metálica en donde van las hornillas. Para la evacuación de los humos cuenta con una chimenea que descarga en las afueras del recinto de la cocina.

Figura 3. **Estufa de leña modelo ahorrador. Estufa Patsari**



Fuente: Fundación vamos a dar. *¿Cómo funciona la Estufa Patsari?*
www.vamosadar.org.mx/noticias/?p=1119. Consulta: 5 de enero de 2016.

1.4.2. Consumo diario promedio

Para establecer el consumo diario se debe tomar en cuenta la densidad poblacional o tener un dato aproximado de las personas que conforman cada núcleo familiar, partiendo de que Guatemala ocupa el tercer lugar a nivel regional centroamericano en el consumo de leña, carbón vegetal, y según los datos del censo del 2004.

La cantidad de personas en promedio por hogar es de cinco, se puede inferir que la cantidad de madera o leña es de 1,5 cargas por semana y la carga de leña tiene un peso aproximado de 78 kilogramos, según la encuesta realizada a 30 personas entre hombres y mujeres (en la aldea La Ciénaga), el

consumo diario es de 18 leños por día, esto nos proporciona un dato de consumo per cápita de 3,6 leños por día, por persona.

1.5. Uso de la leña en la industria

La leña también es utilizada para varias aplicaciones, el factor común es la cocción de alimentos, pero también se utiliza para hornear productos cerámicos y productos para la construcción.

Las cocinas de los restaurantes la emplean para la elaboración de carnes los cuales aprovechan el carbón vegetal como derivado de la leña para la cocción de asados.

Las panaderías en las zonas rurales también suelen utilizar leña para los hornos donde se cocina el pan. Los hogares urbanos de las zonas altas del país también la usan en las chimeneas para calefacción. Esto hace que la leña sea muy codiciada en su forma de uso industrial.

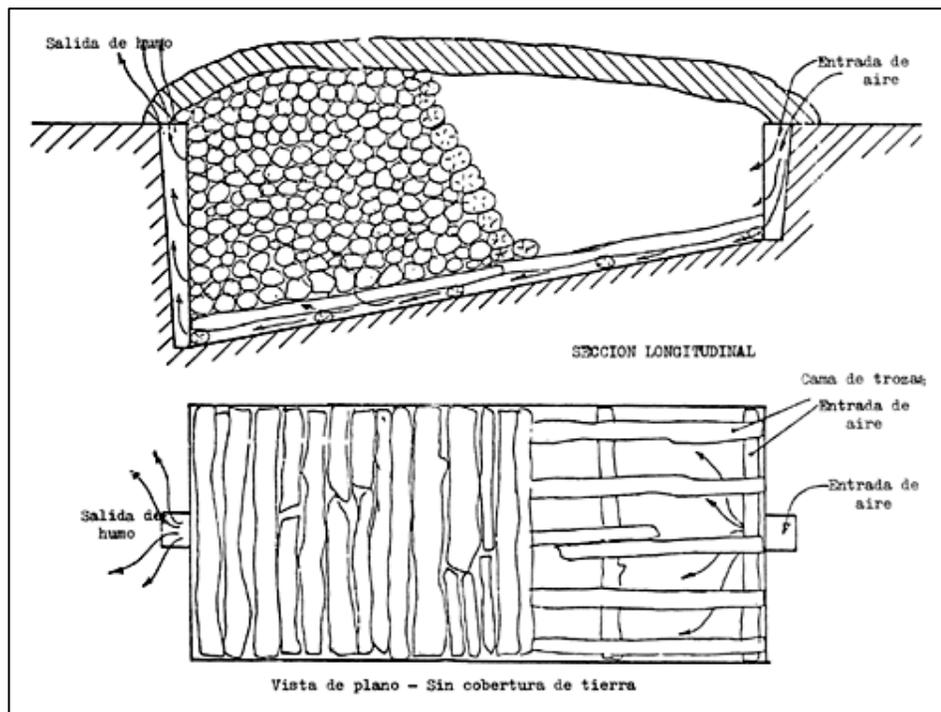
Otro rubro de la industria que ocupa gran cantidad de materia prima vinculada con la madera, es la industria del papel, es decir que al igual que en las zonas rurales, las zonas urbanas también tienen cierta dependencia de este recurso energético.

1.5.1. Elaboración de carbón

El método más antiguo pero el más usado en diferentes regiones es el de cavar una fosa bajo el nivel normal de la tierra y llenarlo con trozos de madera o leña. A esta fosa se le da el nombre de parva, esta es una cámara hermética en donde se da el proceso de carbonización de la madera. Se prefiere la fosa

donde el suelo es rocoso, duro o delgado, o donde la capa freática está cerca de la superficie. En contraposición, la fosa es ideal donde el suelo es bien drenado, profundo y franco. La parva es también más práctica en zonas agrícolas, donde las fuentes de leña pueden hallarse dispersas, y es deseable hacer el carbón vegetal cerca de los pueblos u otros emplazamientos permanentes.

Figura 4. **Plano de una parva o fosa**



Fuente: Depósito de documentos de la F.A.O. *Métodos simples para fabricar carbón vegetal*.
www.fao.org/docrep/X5328S/X5328S06.htm. Consulta: 6 de enero de 2016.

El sitio de una parva puede ser usado repetidamente, mientras que la tendencia con las fosas es de usarlas pocas veces, para luego abrir otras nuevas y estar detrás del recurso maderero. Así también cuando la capa freática está cerca de la superficie o el drenaje es pobre, las fosas no son

prácticas. La continua excavación de fosas interrumpe también los cultivos o las pastoreas. La leña que será carbonizada en una parva puede también ser reunida sin apuro durante un lapso de meses, apilada en posición, haciendo que se seque bien antes de tapar y quemar.

1.5.2. Hornos de ladrillo

La producción de ladrillos es otra aplicación de la industria en donde se utiliza la leña para el proceso de cocción o deshidratación de los bloques de arcilla que son colocados en el vacío que encierra las paredes del horno, la cantidad de energía que se requiere para este proceso exige cantidades grandes de leña.

1.5.3. Calefacción

El uso de la leña para llevar estados de confort a diferentes hogares en los que se necesita climatizar un recinto ha hecho que sea también un producto de alta demanda, generalmente en las zonas altas de Guatemala en donde el clima es frío, se hace necesaria la utilización de la leña como combustible para general calor.

El poder calorífico en seco de la madera de diferentes especies varía en un intervalo muy reducido, de 4 420 a 4 540 kcal/kg. En coníferas (pinos) es un 2 % superior que en frondosas (encina, roble y quejigo), diferencia que se debe al mayor contenido en lignina, resina, ceras y aceites de las primeras. Las maderas blandas, como la del pino, generan combustiones altas y rápidas. Las maderas duras (encina, roble, quejigo, olivo), por el contrario, se queman despacio y producen más calorías que las blandas.

Al quemarse, la madera de las coníferas produce chispas que pueden resultar peligrosas, se producen porque la leña no deja salir fácilmente el gas que se forma en el interior del leño al calentarse, pudiendo producirse pequeñas explosiones de gas que expulsan astillas ardientes.

1.6. Introducción al biogás

Dentro de los diferentes tipos de energías procedentes de la biomasa, uno de los principales usos que encontramos en la producción de energía a partir de la biomasa es el denominado como biogás. El biogás también es un producto de la descomposición de la materia orgánica y consiste en un tipo de gas combustible.

La biomasa incluye plantas de crecimiento rápido, restos de animales, madera y algas cultivadas, muchas veces son desechos que, en este caso, podrían reutilizarse y reciclarse para generar energía,

Cuando la biomasa o los desechos orgánicos como estiércoles se descomponen, da origen a la producción de un gas; este gas es un combustible que puede ser quemado para la obtención de energía calórica en las cocinas y en producción de energía eléctrica.

Es un gas combustible que se genera en dispositivos específicos o en medios naturales a partir de las diferentes reacciones de biodegradación que sufre la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, así como de otros factores en ausencia de aire.

Este gas resultante está formado por un 29 % de dióxido de carbono (CO_2), 60 % de metano (CH_4), y otros gases, aunque en cantidades menores,

que los anteriores. El principal es el metano, y es este gas el que sirve como combustible.

1.6.1. Generalidades

El proceso de obtención del biogás es a partir de los desechos, los cuales son mezclados con agua; se introducen a un recipiente cerrado llamado digestor, que es donde se realiza el proceso de generación de biogás.

Cuando el digestor es de carga diaria, como se verá más adelante, todos los días se carga con una cantidad específica de desechos mezclados con agua. Del digestor sale un volumen de lodos fertilizantes igual al de la mezcla alimentada; el biogás se genera en forma continua durante todo el día. Vacía el residuo y se aplica al campo; en este caso la cantidad de biogás producida es mayor en las primeras semanas y va bajando a medida que transcurre el tiempo, por lo que casi siempre se instalan varios digestores en “batería”, los que se cargan en forma alternada, con objeto de disponer siempre de la cantidad requerida de biogás.

La utilización de los biodigestores, además de permitir la producción de biogás, ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente; todos estos elementos mejoran la calidad del estiércol después del proceso y lo convierte en fertilizante de alta calidad.

En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas, es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta.

“Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50 % del nitrógeno”¹.

“El efluente es mucho menos oloroso que el afluente porque los patógenos son controlados, la destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención. Se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión”².

1.6.2. Uso del biogás a nivel mundial

Según datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en inglés), en el año 2009, el 10,2 % de la estructura de energía primaria en el mundo se obtiene a partir de los recursos que denomina biomasa y residuos. La biomasa sólida constituyó en dicho año el 70,2 % de la oferta total de energía primaria renovable en el mundo; el biogás el 1,4 % y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos el 0,9 %. El biogás ha crecido en el mundo entre 1990 y 2009 a una tasa media anual del 14,9 %, sólo superada en dicha ratio por la solar fotovoltaica y la eólica terrestre.

Según el Observatorio de Energías Renovables de Europa (OERE), en 2010, la bioenergía contribuyó en un 68,2 % al consumo de energía primaria renovable en la UE, de la siguiente forma: biomasa sólida 48,4 %, biocarburantes 8,4 %, biogás 6,6 % y FORSU 4,8 %. De esta forma, la biomasa sólida ocupa el primer lugar, los biocarburantes el tercero, el biogás el quinto y el FORSU el sexto.

¹ HOHLFELD Y SASSE. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. p. 312.

² *Ibíd.*

El 75 % de la producción de biomasa sólida en la UE en 2010 se dedicó a aplicaciones térmicas, mientras que dicho porcentaje fue del 13,8 % para el biogás y del 25 % para la FORSU, dedicándose el resto fundamentalmente a la generación de electricidad.

Según el IPCC (2011), y basándose en una revisión de la literatura especializada, los niveles de despliegue de la biomasa para energía (incluyendo biocarburantes) podrían alcanzar un rango de 100 a 300 EJ/año, frente a la cantidad actual de 50 EJ/año.

En los escenarios publicados por la Comisión Europea referentes a cómo la UE podría alcanzar las metas fijadas para 2020 en cuanto al peso de las energías renovables, el consumo anual de biomasa (sin incluir biocarburantes) para calor y electricidad pasaría de los 800 TWh en 2007 a 1,650 TWh en 2020, lo cual supone un incremento de 850 TWh, el mismo incremento que la suma de todas las demás energías renovables.

Algunos sistemas importantes de bioenergía ya son actualmente competitivos como los combustibles fósiles para algunas materias primas, propósitos y países. En Europa, aplicaciones de biomasa en el sector residencial, sobre todo si son diseñadas como instalaciones para cogeneración, son competitivas en costes y están creciendo muy rápidamente.

Existe evidencia de que mayores mejoras en tecnologías de generación eléctrica, sistemas de producción de cultivos energéticos y desarrollo de sistemas de suministro, pueden hacer que disminuyan los costes de generación eléctrica y de producción de calor a unos niveles muy atractivos en muchas regiones.

A la vista del importante potencial en cuanto a mejora en costes, cabe considerar a la biomasa como una fuente renovable de producción de energía, probada pero todavía con importante margen de mayor desarrollo, más que una tecnología madura (European Climate Foundation, 2010)³.

Las aplicaciones energéticas de los tipos más comunes de biomasa reducen las emisiones de CO₂ entre un 55 y un 98 %, en comparación con los combustibles fósiles, aunque haya que transportar la materia prima a larga distancia, siempre que la producción de la biomasa no cause cambios en el uso de la tierra. Cuando se usan residuos forestales o agrícolas, los ahorros en gases de efecto invernadero están normalmente por encima del 80 % en comparación con los combustibles fósiles.

³ HOHLFELD Y SASSE. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. p. 312.

2. IMPACTOS ECONÓMICO, ECOLÓGICO Y EN LA SALUD POR EL USO DE LA LEÑA

2.1. Fuentes de trabajo

El uso de la leña en sus diferentes estratos en los que se genera la demanda, tiene una ventaja laboral y, por consiguiente, una económica también; la comercialización logra proveer de fuentes de trabajo a grandes y pequeños productores, distribuidores a granel, obreros, así como los que comercializan los subproductos como el carbón vegetal.

Existe una amplia gama de productos que las poblaciones rurales recogen, producen y comercializan a fin de obtener ingresos. Entre los productos recolectados figuran la leña, el roten, el bambú y las fibras. Los principales grupos de productos que se comercializan tras pasar por un proceso simple de elaboración en hogares o pequeñas empresas son los muebles y demás productos de madera, las cestas, esteras y otros productos de juncos, cañas y otros artículos de artesanía.

El predominio de las pequeñas actividades empresariales en el sector forestal se debe al tamaño de los mercados rurales de productos forestales, y a la dispersión de esos mercados por vastas zonas con muy escasa infraestructura de transporte, de manera que resultan más prácticos los suministros locales. Las pequeñas empresas de recolección y elaboración basadas en el bosque, constituyen una de las mayores fuentes de empleo e ingresos extra-agrícolas para la población rural.

Muchas personas dependen de la venta de productos, tales como leña, para complementar sus ingresos agrícolas durante todo el año. Otros se dedican a estas actividades de manera estacional, ya sea para explotar materias primas o mercados, sólo disponibles en determinados períodos o donde la mano de obra sobrante en los meses de baja actividad agrícola sea para satisfacer las necesidades estacionales de dinero en efectivo con el fin de pagar préstamos agrícolas o matrículas escolares. Otros recurren a ellas para superar situaciones de emergencia. Así, por ejemplo, en los años de condiciones adversas para la agricultura, más personas se dedican a la recolección y venta de leña.

2.1.1. Productores de leña

El vocablo productor se refiere a las personas dedicadas al manejo sostenible de los recursos que se explotan para proveer la leña al mercado y los consumidores. Quienes producen la leña están dedicados a disponer del manejo ordenado del bosque. En Guatemala todavía no se ha superado el tema del manejo ambiental del recurso boscoso y por eso se degrada cada día el recurso forestal; sumado a esto y por no tener políticas de Estado para producir la leña de una forma industrial con un modelo de certificación de las producciones de leña en las diferentes regiones del país, los productores proveen a los consumidores de una forma incipiente y sin técnicas que favorezcan la utilización de un producto óptimo que no genere contaminación ambiental y problemas de salud.

