



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA  
DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE LEÑA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE  
- BIOGÁS - PROVENIENTE DE LA GALLINAZA, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA EL  
SITIO, PATZUN, CHIMALTENANGO**

**Jorge Luis Lopez Perez**

Asesorado por el MSc. Ing. Eduardo Javier Moreira Arana

Guatemala, enero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA  
DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE LEÑA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE  
- BIOGÁS - PROVENIENTE DE LA GALLINAZA, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA EL  
SITIO, PATZUN, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JORGE LUIS LOPEZ PEREZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDUARDO JAVIER MOREIRA ARANA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael Pobszuek
EXAMINADOR	Ing. Roberto Valle Gonzalez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Berges
EXAMINADORA	Ing. Aldo Garcia
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier Gonzalez Lopez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE LEÑA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE - BIOGÁS - PROVENIENTE DE LA GALLINAZA, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA EL SITIO, PATZUN, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 6 de julio de 2017.



**Jorge Luis Lopez Perez**



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



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

ADSE-MEAPP-013-2017

Guatemala, 06 de julio de 2017.

Director  
 Francisco Gómez Rivera  
 Escuela de **Ingeniería Industrial**  
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Jorge Luis Lopez Perez** carné número **7912363**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

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

MSc. Eduardo Javier Moreira Arana  
 Asesor (a)

**Eduardo J. Moreira Arana**  
 INGENIERO AGRONOMO - HIDROGEOLOGO  
 COLEGIADO 2618 - GUATEMALA, C.A.

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



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
 Director

Escuela de Estudios de Postgrado

Cc: archivo  
 /la





REF.DIR.EMI.003.018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE LEÑA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE -BIOGÁS- PROVENIENTE DE LA GALLINAZA, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA EL SITIO, PATZUN, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Luis Lopez Perez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas  
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2018.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

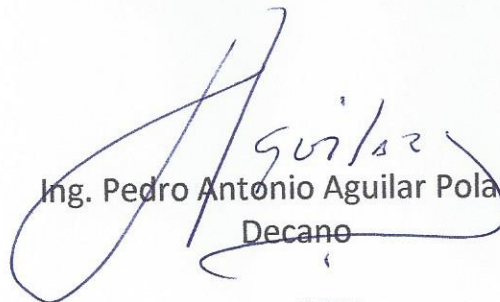


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 008.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE LEÑA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE -BIOGÁS- PROVENIENTE DE LA GALLINAZA, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA EL SITIO, PATZUN, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Luis Lopez Perez** 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, enero de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

Dios	Pero de ninguna cosa hago caso, ni estimo preciosa mi vida para mi mismo, con tal que acabe mi carrera con gozo, y el ministerio que recibí del Señor Jesús, para dar testimonio del evangelio de la gracia de Dios. Hechos 20:24.
Mi madre	Nicolasa Perez Lopez, quien me ha apoyado y amado durante la vida incondicionalmente.
Mi esposa	Claudia Gularte a quien amo entrañablemente y con quien he compartido mi vida y de crecido todo su apoyo en toda circunstancia.
Mis hijas	Marina y Sofia, por su amor y apoyo incondicional que me han brindado.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
2.1. Secado y uso eficiente en algunos países Europeos.....	3
2.2. Secado y uso eficiente de la leña en Norte América.....	5
2.3. Secado y uso eficiente de leña en China .....	5
2.4. Secado y uso eficiente de la leña en España .....	6
2.5. Secado y uso eficiente de la leña en Chile .....	6
2.6. Secado y uso eficiente de la leña en Guatemala .....	8
3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	11
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
4.1. Descripción del problema .....	13
4.2. Alto consumo de leña por combustión ineficiente, debido a alto porcentaje de humedad, aldea El Sitio, Patzun, Chimaltenango.....	13
4.3. Uso de la leña en el departamento de Chimaltenango .....	13
4.4. Cobertura forestal en el departamento de Chimaltenango .....	14
4.5. Formulación del problema .....	14
4.6. Preguntas de investigación.....	15
4.7. Delimitación del problema.....	16
4.8. Delimitación sectorial .....	16

4.9.	Delimitación geográfica .....	16
5.	JUSTIFICACIÓN.....	21
6.	OBJETIVOS.....	23
6.1.	Objetivo general .....	23
6.2.	Objetivos específicos.....	23
7.	NECESIDAD A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	25
8.	MARCO TEÓRICO .....	27
8.1.	Utilización de biomasa en Guatemala .....	27
8.2.	Biogás en Guatemala .....	28
8.3.	Biomasa residual seca .....	28
8.4.	Composición Química de la leña .....	29
8.5.	Biomasa residual húmeda-Gallinaza .....	32
8.6.	Biogás .....	34
8.7.	Diseño del biodigestor .....	39
8.8.	Tipos de secadores de leña.....	46
8.9.	Secado natural de leña.....	46
8.10.	Secado de leña con aire caliente.....	47
8.11.	Horno de secado usando biogás .....	48
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	53
10.	METODOLOGÍA .....	57
10.1.	Diseño experimental.....	57
10.2.	Alcance del estudio .....	57
10.3.	Fases.....	58