La demanda de la leña como recurso energético en las zonas urbanas y sobre todo en las zonas rurales ha propiciado el surgimiento de productores que satisfacen el consumo, pero ya que la obtención de la leña depende la existencia de un bosque que no se renueva, esta se eleva en costo.

2.1.2. Productores de carbón

Uno de los derivados de la madera de donde se obtiene la leña es el carbón vegetal, el cual tiene una elevada demanda en su uso, sobre todo en la industria alimenticia. Para satisfacer esta demanda también existen personas o grupos dedicados a la producción de este recurso. La forma de producir el carbón en Guatemala es a través de técnicas artesanales, utilizando fosas entre la tierra, (este proceso se llama pirólisis), el cual consiste en la descomposición térmica de la madera por medio de la cual se reducen los hidrocarburos de la madera en carbón, dicho proceso consta de tres etapas:

- Precalentamiento de 20 °C a 100 °C (proceso exotérmico).
- Calentamiento hasta 120 °C (secado de la madera).
- Pirólisis de la madera con temperaturas de 400 °C a 450 °C (proceso endotérmico).

Existen formas industriales de producción a través de hornos, pero en Guatemala se sigue produciendo de una forma tradicional.

2.1.3. intermediarios

Para poder satisfacer la demanda en el mercado, los productores necesitan de un grupo de comerciantes que se puedan ubicar en la parte intermedia de entre los mismos productores y los consumidores finales, a estos se les llama intermediarios; ellos comercializan la leña y también el carbón en los mercados cantonales, siempre hay un depósito grande desde donde se surte a los intermediarios en cantidades mayores y menores para los expendios en tiendas y mercados de las comunidades. El trabajo de los intermediarios se

ve sustentado en la generación de ingresos a través del comercio de la leña y sus derivados.

2.1.4. Consumidores

Este es el segmento final en la utilización de la leña y sus derivados como combustible, gracias a él existen en el país fuentes de ingresos a través de la comercialización de los mismos, aquí se puede situar tanto a los consumidores de las zonas rurales como también a los de las zonas urbanas. El carbón de leña es un combustible utilizado por gran cantidad de personas en el núcleo familiar de los grupos urbanos y rurales, así como también por los restaurantes, en la elaboración de platos especiales.

2.2. Deforestación

El fenómeno de la deforestación está vinculado a la utilización de la leña y sus derivados, y podemos definirla como el proceso de eliminación de la zona de bosque y de todo lo que en él existe. En Guatemala existen amplias zonas de bosque deforestadas que no se ha renovado con más árboles, el problema es que las especies de madera no se recobran.

El aspecto más triste de la destrucción de bosque es la pérdida de especies. El bosque de lluvia es un laboratorio virtual de bacterias interdependientes, musgos, líquenes, bromelias, epiphytes, árboles e insectos.

Figura 5. **Zona deforestada en Guatemala**



Fuente: *Planeta azul*. www.planetaazul.com.mx/site/2011/12/17/aumenta-deforestacion-en-bosques-guatemaltecos/. Consulta: 16 de febrero de 2016.

2.2.1. Tala de árboles

Talar es sinónimo de cortar, por eso cuando se tala un bosque no sólo estamos cortando árboles, también estamos cortándole vida a las especies que en ellos habitan; cuando se tala un árbol se resta una carga considerable de oxígeno. Se requieren 22 árboles para suplir la demanda de oxígeno de una persona al día.

La producción de oxígeno de un árbol depende de su propio tamaño, los árboles sanos que crecen en presencia de aire que contenga de 0,03 a 0,04 % de CO₂ a 25°C, son capaces de producir varios litros de oxígeno por hora y por gramo de clorofila utilizada.

La obtención de madera para leña genera el proceso de tala de los árboles, y cuando no se hace con un manejo forestal e industrializado se

propician cambios irreversibles. El manejo es promover y realizar el uso sostenible del bosque natural a través de una planificación adecuada que garantice la sostenibilidad del recurso forestal.

Como parte del Plan de Manejo, el inventario forestal es un reconocimiento de la existencia de especies maderables y no maderables, comercialmente aprovechables en un área boscosa.

Los datos comprenden especie, altura, rectitud del tronco, diámetro a la altura del pecho, estado sanitario del árbol y ubicación del árbol, entre otros.

El tratamiento silvicultural consiste en la aplicación de medidas que permiten un mejor desarrollo de aquellas especies que tienen mayor utilidad, como por ejemplo la eliminación de especies de poco valor comercial.

Las actividades de aprovechamiento forestal dentro de los compartimientos de manejo están dirigidas a provocar el menor daño posible en el ecosistema; asimismo, se respetarán las servidumbres ecológicas de acuerdo a lo establecido en la Ley Forestal.

Una vez realizado el corte del árbol se procede a cubicar la cantidad de troncos para determinar el volumen que está vendiendo el propietario. Actualmente las fórmulas aritméticas se adecuaron para determinar el volumen de árboles en pie, troncos cortados y de madera aserrada.

2.2.2. Pérdida de fauna

Cuando se tala un bosque, con él se pierde el hábitat de los animales silvestres, éstos cohabitan con el bosque y, al no tenerlo, también desaparecen;

las especies que sobreviven tienen que migrar a otros ambientes en donde con certeza también desaparecen por no estar en el área en donde se pueden reproducir y desarrollar con plenitud. La fauna está compuesta entre otros por jaguares, pumas, dantas, corzos, pecaríes, saraguates, micos, tepezcuintes, tacuazines, lobos de pradera, coyotes y una gama de aves que viven dentro del bosque. Una de las especies que va de la mano con el ecosistema vinculado al bosque es el mapache.

2.2.3. Degradación del suelo

El proceso de degradación del suelo puede iniciar cuando se tala un bosque. Cuando se eliminan los árboles desaparece la sombra, y los rayos directos del sol deshidratan la corteza terrestre por la pérdida de humedad que le facilitan los árboles.

La degradación se define como un cambio en la salud del suelo, resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios, la degradación implica pérdida de utilidad.

2.2.4. Bajo nivel de mantos freáticos

El efecto de la tala de árboles se refleja en la pérdida de humedad de la corteza terrestre, precisamente porque al no haber árboles no hay retención de agua y es por ello que no se produce la filtración necesaria para alimentar las corrientes subterráneas, esto hace que se pierda nivel en los mantos freáticos de los cuales se obtiene agua al perforar un pozo. El manto freático es un cuerpo de agua de infiltración en el subsuelo que se encuentra ubicado a poca profundidad, generalmente a unos pocos metros de la superficie. Son depósitos

de agua subterránea que se filtran a través de la capa permeable de la corteza terrestre y que está limitado por capas impermeables de rocas.

2.3. Daño en ecosistemas

Los ecosistemas son comunidades de animales, plantas y otras criaturas vivientes que interactúan entre sí, así como también con su ambiente físico.

Cuando uno de estos componentes falta se dice que el ecosistema pierde su balance y da inicio el proceso de disminución de su función en la naturaleza. Dentro de la estructura de un bosque, según su naturaleza, se gesta más de un ecosistema, y cuando vamos tras la búsqueda de satisfacer las necesidades energéticas no se toma en cuenta el aspecto de vida que existe dentro de este estado natural del proceso de la vida.

Cuando se genera la deforestación esta, a su vez, genera un daño irreversible a uno o varios ecosistemas, por ello se deben proponer alternativas que procuren la conservación y la regeneración de la zona boscosa para evitar los daños a estas estructuras naturales de interacción de la vida.

Para poder entender con más exactitud lo que es un daño a un ecosistema, se debe definir como el cambio que tiene un impacto adverso o negativo y cuantificable en el espacio ambiental, el cual influye en la calidad del desarrollo de las especies que lo integran, un ecosistema está integrado por una cadena de especies que interactúan, en el cual uno depende del otro y la alteración de una de ellas o su desaparición producen lo que se considera daño ecológico.

2.4. Cambio Climático

El cambio climático es la variación que se observa en el ambiente, es la alteración de todos los parámetros climáticos: temperaturas, precipitaciones, fenómenos climatológicos, entre otros. Normalmente este tipo de cambios se producen a lo largo de varios siglos, permitiendo a las especies animales y vegetales adaptarse gradualmente a las nuevas condiciones climatológicas. Durante los últimos 2 000 años el clima ha sido relativamente estable con un ligero enfriamiento de la tierra durante el período comprendido entre 1 500 y 1 850.

La combustión generada por la leña produce cantidades considerables de CO₂, estas cantidades de gas se trasladan a la atmósfera produciendo en forma continua niveles de contaminación que contribuyen de manera significativa al cambio climático, el cual no es más que la variación del clima producido por acciones propiciadas por el ser humano con sus malas prácticas de consumo energético.

Mediante el efecto invernadero, ciertos gases atrapan las radiaciones que emite la tierra caliente, evitando que se pierdan en el espacio exterior. Sin los gases de efecto invernadero se estima que la temperatura media de la superficie terrestre sería de -19 °C en vez de los +14 °C actuales. El efecto invernadero natural hace posible la vida en nuestro planeta. Sin embargo, la quema de combustibles fósiles, la destrucción de los bosques, los cambios de usos del suelo, la producción de residuos y la emisión de ciertos gases artificiales, son factores que refuerzan el efecto invernadero, amenazando actualmente la salud del clima. El Protocolo de Kioto delimita los siguientes gases como contaminantes que producen el efecto invernadero:

- Dióxido de Carbono, CO₂
- Metano, CH₄
- Óxido nitroso, N₂O
- Hidrofluorocarbonos, HFCs
- Perfluorocarbonos, PFCs
- Hexafluoruro de azufre, SF₆

2.5. Enfermedades por inhalación de CO₂

Se tiene evidencias crecientes de que la exposición hogareña al humo de la combustión de la leña genera enfermedades respiratorias, siendo los grupos más vulnerables los niños pequeños.

Tres enfermedades respiratorias se han encontrado fuertemente asociadas con la exposición al humo de este tipo de combustibles (con exposiciones por largos períodos de tiempo):

- Las infecciones agudas del tracto respiratorio inferior en niños menores de 5 años.
- La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (epoc).
- El cáncer de pulmón por exposición al humo de carbón mineral, ambos en mujeres mayores de 30 años.

Varias enfermedades no respiratorias se han asociado con la inhalación del humo de combustibles de biomasa dentro del hogar, tales como cataratas.

También se han sugerido como posibles asociaciones, problemas perinatales como mortalidad intrauterina, partos prematuros, bajo peso al nacer y mortalidad perinatal y otras enfermedades como neoplasia del cuello uterino y laringitis.

Otro elemento a tener en cuenta es que si la leña esta húmeda o lleva mucho tiempo almacenada puede contener esporas de hongos, bacterias y virus, y en ocasiones en los humos puede aspirarse alguno de estos elementos y originar otras enfermedades o complicaciones. Además, si las maderas están pintadas podrían inhalarse componentes de estas pinturas que pueden contener hidrocarburos, alcoholes y otros elementos tóxicos.

Quemar en un fogón abierto dentro de una vivienda resulta particularmente nocivo, ya que el humo que se queda atrapado en el interior del hogar puede alcanzar concentraciones peligrosas de contaminantes. La Organización Mundial de la Salud (OMS), calcula que 2,5 millones de muertes en el mundo están relacionadas con la contaminación intramuros o en el interior de las viviendas.

2.5.1. Enfermedades pulmonares

El humo de la madera o leña es una compleja mezcla de sustancias volátiles y particuladas constituidas por elementos orgánicos e inorgánicos.

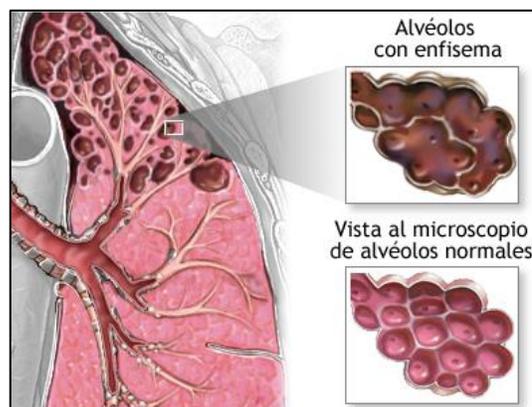
Los principales compuestos de la combustión de la madera o leña son el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y el material particulado, todos ellos tóxicos para el aparato respiratorio.

Se han identificado más de 200 compuestos químicos. La mayoría de ellos (más del 90 %) se encuentra en el rango de partículas inhalables, con un diámetro menor a 10 micrones (es decir pueden penetrar el sistema respiratorio).

El polvo de carbón se asocia a neumoconiosis de los trabajadores del carbón, que tiene una enorme importancia social, económica y médica pues la minería del carbón es una industria importante. Se asocia potencialmente a los trabajadores que explotan el carbón minero, pero no escapa a la producción del carbón vegetal.

La neumonitis por hipersensibilidad es una enfermedad de los pulmones debida a la inhalación de esporas de hongos procedentes de heno mohoso, excrementos de pájaros y otros desechos orgánicos que pueden existir en la leña cuando se genera la combustión. La enfermedad se caracteriza por la inflamación de los alvéolos, que provoca la formación de cicatrices de tejido fibroso en los pulmones y respiración anormal. Existen diversas variantes de la neumonitis alérgica en función del trabajo que se realice, como por ejemplo la de los trabajadores del corcho, la de los granjeros y la de las personas que cultivan champiñones (hongos, setas).

Figura 6. **Contaminación de los alvéolos**



Fuente: Medline Plus. www.medlineplus.gov/spanish/ency/article/000091.htm. Consulta: 20 de febrero de 2016.

2.5.2. Enfermedades cancerígenas

Dentro de las enfermedades que se derivan de la inhalación de los vapores originados por la combustión de leña, específicamente la que no ha concluido su proceso de secado y se quema aún con residuos de humedad, se encuentra la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). La cual se refiere a un trastorno pulmonar crónico que da como resultado un bloqueo en el flujo de aire en los pulmones. Los dos principales trastornos EPOC son el enfisema y la bronquitis crónica, las causas más comunes de insuficiencia respiratoria.