10.4.	Revisión documental.....	58
10.5.	Plan de muestreo.....	59
10.6.	Diseño de instrumentos de recolección de información.....	59
10.7.	Trabajo de campo.....	60
10.8.	Trabajo de laboratorio.....	60
10.9.	Cuatificación del biogás.....	61
10.10.	Propuesta del diseño del sistema de secado con energía renovable.....	61
10.11.	Resultados esperados.....	62
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	63
12.	CRONOGRAMA.....	65
13.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	67
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
15.	APÉNDICES.....	73





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Evolución del costo comparativo entre distintas fuentes de energía.....	8
2.	Delimitación geográfica.....	17
3.	Esquema de solución.....	26
4.	Utilización de biomasa en Guatemala.....	27
5.	Humedad de la leña.....	31
6.	Construcción del digestor.....	42
7.	Prueba de fuga al biodigestor.....	43
8.	Prueba de fuga al biodigestor.....	44
9.	Prueba de llama.....	45
10.	Tiempos de sistemas de secado de madera vs nivel de humedad.....	47
11.	Esquema de sistema de secado artificial- utilizando biogás como fuente suministro obtenido en el relleno sanitario.....	49
12.	Vistas de ubicación del secador solar y diseño de secador.....	50
13.	Beneficios del secado de la leña.....	52
14.	Cronograma de actividades.....	65

### TABLAS

I.	Valores significativos energéticos de la leña.....	7
II.	Consumo promedio per cápita de leña en el sector urbano y rural de Guatemala.....	18
III.	Demanda anual de leña en el sector residencial por departamento en toneladas con base seca.....	19

IV.	Valores Químicos presentes en la biomasa sólida .....	29
V.	Propiedades fisicoquímicas de nutrientes de la gallinaza húmeda comparada con otro tipo de estiércol .....	33
VI.	Composición de biogás.....	35
VII.	Comparación de valores energéticos del Biogas con otras fuentes.....	36
VIII.	Formación de gas metano .....	39
IX.	Variables a cuantificar.....	58
X.	Presupuesto final del proyecto.....	67

# 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación describe las tecnologías de secado de leña que son necesarias para obtener una combustión eficiente con el propósito de obtener el mayor aprovechamiento energético como combustible en uso en el sector residencial de El Sitio, Patzún, Chimaltenango.

El objeto de la presente investigación se orientará a determinar los diferentes sistemas de secado de leña, el contenido de humedad para denominarla leña seca, los valores de poder calorífico, y de monóxido de carbono que se reduce al utilizar leña seca, con la finalidad de reducir los humos con material particulado (PT) que daña la salud de las personas, las emisiones de gases efecto de invernadero, y contribuir en la reducción del consumo de leña, y deforestación. Los datos teóricos y experimentales relacionados a contenido de humedad, poder calorífico, monóxido de carbono, y material particulado, serán analizados mediante métodos estadísticos para determinar la fiabilidad del presente estudio.

El consumo de leña en el área residencial del departamento de Chimaltenango es de 719.3 ton, y la oferta es de 225.5 ton, lo que muestra un déficit de 493.8 ton. (Larrañaga, marzo 2012), este valor es alarmante en lo relacionado al uso intenso y con implicaciones serias para la salud de las personas e impactos ambientales.

La investigación sobre uso de leña seca y su eficiencia energética va en línea con la “Gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala” del programa de

Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La investigación propuesta está dividida en los siguientes capítulos:

- **Capítulo I**, revisión documental, tales como ensayos de investigaciones, tesis, artículos, reportes, etc. relacionado a la caracterización de la leña, producción de biogás, y gallina (biomasa húmeda), sistemas de secado tanto natural como artificial aplicado a la leña.
- **Capítulo II**, plan de muestreo, la metodología para coleccionar las muestras de leña y gallinaza en el lugar.
- **Capítulo III**, diseños de instrumentos de recolección de información, reportes sobre los datos obtenidos de las biomasa húmeda.
- **Capítulo IV**, trabajo de campo, las actividades previas y durante la investigación a realizar en el lugar.
- **Capítulo V**, trabajo de laboratorio, las actividades experimentales a pequeña escala en la biomasa solida (leña) y húmeda (biogás), para la obtención de datos base, tales como poder calorífico, niveles de humedad, gases de combustión de la leña, y composición de biogás.
- **Capítulo VI**, diseño del secado, el dimensionamiento del sistema de secado que incluye el diseño del biodigestor, la cámara de secado y el equipo requerido. El análisis financiero del diseño del sistema completo de su costo total, rentabilidad y retorno de la inversión, fuentes de financiamiento.



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Secado y uso eficiente en algunos países europeos

En los países europeos donde se ha realizado investigaciones sobre el secado de la leña se han observado los siguientes resultados tomando en cuenta sus condiciones climáticas, usos, y métodos de secado para obtener su mejor aprovechamiento calorífico, la normalización de la leña es consecuencia de la sostenibilidad de este recurso natural renovable ( Gutierrez, Villaón, Garay, Gutierrez-laboratorio Bionergia y Biocomustibles, 2009).