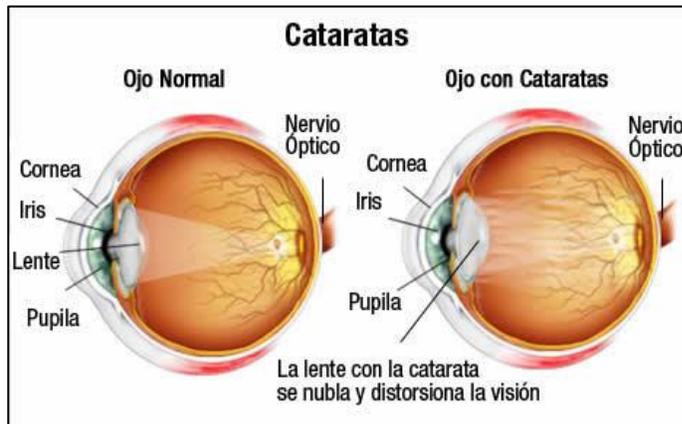
El enfisema se presenta cuando las paredes entre los sacos de aire del pulmón se debilitan y colapsan. Por lo general, la lesión que causa la EPOC es permanente e irreversible.

2.5.3. Problemas en la vista

La exposición al humo emitido cuando se incinera biomasa, además de agravar o desencadenar enfermedades pulmonares también puede ser el elemento que propicie o agrave la posibilidad de dañar los ojos, el humo es altamente irritante al tejido del ojo, debido a la combustión de leña verde o húmeda.

La formación de cataratas en el ojo es una enfermedad asociada a la exposición de este tipo de humo.

Figura 7. **Formación de cataratas en el ojo**



Fuente: *Láser ocular*. www.laserocular.info/cataratas. Consulta: 25 de febrero de 2016.

2.6. **Contaminación del aire**

Cuando se liberan humos como producto de la combustión de leña o madera, se mezclan con el oxígeno que, a su vez, es parte del aire; este se contamina y aunque estemos lejos del lugar en donde se genera la combustión, siempre se respira el aire que ha estado en contacto con las partículas o el humo. El aire está presente en todos los ambientes en especial en las cocinas con recintos cerrados en donde se cocina con leña, el cual, al entrar en contacto con el humo y las partículas que libera la combustión, es inhalado por las personas que estén en el recinto.

Las partículas que se liberan en el proceso de combustión también son cenizas, polvo de madera y residuos de carbón, estas son partículas solidas que se adhieren al cuerpo y también se alojan en los pulmones.

2.6.1. Partículas y sustancias liberadas en la combustión

La leña que no arde debidamente se convierte en dióxido de carbono, esto da lugar a generar productos de combustión incompleta, básicamente monóxido de carbono, pero también benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos poliaromáticos y muchos otros compuestos peligrosos para la salud. Se piensa que el mejor indicador de peligro para la salud causado por el humo de combustión son las pequeñas partículas que contienen muchas sustancias químicas.

Entre los principales contaminantes que resultan al quemar leña, se producen sustancias tales como el humo (CO_2) y cenizas que se expanden en forma de nube de polvo que pueden causar una serie de malestares, tales como: irritación de ojos, nariz y garganta; dolores de cabeza; náuseas y mareos, algunos de estos compuestos son:

- Monóxido de carbono (CO), gas sin olor y sin color que reduce la habilidad de la sangre para transportar oxígeno. Es muy venenoso y en altas concentraciones puede causar la muerte.
- Compuestos irritantes, como la acroleína, que causa inflamación y reacciones alérgicas.
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), que causan cáncer y que también están presentes en el humo del cigarrillo y en el hollín de las chimeneas.
- Compuestos orgánicos volátiles, como el benceno que pueden causar cáncer.
- Dioxinas, que son altamente carcinogénicas, se producen también al quemar leña.

2.7. Análisis comparativo del uso del biogás vs. la leña

En Guatemala, según la matriz energética, una fracción aún más pequeña que la de producción de biodiesel es la de generación de biogás (por medio de la fermentación anaeróbica de desechos biomásicos, fundamentalmente en granjas y con desechos provenientes de pequeñas comunidades). Actualmente es utilizado principalmente a nivel residencial, para sustituir el uso del propano en las cocinas de algunas viviendas en el área rural.

De todas las fuentes primarias y secundarias de energía mencionadas anteriormente, sólo dos figuran en el Balance Energético que reporta el MEM, debido a su importancia. La primera es la leña, principal fuente de energía de Guatemala, y la segunda es el bagazo de caña, en la producción de electricidad.

A nivel mundial, un aproximado de 11 millones de hogares utilizan el biogás para iluminación y la obtención de energía calórica para la cocción de alimentos. Pero comparado con la leña la brecha es elevada, ya que 250 millones de estufas se proveen de leña, para la realización de los procesos de ebullición del agua, esto quiere decir que la tecnología del biogás es relativamente menos utilizada que la leña. Esto se debe a que la leña es la más antigua de las fuentes de energía que se conoce y a la vez es la clave en la economía y el sustento de las zonas rurales.

El biogás tiene la barrera cultural como un primer factor en su utilización y por el origen del combustible que es a través de los residuos o estiércoles de los animales.

En Guatemala, la biomasa leñosa se utiliza en alrededor del 80% de los hogares como fuente de energía.

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE INVESTIGACIÓN, Y PROPUESTA DE PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE BIOGÁS

3.1. Nombre de la comunidad

Aldea La Ciénaga, municipio de San Raymundo, departamento de Guatemala.

En la publicación derivada del Censo de Población de 1 850 se obtiene lo siguiente: "La Ciénaga, aldea del departamento de Guatemala, depende de la jurisdicción de San Raymundo. Dista de la capital siete leguas; 308 habitantes (actualmente 849 aproximadamente), que son todos jornaleros y labradores". El Acuerdo Gubernativo del 31 de mayo de 1 913 declaró de utilidad y necesidad públicas la carretera entre esta aldea y la cabecera, mientras que el del 10 de junio de 1 930 declaró dicha carretera de utilidad colectiva y que se procediese a la expropiación de las fajas de terreno requeridas.

El municipio de San Raymundo cuenta con una extensión territorial de 144 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altura de 1 570 metros sobre el nivel del mar, su clima es frío. Se encuentra a una distancia de 44 kilómetros de la cabecera departamental de Guatemala. Cuenta con 1 pueblo, 7 aldeas y 10 caseríos. Las aldeas son: La Ciénaga, Llano de La Virgen, Pamocá, El Carrizal, Vuelta Grande, La Estancia y El Zarzal.

San Raymundo está bañado por los ríos: Cotzibal, Cuxuyá, de Quezada, Grande o Motagua, Frío, Las Flores, Pajum, Simajuí, Las Vacas, Los

Encuentros, Pamocá, Patzabaj, Rajoní y Ruyalhuit; los Riachuelos: del Limón, 2 El Zarzal; y Las Quebradas: Aguacate, Agua Zarca, Cimarrón y 25 más. Cuenta con los cerros: Curub, Cuxobalajay, Las Granadillas y San Isidro.

Figura 8. **Ubicación de una industria de referencia**



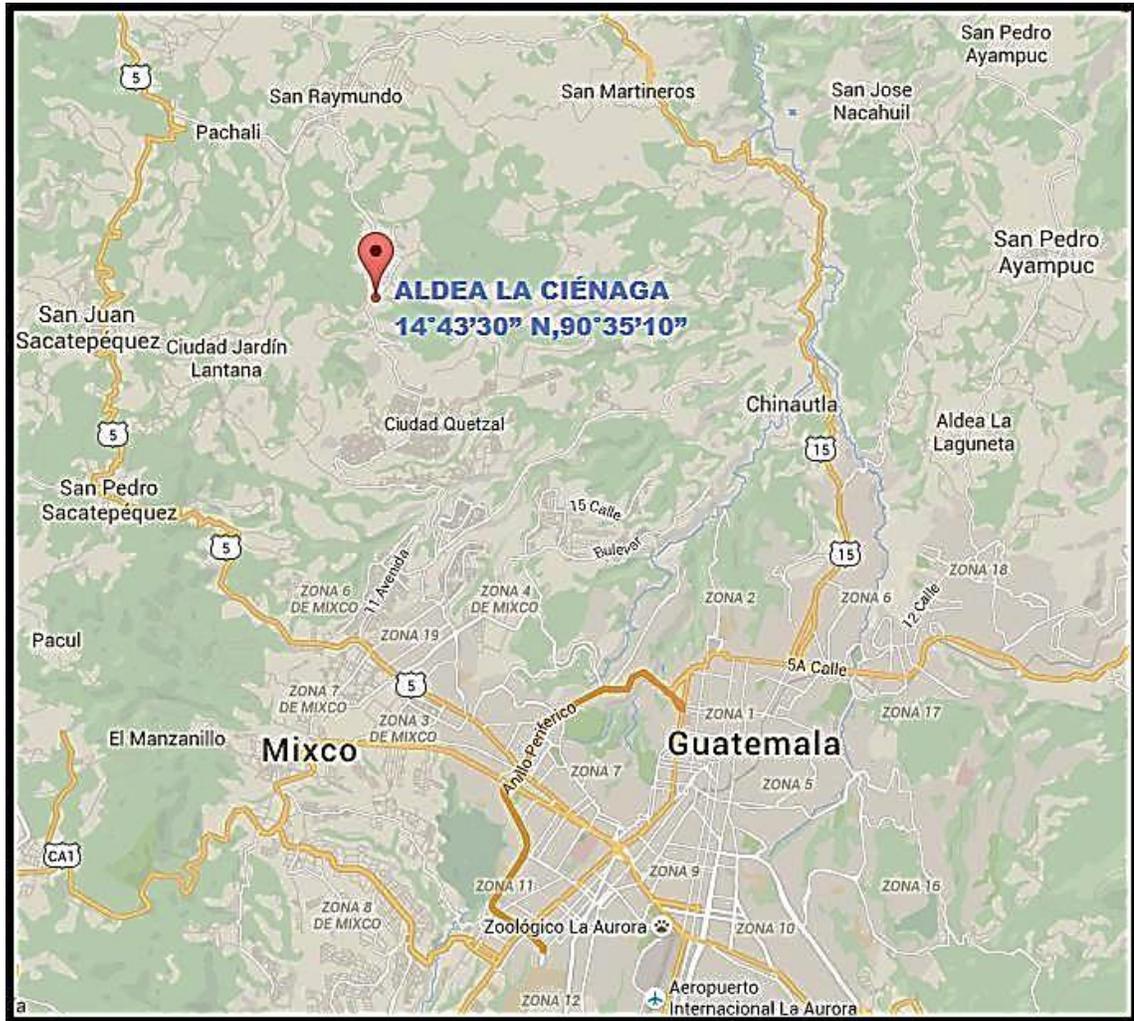
Fuente: Aldea La Ciénaga.

3.1.1. **Ubicación geográfica**

La aldea La Ciénaga se encuentra a 30 kilómetros de la Ciudad Capital, siguiendo la carretera entre Ciudad Quetzal (San Juan Sacatepéquez) y la cabecera municipal San Raymundo, la cual dista 6 kilómetros. Su altitud es de 1 706 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas: latitud $14^{\circ}43'30''$, longitud $90^{\circ}35'10''$ (San Juan Sacatepéquez 2060 II).

La Ciénaga limita al norte con la cabecera del propio municipio de San Raymundo; al sur con Ciudad Quetzal y el municipio de Mixco; al oeste con la cabecera municipal de San Juan Sacatepéquez; y al este con el municipio de Chinautla.

Figura 9. Mapa de ubicación de la aldea La Ciénaga, San Raymundo



Fuente: Google Earth. <https://www.google.com/earth/>. Consulta: enero de 2016.

3.1.2. Etnia

La mayoría de habitantes de la aldea son de la etnia Cakchiquel por la proximidad que esta región tiene con el municipio de San Juan Sacatepéquez. La población ladina es una minoría. Con respecto a la pertenencia étnica en

San Raymundo, un 63 % de la población es indígena y un 37 % no indígena. El idioma predominante es el Cakchiquel, pero la mayoría de sus habitantes también hablan el español.

3.1.3. Idioma

Por el origen de la etnia, el idioma predominante es el Cakchiquel, aunque también por la vinculación que se tiene con otros poblados cercanos, se habla el idioma oficial del país, el castellano. De esta manera podemos decir que la mayoría de habitantes de la aldea La Ciénaga son bilingües.

3.1.4. Costumbres

Su fiesta titular se celebra el 23 de enero, en honor a San Raymundo de Peñafort. Durante las fiestas se presentan las siguientes danzas folklóricas: La Conquista, Moros, Torito, Diablos, Costeño, Fieros y los 12 pares de Francia.

El municipio de San Raymundo en general se dedica a la producción agropecuaria, la cual incluye maíz, frijol y caña de azúcar. Su producción artesanal incluye tejidos de algodón, cerámica, jarcia, imaginería, muebles de madera, productos de hierro, candelas, cuero, teja y ladrillo de barro, cohetería, elaboración de comales y ollas de barro, alfarería, elaboración de floreros de cerámica, fabricación de servilletas y manteles bordados a mano y a máquina.

La aldea La Ciénaga está circunscrita a las costumbres comunes del municipio de San Raymundo en donde sus habitantes tienen por oficio de años la elaboración de cohetes y juegos pirotécnicos. Además, un porcentaje alto de las familias del pueblo se sostienen de las remesas que envían familiares del extranjero.

3.2. Acceso a servicios

La ruta que comunica la aldea es una vía que va desde la capital de Guatemala y conecta a Ciudad Quetzal con San Raymundo, esto le permite ubicar los mercados de los dos lugares. La carretera es asfaltada y atraviesa la aldea con nomenclatura RD (Rutas Departamentales) y se puede transitar sin problemas en invierno como en verano; cuenta con energía eléctrica y en el tema de salud las personas asisten al centro de salud ubicado en el municipio, este centro de salud es tipo "B" y dentro del equipo humano que lo conforma están: 2 médicos, 1 odontóloga, 1 enfermera graduada, 1 trabajadora social, 1 inspector de saneamiento ambiental, 1 técnico de salud rural, 9 auxiliares de enfermería, 1 laboratorista, 1 estadígrafo, 1 secretario y 1 operativo. Además, cuenta con 10 promotores voluntarios en el área de salud rural y 20 comadronas adiestradas, las cuales laboran en salud materna y rural, siendo un total de 50 personas.

En cuanto a seguridad, hay vigilancia por parte de la policía nacional civil de la comisaría número 16. Además, la misma aldea cuenta con una organización de vecinos que combaten la delincuencia, en particular contra las pandillas y asaltantes.

3.2.1. Educación

Los habitantes de aldea La Ciénaga cuentan con la posibilidad de recibir educación primaria y secundaria, ya que funcionan dos escuelas de educación primaria: la Escuela Rural Mixta, "Los Encuentros" y la Escuela Oficial Rural Mixta, "Manuel Martínez Búcaro"; y un instituto de secundaria: INEB (Instituto Nacional de Educación Básica) de Telesecundaria. Además, también existe la

opción de otros centros educativos que se encuentran en el casco central de San Raymundo.

Figura 10. **Escuela ubicada en la aldea La Ciénaga**



Fuente: Escuela Oficial Rural Mixta "Manuel Martínez Búcaro".

3.2.2. Movilización

La movilización de los vecinos de la aldea La Ciénaga se realiza por medio un servicio de transporte que realiza sus viajes desde el centro de San Raymundo hasta la Ciudad Capital, específicamente al punto de interconexión que está ubicado en Ciudad Quetzal, la cual conecta con la colonia El Milagro del municipio de Mixco.

Otra forma de llegar a la aldea es por la vía que, de la Ciudad Capital conecta a San Juan Sacatepéquez, pasando por la aldea Pachalí, Santiago Sacatepéquez y luego la ruta hacia Ciudad Quetzal, pero esta resulta muy

extensa y onerosa. El transporte es constante y se realiza en microbuses y vehículos de palangana (pick up).

Figura 11. **Medio de transporte**



Fuente: Aldea La Ciénaga.

3.2.3. Empleo

El empleo en la aldea La Ciénaga se limita a la realización de trabajos agrícolas como la siembra de maíz, frijol y otro tipo de cultivo, muchos de los vecinos logran ubicarse en algunas de las granjas que cultivan chile pimiento, y otros se ven obligados a buscar empleo en las zonas aledañas a la ciudad de Guatemala.

3.3. Definición de biogás

El biogás es un combustible que se produce por medio de la biodigestión anaeróbica derivada de la descomposición de productos de desecho, tales como estiércoles, materia orgánica y residuos domésticos. Todo el proceso se desarrolla en ausencia de oxígeno.

El biogás está compuesto principalmente por metano (CH_4) y anhídrido carbónico, más conocido como dióxido de carbono (CO_2), conteniendo otros gases en pequeñas concentraciones y vapor de agua.

La obtención del biogás se realiza a través de biodigestores, en los cuales se reproduce el proceso de digestión de manera controlada y con objetivos específicos, el de obtener un combustible en forma de gas que no contamine, y, a la vez, permita el manejo de los desechos que todavía poseen energía utilizable.

3.3.1. Componente químico

A continuación se detallan los componentes químicos del biogás:

- Metano, CH_4 : 54 – 70 % volumen
- Dióxido de carbono, CO_2 : 27- 45 %
- Hidrógeno, H_2 : 1 – 10 %
- Nitrógeno, N_2 : 0.5 – 3 %
- Ácido Sulfhídrico, H_2S : 0,1 %

El gas metano es más ligero que el aire, y en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica, especialmente en los pantanos, y en lugares en donde se concentran residuos orgánicos. Los estiércoles tienen diferentes valores en lo relacionado con la producción de metanos, en una escala ascendente:

- Estiércol de humanos
- Estiércol de cerdos
- Estiércol de vaca

3.3.2. Valor energético

El metano es el principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás, por lo tanto, estará determinado por la concentración de metano, alrededor de 20 a 25 MJ/m³.

3.4. Obtención del biogás

Para obtener el biogás se necesita la materia que lo origina, dicha materia proviene de los desechos orgánicos, específicamente las excretas del ganado vacuno, porcino y especialmente las excretas humanas.

Los desechos mezclados con agua se introducen a un recipiente cerrado llamado digester, que es donde se realiza el proceso de generación de biogás.

El proceso puede durar aproximadamente 35 a 45 días después de realizar la carga con la materia orgánica o desechos. Después de finalizado el proceso, todo el material que fue utilizado para la obtención del gas se convierte en un fertilizante que puede ser utilizado para aplicarlo en plantaciones.

3.4.1. Principios

La generación del biogás es por medio de la digestión anaeróbica (sin oxígeno) de materia orgánica. Este se compone de metano (50 – 70 %) y de dióxido de carbono (30 – 50 %). Adicionalmente contiene trazas de otros diferentes gases. El contenido energético se encuentra en el metano.

La principal ventaja ambiental de la tecnología para la generación y aprovechamiento del biogás está en la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente el metano (CH_4), el dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O). El dióxido de carbono emitido es proporcional al que absorben naturalmente las plantas durante la fotosíntesis. El metano, con un potencial de efecto invernadero de 21 veces mayor al dióxido de carbono, no es liberado en la atmósfera.

3.4.2. Materia prima para generar biogás

La materia prima para obtener el biogás se obtiene de la recolección de residuos tales como el estiércol, orina y otros residuos animales, tales como la sangre, tejidos, grasa, vísceras animales y residuos vegetales mezclados con agua.

Una forma de obtener materia prima para producir biogás es la crianza de cerdos, estos liberan excretas que son muy eficientes en la producción de metanos, también en las granjas de ganado vacuno se puede recolectar las heces y se pueden utilizar.

En general, toda la materia orgánica que se descompone por efecto bacteriano es una materia que puede producir biogás.

3.4.3. Proceso y procedimiento

El proceso se genera a partir de la descomposición bacteriana del material orgánico de desecho, es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), este proceso se divide en cinco fases:

- Ajuste inicial: esta primera fase de descomposición microbiana de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, se realiza bajo condiciones aerobias, mientras se ejecutan las operaciones necesarias para introducir la materia orgánica en un medio que posea condiciones anaerobias.
- Fase de transición: se caracteriza esta fase por el paulatino descenso de las condiciones aerobias, presencia de oxígeno, hasta su completa desaparición, comenzando la etapa anaerobia.
- Fase ácida: en esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno.
- Fase de fermentación del metano: esta fase, dominada por microorganismos que comienzan a desarrollarse hacia el final de la fase ácida, estrictamente anaerobios y denominados metanogénicos, se caracteriza por la conversión del ácido acético y el gas de hidrógeno, producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida, en CH_4 y CO_2 .
- Fase de maduración: esta fase, mucho menos activa en cuanto a la generación de gases se refiere, viene caracterizada por una disminución de la humedad y la conversión del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles.

3.4.4. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos derivados de las actividades agropecuarias, industriales y urbanas, son los generadores de grandes cantidades de energía,

esta energía se encuentra almacenada en la materia orgánica y se puede encontrar en forma líquida o sólida.

La materia orgánica está compuesta de carbohidratos, azúcares y varios nutrientes, todos estos componentes liberan energía que al transferirse a la atmósfera lo hace en forma contaminante. Cuando los residuos orgánicos entran en contacto con bacterias y microorganismos, dan inicio a su descomposición y esta descomposición genera metanos.

Los residuos orgánicos que más se utilizan para la producción de biogás son los estiércoles ya que con estos se produce un porcentaje elevado de energía en forma de gas.

3.4.5. Almacenamiento

En el almacenamiento se debe tomar en cuenta 3 aspectos: almacenamiento de los residuos orgánicos o materia prima, el almacenamiento del biogás, y el almacenamiento del bioabono.

La materia prima puede ser almacenada cerca al digestor o en otro sitio, aunque la necesidad de minimizar el transporte afectará la decisión de ubicar el punto de almacenamiento o el biodigestor. Los residuos orgánicos necesitan instalaciones de almacenamiento apropiadas, las cuales deben planearse de acuerdo a las condiciones y regulaciones ambientales, de higiene y seguridad. Generalmente, muchas instalaciones agrícolas o pecuarias recolectan los residuos en un solo punto de almacenamiento. Estas instalaciones que recolectan y entregan los residuos en un punto en común, cada día o cada tercer día, son las mejores candidatas para implementar la tecnología de producción de biogás. El punto en común puede ser una laguna, piscina, pila,

tanque (para reducir el escape de olores) u otra estructura similar. Para esto, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Recolectar residuos en un solo punto hace más fácil cargar el digestor. En este punto, los residuos pueden ser mezclados con agua y homogeneizados antes de que entren al digestor.
- Si la instalación no tiene un punto en común de recolección, se debe evaluar la posibilidad de unir los puntos de producción o de recolección. Si hay dos o tres puntos de producción o de recolección de importancia, puede ser posible utilizar más de un biodigestor.

El biogás se almacena en el reservorio, el cual está hecho de plástico y tiene una función como la de un cilindro de gas propano. Va a servir para aumentar la presión en el caso de que ésta descienda. El reservorio tiene que estar colocado cerca de la cocina, cuidando que no esté cerca del fuego, y también debe estar en un espacio protegido bajo techo. Gracias a estos reservorios se da presión al biogás, garantizando aproximadamente una hora de cocina por cada reservorio. Sin reservorios, solo se tendrá de 20 - 30 minutos de biogás.

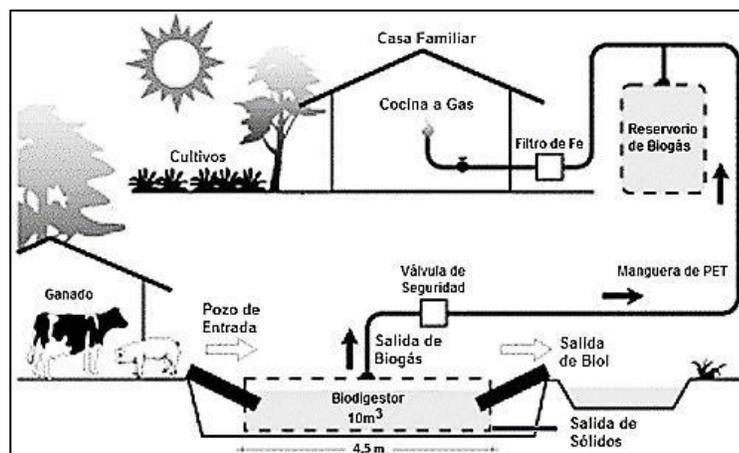
Aparte del biogás, en la digestión anaerobia se obtiene el efluente líquido o bioabono. El efluente es una solución orgánica estabilizada que tiene valor como fertilizante y por ello puede ser utilizado en irrigación de pastos y cultivos. Una evaluación de la presencia de organismos patógenos es recomendable para disminuir los riesgos a la salud pública en el momento de la aplicación. El efluente del biodigestor también puede ser aprovechado en la generación de biomasa que puede servir de alimento potencial de ganado. Esto se logra combinando el sistema de tratamiento del biodigestor con “lagunas *ducweed*”

(lenteja de agua). La lenteja de agua es una macrofitas con un alto contenido de proteína, una tasa elevada de crecimiento y con capacidad de remover nutrientes de las aguas residuales (Nitrógeno y Fósforo). Estas características la potencializan para la recuperación de biomasa. Dependiendo del tamaño de la instalación y de la cantidad de efluente obtenido, se requiere proveer en el sistema un sitio para su almacenamiento, esto con el propósito de usarlo o comercializarlo posteriormente.

3.5. Esquema de un sistema de producción de biogás

En este esquema se detalla la forma en que se obtiene la materia orgánica, la cual se instala en el biodigestor que fermenta los materiales y luego se produce el biogás, el cual puede ser aplicado a la industria para generar energía eléctrica y también en los hogares para uso doméstico como sustituto de la leña.

Figura 12. Esquema del proceso de obtención y utilización del biogás



Fuente: Fundación Energizar. www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_biodigestor_como_funciona.html. Consulta: 3 de marzo de 2016.

3.5.1. Componentes y sus funciones

El sistema de producción del biogás está compuesto principalmente o generalmente de las siguientes funciones:

- Depósito de residuos orgánicos: aquí es donde se almacena la materia prima que posteriormente es introducida al biodigestor.
- Depósito del efluente: es la parte de salida del efluente del biodigestor, donde se almacena para su posterior utilización en los cultivos, o bien para su comercialización.
- Biodigestor: es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, en el que procesa la materia orgánica para producir el biogás y bioabono, a través de la fermentación anaerobia. En este caso, es un domo de plástico introducido en una zanja.
- Salida del biogás: es la parte donde se une el biodigestor con a la tubería que conducirá el biogás a la fuente de almacenamiento y utilización.
- Tubería de conducción del biogás: es la encargada de transportar el biogás desde el biodigestor hasta la vivienda donde será utilizado el mismo. Es una tubería de PVC de ½" y es elevada, no soterrada.
- Purgadores de agua: se colocan en puntos bajos de la tubería de conducción del biogás, y su función es la de purgar el agua de condensación que se pueda llegar a tener.
- Válvula de seguridad: se coloca cerca del biodigestor para que se puede revisar diariamente. Permite el escape del biogás en el caso de que éste

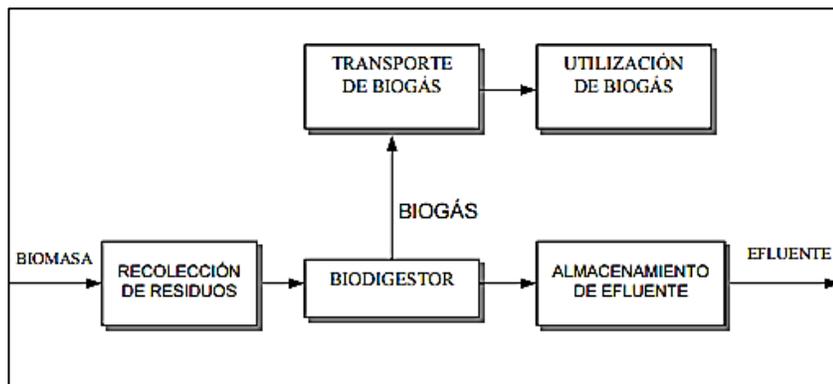
no se consuma, al mismo tiempo ayuda a que no entre aire del exterior al sistema, lo cual perjudicaría el proceso interno del biodigestor.

- Reservorio de biogás: en esta parte es donde se almacena el biogás que será consumido o utilizado en la cocina, generación de electricidad, iluminación o bien en calentadores de agua, entre otros.
- Estufa de biogás: es uno de los aparatos en donde se utiliza el biogás para la preparación de alimentos, tiene quemadores especiales para este tipo de combustible. Asimismo, hay otros aparatos en los que se utiliza el biogás, como una planta eléctrica, lámparas, calentadores de agua, entre otros.

3.5.2. Diagrama de flujo

En la siguiente figura se detalla el diagrama de flujo para la obtención y posterior utilización del biogás y bioabono.

Figura 13. Diagrama de flujo en la producción de biogás



Fuente: Unidad de Planeación Minero Estratégico (Bogotá, Colombia). *Guía de implementación de sistemas de biogás*. p. 13.

3.6. Uso y aplicación

El uso de biogás es variado, es una tecnología utilizada desde hace muchos años en Alemania, específicamente desde 1914. Se puede utilizar en las cocinas, así como también en la producción de energía eléctrica; el biogás se produce a partir de la generación de metanos en un proceso de biodigestión, es una alternativa no contaminante basada en el aprovechamiento de los residuos orgánicos. Este tipo de combustible se puede utilizar como sustituto de la combustión de madera, en especial en los hogares rurales en donde el uso de la leña es común, la industria también se puede beneficiar de esta producción de combustible, ya que se puede aprovechar en los hornos para fabricar ladrillos y otros materiales.

Otras aplicaciones del biogás: se puede utilizar en motores de combustión interna, en plantas pequeñas de producción de energía eléctrica, así como en las cocinas y hornos para la elaboración de pan. En cuanto al alumbrado, en pueblos no conectados a una red eléctrica, la iluminación es una necesidad básica y un símbolo de "status". Bajo esta situación, el uso de lámparas de biogás se hace adecuado para este tipo de comunidades. La luz brillante reflejada por las lámparas de biogás se debe al intenso calor que induce la luminosidad de metales especiales como son el Torio, Cerio y Lantano a temperaturas de 1 000-2 000 °C.

Alrededor de 400-500 lúmenes son los flujos de luz alcanzados, los cuales son equiparables con los obtenidos con lámparas de bulbo de 25-75 watts. Un buen funcionamiento de una lámpara de biogás depende de la calibración óptima de llama y del cuerpo incandescente que debe ser rodeado por la llama con el mínimo consumo de gas. Las lámparas a biogás poseen un bajo rendimiento, por eso se calientan extremadamente. Si se cuelgan muy cerca del

techo, existe peligro de incendio, ya que las camisas incandescentes no duran mucho. Por eso, en muchos casos, las lámparas de biogás no pueden ser utilizadas de manera eficaz. Las lámparas necesitan unos 10 centímetros de columna de agua la presión.

3.6.1. Cocinas

El color de la flama que genera el biogás es azul, el diseño del quemador es diferente al quemador que se utiliza en el gas propano, la hornilla va conectada al ducto que sale directamente del biodigestor. En el mercado ya existen quemadores para este tipo de gas lo cual permite que se puedan obtener para instalarlos en las cocinas en donde se sustituya la leña.

Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, de bajos costos y alta eficiencia en el uso del combustible. En la mayoría de las viviendas se cocina en dos fogones, por ello se da preferencia a quemadores de dos llamas. Los quemadores deben ser graduados al principio y a continuación deben ser fijados, así se mantiene un alto rendimiento.

El rendimiento es bueno, un litro de agua hierve rápidamente (entre 8 y 12 minutos). Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado; en tal caso, el rendimiento es bajo. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 hasta 20 centímetros de columna de agua, es la más apropiada para cocinar.

Figura 14. **Estufa funcionando con biogás**



Fuente: *Red biogás*. www.redbiogas.cl/?p=975. Consulta: 20 de marzo de 2016.

3.6.2. Vehículos

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna, tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 (la gasolina súper por ejemplo tiene un octanaje de 97), lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, aunque, por otro lado, una desventaja sea su baja velocidad de encendido. El número de octano, a veces denominado octanaje, es una escala que mide la capacidad antidetonante del carburante (como la gasolina) cuando se comprime dentro del cilindro de un motor.

En los motores de Ciclo Otto, el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100 % de biogás con una merma de la potencia máxima del 20 al 30 %.

A los motores de Ciclo diésel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diésel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro, lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85 al 90 %, debido a que la autonomía conseguida es menor comparada con la original.

3.6.3. Máquinas industriales

Los motores a biogás tienen un amplio espectro de aplicación, siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

Es indudable que el uso de este modelo de combustible tiene suma importancia en el mundo de la tecnología mecánica para la producción, las máquinas industriales pueden funcionar con biogás y tener un rendimiento óptimo a bajo costo y de fácil generación.

Los motores con ignición por chispa pueden funcionar solamente con biogás, mientras que los motores diésel requieren algunas modificaciones para permitirles que funcionen principalmente con biogás, suplementado con combustible diésel. Esto es una operación de “combustible dual” con hasta el 60 % del requerimiento de combustible diésel reemplazado por biogás. La experiencia demuestra que no es práctico reemplazar una mayor proporción del requerimiento de diésel, debido a las limitaciones operacionales de este tipo de motores.

La temperatura de la cámara de combustión del motor es mayor (aproximadamente 700 °C) al final de la carrera de compresión, pero esto es menor que la temperatura a la cual la mezcla biogás/aire hace ignición espontáneamente. De esta forma, siempre se requiere inyección de un pequeño suplemento de combustible diésel para asegurar la ignición fácil de la mezcla de biogás/aire. La mayoría de los motores diésel pueden ser modificados para su operación con combustible dual. En muchos casos, el arreglo más sencillo es el de conectar el tubo del suministro de biogás directamente al tubo de admisión de aire de motor, después del filtro. Para asegurar una operación satisfactoria con combustible dual, el ácido sulfhídrico del biogás debe ser removido por purificación. La potencia pico de salida de un motor diésel modificado que funciona con biogás es del 25 al 35 % menor que cuando se usa combustible diésel exclusivamente.

En principio, los motores de gasolina también pueden funcionar con biogás, usando un poco de gasolina para arrancar. Se puede utilizar un carburador estándar para alimentar el biogás, pero los carburadores diseñados exclusivamente para gas, generalmente darán mejores resultados. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás. La presión del gas puede ser baja porque los motores succionan el gas.

Figura 15. **Planta portátil de producción de energía eléctrica a base de biogás**



Fuente: *Producción de Biogás*. www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/biocombustibles/ProduccionBiogasGranjaMarujo.asp. Consulta: 1 de abril de 2016.

3.7. Ventajas del uso de biogás

El uso del biogás tiene y posee varias ventajas, dentro de las cuales se pueden listar las más importantes: las económicas y las ecológicas, las cuales se detallarán a continuación.

3.7.1. Ventajas económicas

Los beneficios directos del uso de la biodigestión pueden ser estimados en base al uso del biogás, como una fuente alternativa a energías no renovables, y a la aplicación del efluente como una sustitución de nutrientes aportados por fertilizantes sintéticos. El valor comercial del biogás como fuente de energía fue estimado en su equivalente en valor energético de un combustible fósil que puede ser reemplazado por el uso de biogás. Un combustible comúnmente utilizado en zonas rurales donde los biodigestores son instalados, es el diésel.

El valor neto en calorías de un metro cúbico de biogás equivale a la energía emitida por la combustión de 0,145 galones de diésel.

Así, la producción anual de 693,50 m³ de biogás (50 días de retención) equivale a 100,77 galones de diésel y 591,30 m³ (40 días de retención) equivalen a 85,92 galones de diésel. El valor comercial de un galón de diésel en Guatemala es de Q 15,82, según el Ministerio de Energía y Minas al 25 de julio de 2016. Calculando la cantidad de biogás por su equivalente energético en diésel por su valor comercial, los beneficios directos derivados de la combustión de biogás ascienden a un rango de entre Q 1 361,83 a Q 1 594,18. Referente al valor económico del efluente, el precio por nutriente es calculado con base en el valor comercial por kilo de cada nutriente de los fertilizantes sintéticos.

El valor económico anual del efluente se obtiene mediante el análisis del contenido nutricional del material, multiplicado por el precio comercial por kilo de nutrientes como Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Este valor se estima en Q 174,87 por la producción de 58,4 kg de Nitrógeno, Q 1 123,39 por la producción de 36,5 kg de Fósforo y Q 671,84 por el contenido de 55,2 kg de Potasio, para un total de Q 1 970,10. Los principales beneficios directos derivados de la aplicación de la biodigestión a bajo costo (tabla I) pueden incrementarse si el efluente se seca y se vende como fertilizante sólido a otras fincas a un precio mayor que el comercial. Falta por valorar la materia orgánica que contiene el efluente y de la cual carecen por completo los fertilizantes sintéticos.

Tabla I. **Beneficios directos de la aplicación de un sistema de digestión anaeróbica utilizando un biodigestor de 7,2 m³ con una carga anual de 7 885 kg de excrementos frescos de cerdo**

Beneficios	Valor	
	Caso A	Caso B
A. Biogás como fuente de energía		
a. Producción neta anual de biogás (m ³ /año)	696,50	591,30
b. Equivalente neto a la combustión de combustible fósil (galones de diesel)	100,77	85,92
c. Precio comercial por galón de diesel	Q 15,82	Q 15,82
d. Ahorro total anual por el uso de biogás (b * c)	Q 1 594,18	Q 1 361,83
B. Efluente como fertilizante		
e. Nitrógeno	Q 174,87	Q 174,87
f. Fósforo	Q 1 123,39	Q 1 123,39
g. Potasio	Q 671,84	Q 671,84
h. Beneficios totales derivados del uso del efluente (e + f + g)	Q 1 970,10	Q 1 970,10
C. Beneficios directos totales al año (d + h)	Q 3 564,28	Q 3 331,93
Caso A: 20 días de tiempo de retención (Xuan An <i>et al</i> , 1997).		
Caso B: 50 días de tiempo de retención (Botero y Preston, 1986).		

Fuente: AGUILAR, F. y BOTERO, R. Revista Tierra Tropical. *Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo.* p. 54

La tabla II muestra los Beneficios Económicos Totales de la aplicación de un biodigestor de 7 2 m³. Los valores directos se calcularon en base al valor comercial que tienen el biogás y el efluente para reemplazar otros insumos. Los valores funcionales representan la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero en forma de CO₂. Los Beneficios Económicos Totales para un biodigestor se estiman para un período de 20 años (tabla II). Es importante recalcar que cada 10 años el sistema debe ser reemplazado completamente. El costo de instalación de un biodigestor (incluyendo materiales y mano de obra) es de Q 1 135,50.

Tabla II. **Beneficios económicos totales derivados de la aplicación de la tecnología de biodigestión para un biodigestor de 7,2 m³ en un periodo de 20 años**

	Años					
	0	1	5	10	15	20
Beneficios en Quetzales						
Valor de biogás	1 123,39	1 157,85	1 302,34	1 509,76	1 750,18	2 028,99
Valor de efluente	1 970,09	2 029,21	2 283,87	2 647,61	3 069,33	3 558,20
Valor funcional	266,09	274,03	308,48	367,61	414,53	480,54
Beneficios totales	3 093,48	3 187,06	3 586,21	4 157,37	4 819,51	5 587,19
Costos en Quetzales						
Instalación	1 135,50	0	7,57	1 526,04	0	2 050,86
Manejo	1 105,22	1 138,38	1 281,22	1 485,31	1 721,87	1 996,13
Costos totales	2 240,72	1 138,38	1 288,79	3 011,35	1 721,87	4 046,99
Beneficios netos por año en Quetzales	852,76	2 048,68	2 297,42	1 146,02	3 097,64	1 540,20

Fuente: AGUILAR, F. y BOTERO, R. Revista Tierra Tropical. *Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo.* p. 56.

3.7.1.1. Combustible a bajo costo

En términos económicos, la ventaja de obtener la materia prima de los desechos de productos vegetales, animales y humanos, es la de poder tener al alcance un combustible a bajo costo en lo relacionado a su materia prima, a su instalación y a su producción.

3.7.1.2. Materia prima sin costo

Cuando se dice que la materia prima es sin costo, se refiere a que podemos practicar un modelo de recolección de desechos, el cual no involucre invertir un capital elevado para poder conseguirlo, ya que la materia prima son residuos que ya no se utilizan para el consumo primario de los usuarios.

3.8. Ventajas ecológicas

Cuando se produce biogás, el proceso involucra un aprovechamiento total de la materia en descomposición, esto hace que los metanos producidos en este proceso se puedan quemar y no contaminen la atmósfera, así también se minimiza la tala de árboles para el consumo de leña.

Las ventajas ecológicas incluyen beneficios intangibles del uso de biodigestores como lo son:

- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (CH_4 y CO_2 por ejemplo) gracias a la reducción de la demanda de combustibles fósiles y por la captura controlada de gas CH_4 .
- Ahorro en el consumo de leña, previniendo deforestación y aportando energía, aún en períodos de escasa oferta de leña.
- Control de contaminación, disminución de malos olores (reducción en la emisión de SO_2) y disminución de enfermedades respiratorias asociadas a la quema de leña.
- Mejor control de plagas, reducción de patógenos y semillas de maleza.

Se estima que el potencial que tiene la instalación de un biodigestor para reducir la emisión de gases de efecto invernadero se basa en su capacidad para disminuir la emisión de CO_2 en comparación con combustibles fósiles. Un análisis teórico estima que un biodigestor de $7,2 \text{ m}^3$ puede producir al año entre 3 524 y 4 133 kW, considerando que un metro cúbico de biogás representa un equivalente de 5,96 kW. Con la combustión de biogás, en lugar de combustibles

fósiles, como el caso del diesel, hay un potencial de reducir 0,34 kg. de CO₂ por kW de energía producido. El valor total que puede reducirse por año en términos de CO₂ es del orden de 1,20 a 1,41 toneladas para un biodigestor de 7,2 m³ (tabla III).

Tabla III. **Disminución en la emisión de CO₂ por el uso de biogás producido por un biodigestor de 7,2 m³ como alternativa a la combustión de diésel**

Tiempo de retención (días)	Producción de Biogás (m ³ /año)	Energía producida* (kW/año)	Ahorro en emisión** (kg CO ₂ /kW)	Disminución en total emisión de CO ₂ (kg/año)	Disminución total en emisión de CO ₂ (toneladas/año)
20	591,30	3 524,15	0,34	1 198,21	1,20
50	683,50	4 133,26	0,34	1 405,31	1,41

* El equivalente calorífico de 1 m³ de biogás es de 5.96 kW. (Sasse, 1988).
 ** Disminución de emisiones es tomado por Kumar *et al.* (2000).

Fuente: AGUILAR, F. y BOTERO, R. Revista Tierra Tropical. *Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo.* p. 53.

Tal como lo muestra la tabla anterior, un biodigestor de 7,2 m³ puede evitar la emisión de 1,20 a 1,41 toneladas de dióxido de carbono al año, cuando es comparado con la combustión de diésel. El Departamento del Ambiente del Reino Unido (DOE, 1993) ha estimado que el valor de la emisión de una tonelada de CO₂ a la atmósfera (como un contaminante global) fluctúa entre US\$ 5 a US\$ 45 por año. Por tanto, el ahorro externo gracias a la emisión de esa cantidad de CO₂ al año, gracias a la implementación de un biodigestor de 7,2 m³ se estima de entre US\$ 7 a US\$ 63.

Este valor puede parecer como un monto minúsculo, pero a una escala regional y mundial adquiere una mayor dimensión. En la India en 1995 se estima que existían 14 millones de biodigestores en funcionamiento. De este

número, 2,1 millones eran plantas de 6 a 10 m³. De estos datos y el valor estimado de una tonelada de CO₂ emitida en la atmósfera, a nivel nacional, la India podría ahorrar entre US\$ 246 015 840 a US\$ 1 876 392 000 en costos evitados relacionados a daños que puede causar el CO₂ en la atmósfera.

3.8.1. Energéticas

La ventaja energética del biogás está relacionada con su poder calorífico ya que es suficiente para la producción de una flama que permite la cocción de alimentos y su obtención es de una forma continua, aprovechando la química de los metanos CH₄ producidos en la descomposición bacteriana. Es una fuente de energía renovable, de uso eficiente y de generación distribuida en el desarrollo rural.

El biogás es un gas que puede competir con otros combustibles ya que su obtención no está ligada a depender de plantas a gran escala, cuando se trata de un aprovechamiento doméstico. En la siguiente tabla se hace un comparativo con el gas natural, el gas propano (GLP), gas metano y el hidrógeno.

Tabla IV. **Comparativo del valor energético con otras fuentes**

Valores	Biogás (CH ₄ -65 %; CO ₂ -35 %)	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrógeno
Valor calorífico (kWh/m ³)	7	10	26	10	3
Densidad (ton/m ³)	1,08	0,7	2,01	0,72	0,09
Densidad con respecto al aire	0,81	0,54	1,51	0,55	0,07
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6 - 12	5 - 15	2 - 10	5 - 15	4 - 80

Continuación de la tabla IV.

Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0,31	0,39	0,42	0,47	0,43
Requerimiento teórico de aire (m³/m³)	6,6	9,5	23,9	9,5	2,4

Fuente: Manual de biogás. *Lo básico para entender el biogás*. p. 55

Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor, y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad, y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso, en contraste; si se utilizara el biogás, sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, mayores a 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S (bajo 100 ppm) y vapor de agua. Las celdas de combustible se consideran las plantas de energía, a pequeña escala, del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60 % y bajas emisiones.

Para hacer una comparación con otras fuentes que describa la cantidad de energía que tiene el biogás, se toma como base que un metro cúbico (1 m³) de biogás es igual a 6,000 kilocalorías, y esto es equivalente a:

- 6,8 kilovatios de electricidad
- 0,6 metros cúbicos de gas natural
- 0,8 litros de gasolina
- 1,2 litros de alcohol combustible
- 0,3 kilogramos de carbón
- 0,71 litros de fueloil
- 1,5 kilogramos de madera

3.8.2. Agrícolas

El proceso final de la biodigestión es la obtención de un bioabono, el cual se puede aprovechar para la aplicación en las plantaciones como fertilizante y lograr de esta forma la mejora en los suelos para obtener una producción de legumbres o árboles frutales. En una planta de biogás, un beneficio adicional es la producción de un fertilizante de alta calidad, el nitrato, fósforo y potasio permanecen inalterados prácticamente durante el proceso biológico y más aún, incrementan su concentración. Es así que la producción de biogás inicia un circuito cerrado de nutrientes, si se usa este fertilizante en los campos para cultivar y cosechar.

Este fertilizante orgánico tiene mayores ventajas, entre las cuales están: las plantas pueden aprovecharlo mejor que, por ejemplo, el estiércol o purín líquido; la mitad del nitrato es amonio, el cual la planta absorbe fácilmente y de manera rápida; la otra parte es nitrato orgánico, un fertilizante ideal para sus cosechas en el largo plazo; otra importante ventaja es el suave olor de este fertilizante, en comparación con el estiércol líquido. Muchos de los compuestos de azufre, de olor intenso, son degradados por reacciones bioquímicas. El material resultante puede ser esparcido directamente en los campos de manera fácil.

3.8.3. Ambientales

La ventaja más importante en términos ambientales es simple, porque se reduce la tala de árboles; de esta manera se logra disminuir la contaminación por los metanos liberados en la superficie de la tierra hacia la atmósfera. La producción de biogás es sostenible, renovable y neutral respecto al ciclo del carbono, y reduce la dependencia de importación de combustibles fósiles. En algunos casos, los productores de biogás son totalmente independientes energéticamente, al producir toda la electricidad y calor que necesitan en sus instalaciones.

El uso de biogás colabora en la consecución del objetivo de la Unión Europea de alcanzar el 20 % de energías renovables en el 2020. El biogás es una forma de suministro de energía neutro respecto al ciclo del carbono. Las materias primas procedentes de plantas y animales sólo emiten el dióxido de carbono que hayan acumulado durante los ciclos vitales y que se emitiría a la atmósfera igualmente, aunque no fuera aprovechada su energía. En conjunto, la electricidad producida por biogás genera mucho menos dióxido de carbono que otra energía convencional. Por lo tanto, 1 kW de electricidad producida por biogás previene la liberación de 7 000 kg de CO₂ al año.

Otros beneficios medioambientales del biogás son:

- Se reduce la emisión de metano a la atmósfera, que es también un gas de efecto invernadero.
- Establece centros descentralizados de producción de energía.
- Provee de fertilizantes de alta calidad.
- Reduce la producción de malos olores de la materia orgánica en descomposición.

- Se crea un valor añadido sobre los residuos.
- Se minimiza la dependencia de recursos energéticos exteriores.

4. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PRODUCTOR DE BIOGÁS

4.1. Selección de biodigestor

Para poder seleccionar el modelo de biodigestor que necesitamos instalar, es necesario establecer la cantidad de usuarios que se beneficiarán, así como la posibilidad de obtener la materia prima o desechos orgánicos para la producción del gas.

Para los pobladores de la aldea La Ciénaga se les propone la opción del modelo de biodigestor familiar tubular de manga de polietileno; en lo relativo a los quemadores, también se encuentran en el mercado diseños a precios accesibles. Los biodigestores también se pueden elaborar de PVC (Cloruro de Polivinilo) y polipropileno, estos materiales son los más utilizados cuando se refiere a minimizar costos.

Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en América Latina, sólo países como Cuba, Colombia y Brasil tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una tecnología apropiada. Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (dos o tres vacas, por ejemplo) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado.

Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar. También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera. Son tres los límites básicos de los biodigestores: la disponibilidad de agua para hacer la mezcla con el estiércol que será introducida en el biodigestor, la cantidad de ganado que posea la familia (tres vacas son suficientes) y la apropiación de la tecnología por parte de la familia.

Este modelo de biodigestor consiste en aprovechar el polietileno tubular empleado en su color natural transparente en carpas solares, para disponer de una cámara de varios metros cúbicos herméticamente aislada. Este hermetismo es esencial para que se produzcan las reacciones biológicas anaeróbicas. La membrana de polietileno tubular se amarra por sus extremos a tuberías de conducción, de unas seis pulgadas de diámetro, con tiras de liga recicladas de las cámaras de las ruedas de los autos. Con este sistema, calculando convenientemente la inclinación de dichas tuberías, se obtiene un tanque hermético. Al ser flexible el polietileno tubular es necesario construir una “cuna” que lo albergue, ya sea cavando una zanja o levantando dos paredes paralelas.

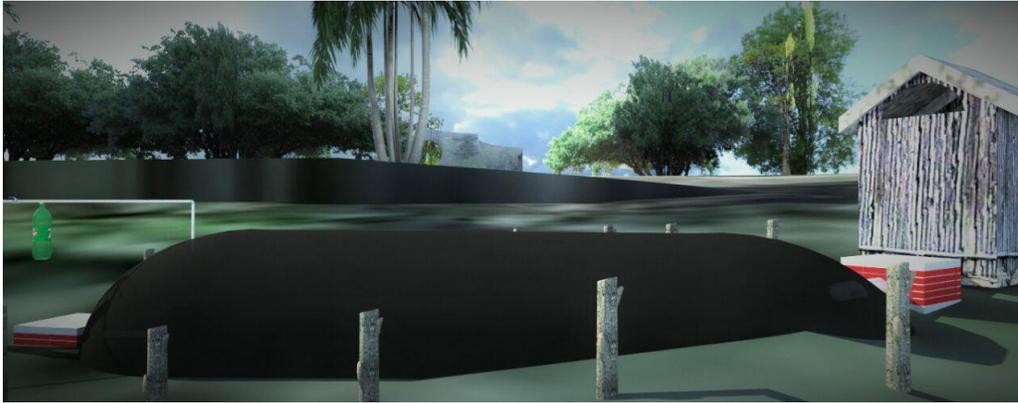
Una de las tuberías servirá como entrada de materia prima (mezcla de estiércol con agua de 1:4 o 1:3 según el tipo de estiércol). En el biodigestor se alcanza finalmente un equilibrio de nivel hidráulico, por el cual, tanta cantidad de estiércol mezclado con agua es agregada, tanta cantidad de fertilizante sale por la tubería del otro extremo. Debido a la ausencia de oxígeno en el interior de la cámara hermética, las bacterias anaerobias contenidas en el propio

estiércol comienzan a digerirlo. El producto gaseoso llamado biogás, realmente tiene otros gases en su composición como son el dióxido de carbono (20-40 %), nitrógeno molecular (2-3 %) y sulfhídrico (0.5-2 %), siendo el metano el más abundante con un 60-80 %. La conducción de biogás hasta la cocina se hace de manera directa, manteniendo todo el sistema a la misma presión: entre 8 y 13 cm de columna de agua, dependiendo la altura y el tipo de fogón.

Esta presión se alcanza incorporando en la conducción una válvula de seguridad construida a partir de una botella de refresco. Para hacerla se incluye una "T" en la conducción, y mientras sigue la línea de gas, al tercer extremo de la T se le conecta una tubería que se introduce en el agua contenido en la botella, unos 8 a 13 cm. También se añade un reservorio, o almacén de biogás, en la conducción, permitiendo almacenar unos 2 a 3 metros cúbicos de biogás. Estos sistemas adaptados para altiplano han de ser ubicados en "cunas" enterradas para aprovechar la inercia térmica del suelo, o bien dos paredes gruesas de adobe en caso que no se pueda cavar.

Además, se les encierra a los biodigestores en un invernadero de una sola agua, soportado sobre las paredes laterales de adobe de 40 cm de grosor. Estos tapias de adobe laterales acumularán el calor del efecto invernadero, de manera que en las noches de helada mantendrán al biodigestor aún en funcionamiento, por su gran inercia térmica. En el caso de biodigestores de trópico o valle, el invernadero es innecesario y, de hecho, hay que proteger el biodigestor de los rayos directos del sol.

Figura 16. **Domo del biodigestor**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketch up.

4.1.1. Digestor de bajo costo

Un digestor de bajo costo es aquel que permite a las familias que lo utilizan, bajar sus costos en cuanto al uso de leña, y en algunos casos la utilización de gas propano o GLP. Se establece también el bajo costo en cuanto a la operación por la materia que utiliza para la generación de metanos CH_4 , la cual está vinculada a los desechos orgánicos de origen animal, en este caso estiércoles de ganado bobino y porcino, esto permite abaratar el proceso de producción en cuanto a la conducción.

La utilización de una bolsa de alguno de estos materiales se convierte en el depósito de almacenaje del biogás, la cual va unida a la fosa en donde se vierten los desechos orgánicos.

Los costos en materiales para la instalación (tabla IV) son de aproximadamente Q 1 135,50, considerando que los mismos pobladores pueden efectuar dicha instalación, ahorrándose costos de mano de obra.

Asimismo, podemos concluir que es un costo relativamente bajo y que esto conllevará no sólo a un ahorro posterior, sino incluso a un ingreso adicional.

4.1.2. Proceso de biodigestión

El biogás es producido por las bacterias arqueo-metanógenas que se multiplican y actúan en ausencia de oxígeno, viven en el intestino de los humanos y de los animales rumiantes y monogástricos donde están presentes en grandes cantidades y contribuyen a digerir los alimentos.

Cuando los estiércoles salen del estómago del animal, la presencia de estas arqueobacterias es abundante, por lo cual se pueden aprovechar para obtener en el proceso de biodigestión la producción de metanos que son los encargados de producir el biogás.

El proceso para obtener el biogás es a través trasladar los estiércoles a la fosa en donde se completa la degradación de los desechos.

4.1.3. Medidas del biodigestor

Las medidas o dimensiones de un biodigestor dependen de la cantidad de gas que la demanda exige. En el caso de un biodigestor que provea a una familia de hasta 25 personas, las medidas deben ser de 4 metros de ancho, 8 metros de largo y 2.5 metros de profundidad.

Cálculo del diámetro de la estructura tubular

- $\text{Radio} = \frac{\text{Circunferencia}}{2 * \pi} = \frac{4 \text{ m}}{2 * 3,1416} = 0,64 \text{ m}$
- Cálculo de la capacidad total de biodigestor

- Volumen del cilindro = $\pi * r^2 * l = \pi * (0,64 m)^2 * 8 m = 10,294 m^3$
- Volumen del cilindro = 10 294 litros
- Fase líquida, estiércol-agua (75 %) = 7 720 litros
- Depósito para el biogás (25 %) = 2 574 litros
- Producción diaria de biogás (35 % de la fase líquida) = 2 702 litros

Se puede esperar una producción diaria de biogás equivalente al 35 % del volumen de la fase líquida (2 702 litros aproximadamente según este caso). Con un consumo de hasta 150 litros de biogás por hora. Por cada quemador, se logra que el biogás producido permita un tiempo de cocción, en este caso, 18 horas al día.

4.1.4. Materiales a utilizar

En la siguiente tabla se presentan los materiales con sus respectivos precios, los cuales indican la inversión inicial que se debe realizar para instalar el sistema para producir biogás.

Tabla V. **Materiales para la elaboración del biodigestor y su costo**

28	Metros de membrana tubular transparente de polietileno calibre 6, de dos metros de ancho y esto nos da un diámetro de 4 metros	Q 625,00
2	Tubos de concreto de 16 pulgadas de diámetro por un metro de largo	Q 75,00
2	Metros de manguera plástica flexible, de vinil transparente de 1 ¼ de diámetro	Q 10,00
1	Adaptador macho de ½ pulgada de diámetro	Q 2,50
1	Adaptador macho de ½ pulgada de diámetro	Q 2,50
1	Adaptador hembra de ½ pulgada de diámetro	Q 2,50
1	Te de PVC de una pulgada de diámetro	Q 3,50
2	Reducciones no roscadas	Q 6,00
60	Metros de Tubería PVC de ½ pulgada	Q 180,00
1	Estufa con doble quemador de biogás	Q 228,50
	TOTAL	Q 1 135,50

Fuente: elaboración propia.

4.2. Instalación

En el proceso de instalación se debe preparar la fosa en donde se verterán los residuos con su respectiva entrada, para la alimentación de los desechos en el fondo de la misma. A continuación se detalla dicho proceso:

- Doble capa de plástico: cortar los rollos de polietileno tubular negro de la medida deseada, dejando 50 cm de sobra en los dos extremos de entrada y salida. Una manga de plástico se extiende completamente en el suelo y la otra se recoge con cuidado en uno de sus extremos. Una persona agarra dicho extremo y, sin soltarla, cruza por el interior del biodigestor, de manera que quede una sola manga de doble capa, ya que se trata de un rollo tubular, sin costuras.
- Salida del biogás: en la mitad superior del biodigestor realizar un pequeño corte sobre las dos capas de plástico y colocar un pasamuros (flange) según se muestra en las fotos. Cuidar mucho el completo sellado para evitar que entre aire del exterior al biodigestor.

Figura 17. **Instalación de la conexión de salida del gas**



Fuente: *Renewable Energy for Rural.*

Farmerswww.albertcampi.wordpress.com/2012/01/25/cocinas-con-biogas-construccion-de-biodigestores-de-bajo-costo-ii/. Consulta: 20 de mayo de 2016.

- Tubos de entrada y salida: una vez hecha la salida del biogás, es el momento de cerrar los extremos de la manga de plástico, amarrándolos a las tuberías de entrada y salida. Para ello se realizan pliegues en forma de acordeón y se amarran fuertemente con liga de neumático.
- Introducción en la zanja: con sumo cuidado de no provocar ningún agujero, se coloca en la zanja previamente preparada, revisando que no tenga arrugas.

Figura 18. **Introducción de la membrana en la zanja**



Fuente: *Renewable Energy for Rural.*

Farmerswww.albertcampi.wordpress.com/2012/01/25/cocinas-con-biogas-construccion-de-biodigestores-de-bajo-costo-ii/. Consulta: 20 de mayo de 2016.

- Nivel de salida del lodo: hay que calcular que la mezcla de estiércol y agua no tapone la entrada de aire y también su escape. Solo tiene que salir el biogás por su conducto superior y el lodo no se desborde por la tubería de salida.
- Conducción de gas: el digestor ya tiene preparada la salida del biogás. Se acopla una tubería exterior de 1/2" de PVC hasta la cocina, que debería estar a unos 20 a 50 metros de distancia máxima.

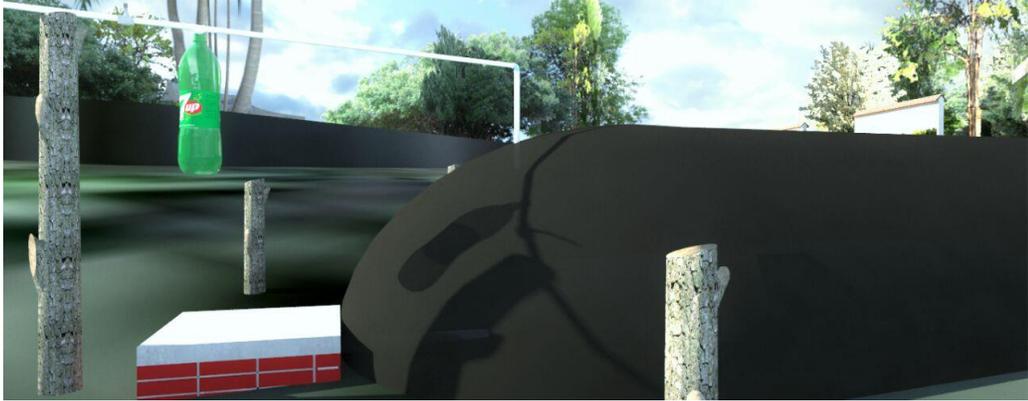
Figura 19. **Conducción del biogás desde el biodigestor hasta la vivienda**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketch up.

- Acumulación de agua: la tubería irá elevada, nunca enterrada, para facilitar la purga del agua de condensación que se puede producir. En los “valles” de la tubería, colocar “T” con tapón para realizar la purga periódicamente.
- Válvula de seguridad: la válvula de seguridad, cerca del biodigestor, va a permitir que en caso de que no se consuma biogás, éste tenga un lugar por donde escapar y, a la vez, evitar que entre aire de fuera (que mataría el proceso interno de generación del biogás). Una botella de refresco con agua es suficiente.

Figura 20. **Válvula de seguridad, botella de refresco**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketch up.

- Reservorio de gas: el reservorio va a ser el tanque de almacenaje de biogás que alimente la cocina y para regular la presión del gas. Tiene que estar colgado cerca de la cocina, accesible, preferiblemente al exterior, pero a cubierto de sol, lluvia y viento. Se construye con el mismo procedimiento del biodigestor.

Figura 21. **Reservorio de biogás instalado dentro de la vivienda**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketch up.

- Cocina: del reservorio saldrá una tubería con llaves de paso muy visibles y directamente a los quemadores, que se pueden recubrir de barro y adobe.

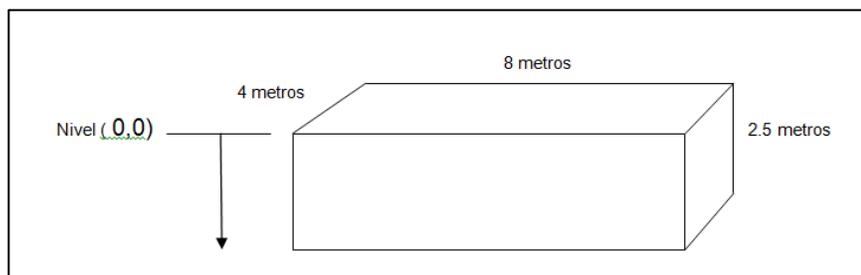
4.2.1. Localización de la fosa

La fosa debe estar localizada a una distancia en el rango de 20 a 50 metros de la cocina, se debe ubicar en un lugar, de tal forma, que no represente problema el proceso de alimentación de los desechos para producir el gas, así como también la extracción de biofertilizante o producto final del proceso de generación del combustible. Si se necesita una ampliación para otras casas se debe instalar otra fosa con otra fuente de captación de los estiércoles que se necesitan para la producción del gas pues un solo biodigestor no puede abastecer a una comunidad completa, porque de esta forma artesanal es solo para una cantidad reducida.

4.2.2. Dimensión de la fosa

En la figura 22 se describen las dimensiones de una fosa.

Figura 22. Dimensiones de la fosa



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.3. Preparación de la bolsa de almacenaje

La bolsa de almacenaje de polietileno se extiende sobre la superficie del piso seco, el cual no debe contener objetos que puedan romperlo tales como piedras y objetos filosos, la medida de esta bolsa es de 28 metros y se corta en dos segmentos de 14 metros.

Sobre una de las partes ya cortada se hace una marca en toda su longitud en uno de sus quiebres, esta marca se hace con un marcador de tinta negra u oscura, se eliminan todas las partes arrugadas y se dobla a lo ancho de su estructura. Las partes cortadas se introducen, una dentro de la otra y se procede a revisar si la capa interior no queda retorcida y no hay quiebres que puedan afectar la expansión de la membrana.

4.2.4. Colocación de la salida del biogás

La salida del biogás se instala a 3.5 metros de uno de los extremos, considerando ubicarlo al centro de la bolsa; para instalar la salida se debe colocar un empaque de hule que se obtiene de un tubo neumático con medidas aproximadas de 20 x 20 centímetros; después de hacer una marca se procede a perforar un agujero de una pulgada al centro del empaque, se coloca en el agujero el macho de PVC roscado, en una arandela fijada con un pegamento especial. Cuando ya se ha colocado el macho roscado, se acopla a la tubería de conducción que lleva el gas hacia las cocinas.

4.2.5. Válvula de seguridad

La válvula de seguridad se construye con recipiente plástico transparente PET, que tenga una capacidad de tres litros. En la boquilla destapada se coloca una T de PVC de una pulgada.

En el orificio de la T que se coloca en el recipiente, (una reducción de tubo PVC de ½ pulgada y de 20 pulgadas de longitud) se introduce en el recipiente con agua y debe sumergirse aproximadamente 2 pulgadas dentro del agua, el nivel del agua en el recipiente debe ser la mitad. Para mantener este nivel se deben horadar agujeros redondos a la mitad de la altura de las paredes del frasco.

Este sistema de seguridad logra que, si hay algún excedente en el volumen del gas, este se elimine por medio de la válvula, venciendo la membrana de agua y expulsarlo; cuando eso sucede se logran apreciar burbujas, el recipiente debe contar con una ventana de acceso de agua por si este pierde nivel.

4.3. Operación

Cuando todos los componentes, tanto los desechos como las partes de almacenaje, conducción y consumo, están instalados, solo hay que esperar que los metanos se liberen y empiece a operar el biodigestor.

4.3.1. Grado de acidez del líquido

El grado de acidez depende del valor de pH de la carga; aunque el rango de este puede variar, es importante anclar nuestro valor de pH en el rango de 6,7 y 7,5. Este valor es un medio neutro, el pH se puede mantener en ese rango única y exclusivamente si el biodigestor opera eficientemente, las razones por la que puede volverse ácida la fase líquida son:

- Cambio excesivo de la carga
- Si el tiempo es largo sin recibir carga

- Productos tóxicos en la carga
- Cambio brusco en la temperatura interna

El grado de acidez se puede normalizar agregándole agua y cal a la fase líquida.

4.3.2. Temperatura de operación

La generación de biogás está ligada a la temperatura interna del biodigestor. El proceso se lleva a cabo en un rango de temperaturas, desde 15 centígrados hasta 60 °C, pero el rango óptimo es entre 30 y 40 °C. A este rango se le denomina mesofílico.

Ya que la mayoría de bacterias que producen metanos digieren la materia orgánica en el rango mesofílico, este es el rango adecuado.

4.3.3. Suministro de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos se obtienen de las excretas de los bovinos y porcinos, esto quiere decir que paralelamente a la planta de biogás se debe instalar una granja para producir ganado y también la materia orgánica que servirá como fuente principal del biogás. La forma de suministrar los residuos a la cámara es a través de recipientes en forma manual y si se tiene un sistema de canal directo o tubería, esto facilita el proceso.

4.3.4. Extracción de biofertilizante

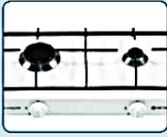
El proceso final de la generación de metanos en un biodigestor se resume a obtener un material que ya no libera metanos y se tiene que retirar de la

cámara de producción, este a su vez, se convierte en un biofertilizante que puede ser empleado en la fertilización de plantas, se extrae por un orificio que fue predispuesto para tal efecto.

4.4. Uso en cocinas

Cuando la planta generadora de biogás se encuentra en servicio, el gas se traslada a las cocinas por medio de un sistema de tubería que generalmente es de PVC. En las cocinas se genera la combustión y se utiliza para la cocción de alimentos. Asimismo, se pueden utilizar varios aparatos y equipos con el biogás, como lámparas, olla arrocera y calentadores de agua, entre otros.

Figura 23. Equipos que funcionan con biogás

Principales equipos para consumo de biogás.		
	Lámparas a biogás	Consumo biogás: 0,07 m ³ /hr
	Cocina a biogás de dos hornillas	Consumo biogás: 0,20 - 0,42m ³ /hr
	Olla arrocera	Consumo biogás: 0,14m ³ /hr
	Generador eléctrico (600W)	Consumo de biogás: 0,7 -0,8 m ³ /kWh
	Calentador de agua	Consumo de biogás: 2,2 m ³ /hr Presión ingreso del agua: 0,025 - 0,8MPa Presión de gas requerida: 1,6KPa

Fuente: Fuente: Manual de biogás. *Lo básico para entender el biogás.* 65

4.4.1. Tipo de tubería de conducción

Para la conducción del biogás que se produce en la cámara, se utiliza manguera flexible de un diámetro aproximado de una pulgada, también se utiliza tubería de PVC de media pulgada, por su costo que suele ser relativamente bajo. El costo de la tubería se describe en la tabla IV.

4.4.2. Quemador

Los quemadores para la combustión de biogás no son iguales a los utilizados para el gas propano, estos quemadores deben ser más grandes debido al flujo y el volumen del gas. Se consideran dos circunferencias de orificios para la salida del gas, ya que esto permite una mezcla de aire combustible que mantiene una llama azul y estable.

4.4.3. Consumo

El consumo del biogás en una comunidad rural depende de la demanda del mismo, la mayoría de hogares en las zonas rurales utilizan leña para cocinar, con un aproximado de 18 leños por día, un biodigestor como el planteado en este trabajo produce biogás para 7 horas en un quemador, según el manual del biodigestor.

Los productos obtenidos del biodigestor son provechosos de diferentes maneras, el más resaltante es el biogás, debido a que un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 1,25 kW/h de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watts.

- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

5.1. Análisis de funcionamiento

El biodigestor ha estado en operación por un promedio de seis meses y es necesario realizar una inspección en el funcionamiento de los diferentes componentes que integran el sistema y, si es posible, hacer las correcciones en alguna posible falla.

- Revisar semanalmente el agua de la botella de la válvula de seguridad. Si estuviera vacía, es preciso llenarla hasta el nivel establecido (no debe superar los 3 ó 4 centímetros de la columna de agua sobre la base de la tubería).
- Revisar semanalmente el agua de la botella.
- Dirección del gas: se debe comprobar que la manguera de conducción del biogás no se encuentre doblada o presente curvas en las partes bajas, ya que el agua se puede condensar, impidiendo el paso del biogás; en estos casos, se debe intentar drenar el agua y tensar la manguera.
- Una vez que se esté produciendo el gas, se debe mantener abierta la llave que se encuentra cerca del reactor; en caso contrario, el biodigestor podría tener problemas de sobrepresión.
- No cerrar la llave que se encuentra cerca al reactor válvula de seguridad

- Es necesario revisar periódicamente que el techo esté bien cerrado para evitar el ingreso del frío o de cualquier cuerpo extraño al interior del biodigestor. Justamente, el aire frío disminuye la temperatura y con ello la producción de biogás.
- Evitar emplear tubos de agua fría en la estructura del techo, ya que tubos absorben una mayor cantidad de calor y tienden a recalentar y disminuir la vida útil de la cubierta del invernadero cuando están en contacto; se recomienda emplear tubos de PVC para los cables de luz.
- Instalar el reservorio sobre una superficie que no tenga puntas (clavos o ramas pequeñas, entre otros); de esta manera se evita su deterioro y, por consiguiente, no se pierde el biogás

5.1.1. Revisión del estado del biodigestor

Se procedió a revisar la bolsa de polietileno para saber si tiene alguna fuga, de la misma forma la tubería, la válvula de seguridad y los niveles de material nuevo, así como el residuo o biofertilizante para establecer si no hay saturación. Al hacer la revisión se pudo notar que todo el sistema funciona según lo esperado, el material vinílico no tiene fugas, la tubería de descarga del biogás está alineada y no presenta fugas.

En la zona de las cocinas se pudo constatar que se mantiene más limpio ya que no se produce ceniza y basura residual de la leña.

5.1.2. Comparación biogás versus leña

El análisis de la utilización de leña comparado con el biogás, arroja un ahorro considerable en términos de tiempo, beneficio en salud y protección del bosque. En promedio cada hogar consume una cantidad de 18 leños por día que superan 100 kilogramos de estiércol combinado de vaca y cerdo por día que se necesitan para obtener biogás para varias horas; según el manual del biogás, 7 horas de combustible. Esto significa que podemos prescindir de la tala de árboles para la utilización de leña. Por cada kilogramo de estiércol que se aprovecha se obtiene la oportunidad de no consumir madera como combustible.

5.1.3. Funcionalidad

Se demuestra que es funcional desde el punto de vista científico de la generación y aprovechamiento de los metanos se convierte en un gas inflamable, con una llama capaz de llevar energía calórica a una o varias cocinas para la cocción de los alimentos y generar calefacción.

5.1.4. Mantenimiento de los componentes

Una de las ventajas de este sistema de producción de energía es la simplicidad de sus componentes, se debe efectuar una limpieza y mantenimiento del biodigestor periódicamente, en particular se debe purgar el exceso de lodos cada año, de la siguiente manera:

- Abrir la válvula de ingreso para que el lodo acumulado y digerido, fluya al registro de lodos. Utilizar guantes, botas y cubre boca para seguridad.
- Una vez hecha la purga, cierre la válvula y manténgala así hasta el siguiente mantenimiento.

- Los lodos son espesos y negros, esto tardará de 3 a 10 minutos. Si vuelve a salir lodo café, cierre la válvula, esto significa que ya salió todo el lodo digerido.
- Si sale con dificultad o está obstruida, remueva el tapón y destape con un palo de escoba.
- Mezclar los lodos extraídos con cal para desinfectar, al 10 % (1 kg de cal por 10 kg de lodo). Después espolvorear con cal para evitar moscas.

5.1.5. Uso del biofertilizante

El biofertilizante se utilizará para darle un aporte a la comunidad y así obtener cultivos con mejor valor de productividad en el área de la aldea La Ciénaga, su aplicación específica se dará en la siembra de maíz y árboles frutales. El excedente de biofertilizante se colocará en el mercado para su comercialización a un precio cómodo para obtener un porcentaje de recuperación económica del costo del montaje del biodigestor. El proceso de llevar al campo de cultivo este biofertilizante es simple, se coloca en recipientes con tapadera para evitar derrames, y la forma de aplicar es esparciéndolo en la zona en forma general, en el suelo o campo que se va a fertilizar; el método es manual por medio de una regadera de hojalata galvanizada o bien un colador de otro material.

5.1.6. Comercialización del biofertilizante

Para la comercialización de este fertilizante se debe someter el mismo a un proceso de refinado, de tal forma que se pueda empaquetar y pueda ser trasladado a las regiones en las cuales se genera la demanda.

Referente al valor económico del efluente, el precio por nutriente es calculado con base en el valor comercial por kilo de cada nutriente de los fertilizantes sintéticos.

- El valor económico anual del efluente se obtiene mediante el análisis del contenido nutricional del material, multiplicado por el precio comercial por kilo de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.
- Este valor se estima en Q 184,00, por la producción de 58,4 kg N, Q 1 184.,00, por la producción de 36,5 kg P y Q 712,00, por el contenido de 55.2 kg de K, para un total de Q 2 080,00 por año.

5.2. Ampliación

El funcionamiento del biodigestor instalado ha demostrado que, si se puede utilizar el biogás como sustituto de la leña, manejando y aprovechando la producción de desechos orgánicos, por ello se sugiere la instalación de otros biodigestores en la zona para beneficiar a más familias en la comunidad de la aldea La Ciénaga.

Este plan piloto funciona para cinco familias con un quemador por cocina. El dato de personas beneficiadas arroja un promedio de 25 personas, esto permite disminuir el consumo diario de 18 leños por familia, lo que establece 90 leños por día, si tomamos en cuenta que una carga de leña tiene 100 leños, y el costo es de Q 145,05. Este equivalente económico es el ahorro diario aproximado de 5 familias. Uno de los indicadores de mejora es el ahorro en consumo de leña traducido en dinero, pero en términos de salud las cocinas no están impregnadas de humo y hollín y el piso de se mantiene más higiénico.

5.2.1. Instalar otros biodigestores

La instalación de otros biodigestores depende de la difusión de la información en lo que respecta a la utilización del que está en funcionamiento. Se planificará una jornada de información y visitas al lugar en donde se encuentra el ya instalado.

5.2.2. Beneficiar otras comunidades

El modelo de producción de biogás beneficiará a otras comunidades ya que podrán cocinar con un gas natural que suple la utilización de leña, y siendo su producción de un costo relativamente bajo, razón por la cual, la propuesta es educar esta cultura, ya que las personas no están familiarizadas con el uso de este combustible.

5.2.3. Aplicación en máquinas

Para aprovechar más el biogás y llevar beneficios adicionales, ya se cuenta con la posibilidad de aplicar este combustible a una serie de máquinas. En el caso de la comunidad de la aldea La Ciénaga se puede utilizar el biogás en el funcionamiento de plantas de producción de energía eléctrica, esta aplicación puede proveer de energía para el alumbrado eléctrico y la utilización de utensilios de cocina que dependan de la energía eléctrica. La diferencia en el uso del biogás para producir energía eléctrica está basada en la reducción de la tarifa eléctrica de la EEGSA, el costo en que aumenta es en la obtención de una planta portátil, que se puede utilizar en una casa y, en consecuencia, cada hogar puede disponer de una. No se necesitan turbinas sofisticadas porque la intención y el objetivo es reducir costos para las zonas rurales. La utilización del biogás en las máquinas para producir energía que beneficie a poblaciones a

gran escala, involucra una planta de producción, de la misma forma a gran escala, para esto hay que crear las condiciones de recolección en diferentes lugares y por supuesto los costos de instalación, producción y acopio tiene un incremento considerable.

CONCLUSIONES

1. La necesidad y tradición en las comunidades rurales permiten la utilización de la leña, razón por la cual, este tipo de proyectos ayudan a capacitar a la población para desarrollar un cambio y puedan adoptar una cultura de conservación de bosques.
2. El bajo costo en la obtención de energía, contribuye a la economía en los hogares de la aldea La Ciénaga, por lo tanto, la producción de biogás es una de las alternativas con las que se puede contar para brindar a las familias una mejor calidad de vida.
3. La implementación de un sistema de biogás en la aldea La Ciénaga, permite a la población ahorrarse el gasto de estar comprando leña constantemente, principalmente para cocinar alimentos. Asimismo, reduce la posibilidad de enfermedades respiratorias producidas por la combustión de leña.
4. Una forma de maximizar los recursos, en este caso, es el aprovechando los residuos orgánicos generados diariamente de animales, personas, alimentos y otros, materia prima indispensable para el sistema de producción de biogás.
5. Las utilidades del biogás se pueden ahorrar hasta 2,6 toneladas de dióxido de carbono por año, lo que equivale a una disminución de casi la mitad de las emisiones con respecto al consumo de leña. Asimismo, utilizando el biogás se lleva a cabo la combustión de los metanos

producidos por las materias orgánicas en descomposición, dicha materia ya no será un contaminante, al contrario, será de aprovechamiento para varios propósitos y productos.

6. La utilización de los residuos orgánicos, contribuye de alguna manera con el reciclaje de la basura, esto conlleva a un ambiente más limpio y agradable.

7. El bioabono mejora los rendimientos con respecto al uso de fertilizantes, particularmente en los pastos para alimentación de ganado. Se aprecia un importante aumento de proteína. Además, el bioabono sirve para beneficio propio de los cultivos de la población; también puede ser comercializado a comunidades cercanas, siendo otra fuente de ingresos económicos para las familias.

RECOMENDACIONES

1. Para que el biogás sea aceptado y utilizado por las familias en las diferentes comunidades, y desde luego en la aldea La Ciénaga, se debe implementar jornadas de educación ambiental relacionada con la producción y la forma de utilizar este combustible, ya que en la mayoría de los pensamientos de las personas, la aplicación de esta tecnología genera un choque cultural.
2. Se recomienda instalar otros biodigestores en cada uno de los hogares, o bien compartir un biodigestor entre 2 ó 3 viviendas, para que logre cubrir su demanda energética y con ello no dependan más de la leña como único combustible para la obtención de energía.
3. El Gobierno de Guatemala, a través de los Ministerios de Energía y Minas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, debe unir fuerzas y emprender el fomento de este tipo de energías renovables para beneficio de las comunidades rurales, que son muchas en el país.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR, Francisco, y BOTERO, Raúl. *Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo*. Costa Rica: Revista Tierra Tropical de la Universidad Earth, 2006. 75 p.
2. BOTERO, Raúl, y PRESTON, T.R. *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de la excreta. Manual para su instalación, operación y utilización*. Cali, Colombia: Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). 1987. 30 p.
3. COTRINA, Robert, y VILLANUEVA, Gilberto. *Biodigestores tubulares unifamiliares. Cartilla para instalación, operación y mantenimiento*. Soluciones Prácticas. Lima, Perú: Soluciones prácticas, 2013. 89 p.
4. *Datos de uso de leña en Guatemala y su valor*. [en línea]. <<https://ecorinconesdeguatemala.wordpress.com/2009/02/07/datos-del-uso-de-lena-en-guatemala-y-su-valor-consumo-de-lena-y-carbon-en-centro-america/>>. [Consulta: 10 de enero de 2016].
5. *Energiza*. [en línea]. <www.energiza.org/eolica/20-biomasa/953-situacion-actual-de-la-biomasa-en-el-mundo>. [Consulta: 20 de mayo de 2016].

6. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. *Mercado de la leña: estudios de caso en Tecpán Guatemala, Chimaltenango y San Juan Sacatepéquez, Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2009. 138 p.
7. *Manual de biogás*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y Global Environment Facility, 2011. 91 p.
8. MARTÍ HERRERO, Jaime. *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares*. Bolivia: GTZ Proagro, 2008. 74 p.
9. MARTÍN LARRAÑAGA, Marcos y FLORES MARCO, Noelia. *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala*. Guatemala: INAB, IARNA y FAO, 2012. 64 p.
10. MONCAYO ROMERO, Gabriel. *Biodigestores: dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Versión 01. Alemania: Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2008. 36 p.
11. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Bioenergía y Seguridad Alimentaria. Evaluación Rápida (BEFS RA). Residuos Agrícolas y residuos ganaderos*. 2014. 34 p.
12. _____. *Biogas Technology: A Training Manual For Extension. Session Ten. Monitoring and Evaluation*. Nepal, 1996. 47 p.

13. *Principios del biogás.* [en línea. <www.bentec.es/esp/files/catalogo_bentec_esp_0112_opt%20.pdf>. [Consulta: 20 de julio de 2016].
14. SANTAMARTA FLÓREZ, José. *Las energías renovables son el futuro.* España: World Watch, 2004. 85 p.
15. SILVA VINASCO, Juan Pablo. *Tecnología del biogás.* Universidad del Valle. Colombia: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 2002. 105 p.
16. TAY OROXOM, José Manuel. *Evolución tecnológica de la fabricación de equipos domésticos para combustión de leña como consecuencia del tipo de materiales utilizados. Ensayo de eficiencia.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 87 p.
17. *Tecnología duradera y confiable.* [en línea]. <www.guatepymes.com/geodic.php?keyw=21789>. [Consulta: 3 de marzo de 2016].
18. Unidad de Planeación Minero Energética. *Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás.* Versión 01. Bogotá, Colombia, 2003. p. 15.

APÉNDICE

Apéndice 1. Encuesta realizada a habitantes de la aldea La Ciénega, San Raymundo, Guatemala

Encuesta de consumo de leña en hogares de la Aldea La Ciénega, San Raymundo, Guatemala

Boleta para la recolección de información de campo

Fecha: _____

1. ¿Vive en la aldea? Sí ___ No ___
2. Sexo de la persona entrevistada. Masculino ___ Femenino ___
3. Edad de la persona entrevistada. 18 a 30 años ___ 31 a 50 años ___
Más de 50 años ___
4. ¿Cuál es su ocupación? _____
5. ¿Cuántas personas viven en su casa? 1 a 3 ___ 4 a 7 ___ Más de 7 ___
6. ¿Utilizan leña en su casa para cocinar alimentos? Sí ___ No ___
7. Si la respuesta es sí, ¿en qué más utiliza la leña? Calentar la casa ___
Bañarse ___ Otros ___
8. ¿Utiliza algún otro medio para generar energía? Electricidad ___
Gas propano ___ Carbón ___ Otros ___
9. ¿Cómo consigue la leña para su casa? Compra ___ Recolecta ___
Compra y Recolecta ___
10. Si compra leña, ¿cómo la compra y a qué precio? Tarea ___ Vara ___
Carga ___ Leño ___
11. ¿Cuánto compra cada vez y cada cuánto tiempo compra? Diario ___
Semanal ___ Quincenal ___ Mensual ___
12. ¿Ha tenido alguna enfermedad debida al humo de la leña? Sí ___ No ___
13. ¿Cuenta con servicio de electricidad /iluminación? Sí ___ No ___
14. Si su respuesta es sí, ¿cómo hace actualmente para cubrir el servicio? Empresa
Eléctrica ___ Planta eléctrica ___ Otros ___
15. ¿Le gustaría que hubiera otra alternativa para generar electricidad/iluminación
y fuego en su casa? Sí ___ No ___

Continuación del apéndice 1.

16. ¿ha escuchado de la generación energía por medio de biogás?

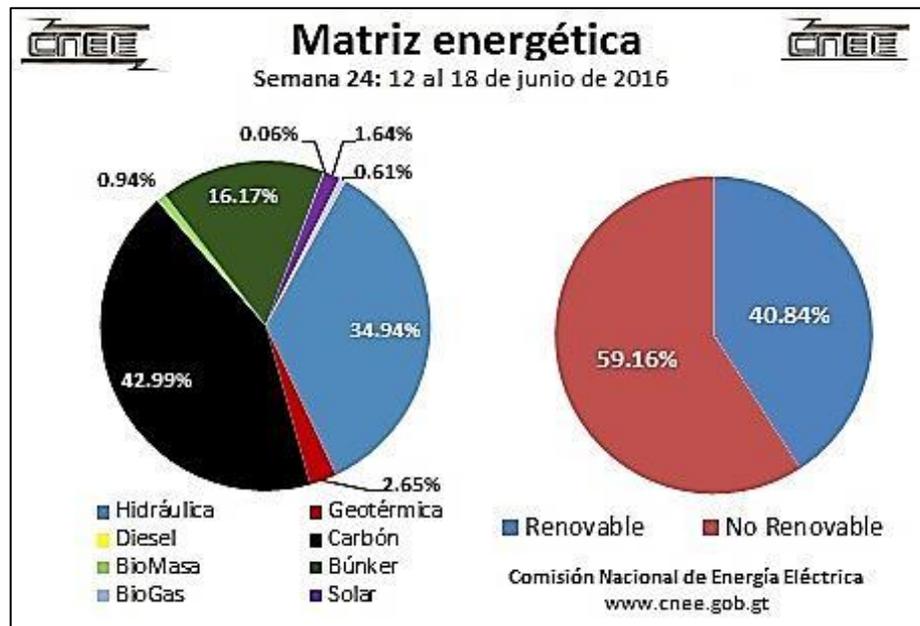
Sí ___ No ___

17. ¿Podría asistir a una reunión donde se le pueda informar acerca de la alternativa del biogás? Sí ___ No ___

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz energética en Guatemala



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

www.cnee.gob.gt/xhtml/informacion/wp_monitoreo-mercado.html. Consulta: 25 de junio de 2016.