En la actualidad hay muy pocos estudios sobre secado leña como tal, y una buena parte de estas investigaciones provienen de los países europeos industrializados y otros de América que han puesto mayor interés en regular este tipo de biomasa como fuente energética.

- Finlandia

El secado de la leña natural entrega variaciones significativas de contenido de humedad a través del tiempo, la forma más común de secado natural es el apilado y techado; mediante secado artificial obtienen 20 % de humedad a 90C durante 18 horas (utilizando aire forzado en cámaras de secado). Poseen un estándar de calidad de la leña (CEN/TS 14961), por lo que esta regularizada.

- Noruega

El secado de la leña es natural en los interiores y exteriores donde es almacenada. Las trozas se descortezan para obtener un mejor secado. El uso de la leña está estandarizado (NS4414).

- Austria

El secado de la leña se hace por dos métodos, el secado natural es sobre patios pavimentados, apilada donde se obtenga la mayor cantidad de horas-sol, la humedad que se busca es de 20 %. En cuanto al secado artificial se realiza en combinación con secado natural y secado artificial en cámaras con aire forzado y se obtiene leña seca con un contenido de humedad del 30 %.

- Francia

El secado de leña es por varias formas, el artificial (bomba de calor), el natural (apilado y techado), y por secador solar, disponen de una certificación (2003) en cuanto al tamaño, contenido de humedad, y tipo de leña; el contenido de humedad requerido es del 20 %.

- Nueva Zelandia

El secado de madera es natural, apilado y no cubierto (sin techo), la estación de verano es la más aprovechada para el secado, obteniendo valores entre 33-21 % de contenido de humedad. Existe una guía que clasifica y estandariza la leña. ( Gutierrez, Villaón, Garay, Gutierrez-laboratorio Bionergia y Biocomustibles, 2009)

## **2.2. Secado y uso eficiente de la leña en Norte América**

- Canadá

El secado natural de la leña es el que predomina, se espera tener un contenido de humedad del 20 %, la forma básica es mediante apilado o formación de estivas de leña buscando la mayor exposición de horas sol/día y vientos estacionales. El secado natural tiene una duración entre 7 a 12 meses o más dependiendo de las condiciones climáticas y la región. Para acelerar el secado de la leña hay secado artificial para lo cual se utilizan hornos de secado del tipo carga lateral, cuyo calentamiento indirecto es por vapor, aceite térmico, o bien con agua caliente. La leña para ingresarla al horno se coloca apilada en cajas. ( Gutierrez, Villaón, Garay, Gutierrez-laboratorio Bionergia y Biocomustibles, 2009)

## **2.3. Secado y uso eficiente de leña en China**

El método de secado es el natural, apilado y se utilizan los flujos de aire estacionarios, donde se realizó esta prueba fue en Nanning y Guangzhou, las lecturas iniciales de contenido de humedad promedio fueron de 81.75 % en 4 diferentes especies de árboles, lográndose una humedad final promedio de 40 %, se obtuvieron algunas lecturas de contenido de humedad del 20 %, en un tiempo de 40 días, el flujo de secado es lento a razón de una media de 1.75 %/día para esta región. La recomendación es tapar los troncos apilados para una mayor calidad de secado. (Research Institute of wood industry Chinese Academy Forestry, Jan 2005)

## **2.4. Secado y uso eficiente de la leña en España**

El secado de los troncos o madera trozada se hace en superficies secas o pavimentadas y utilizando cobertizos, buscando áreas donde predomine las horas sol y vientos estacionales, la duración del secado natural se estima entre 6 y 7 meses, el contenido de humedad requerido es de 30 % para el almacenamiento; también hay métodos de secado artificial que va desde la ventilación forzada en invernaderos donde la leña es apilada, y secada con aire caliente; actualmente la madera está normalizada ( Francescato, Antonini, Zoccoli Bergomim, 2008).

## **2.5. Secado y uso eficiente de la leña en Chile**

El uso de la leña seca conlleva grandes beneficios sustentables, actualmente en países como Chile, donde el tema de manejo de leña para el sector rural es necesario se ha planteado lo siguiente (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2016).

- Menos contaminación
- Mas salud
- Más energía
- Evita deforestación e incrementa almacenes de carbono
- Reduce dependencia de combustibles fósiles
- Sinergias positivas entre sector Forestal, Agrícola e industrial
- Desarrollo de la economía local
- Se crea empleo local

Tal y como se observa en otros países del mundo el conocer los valores energéticos de la leña es clave para su mejor uso y tratamiento en el secado.



Chile es líder en 2016 en temas de secado y uso eficiente de leña para América Latina, actualmente tiene implementada políticas sobre la leña para el manejo sostenible de este recurso renovable, el tabla 1 muestra los valores significativos energéticos de la leña comparado con los derivados del petróleo, y otras fuentes, donde es más barato en el orden de 4 veces en generar una giga caloría, por esta razón de bajo costo es difícil el dejar de usar la leña como combustible en los hogares de escasos recursos económicos. (Rene Reyes/Neira - Agrupacion de ingenieros Forestales por el Bosque Nativo, 2012).

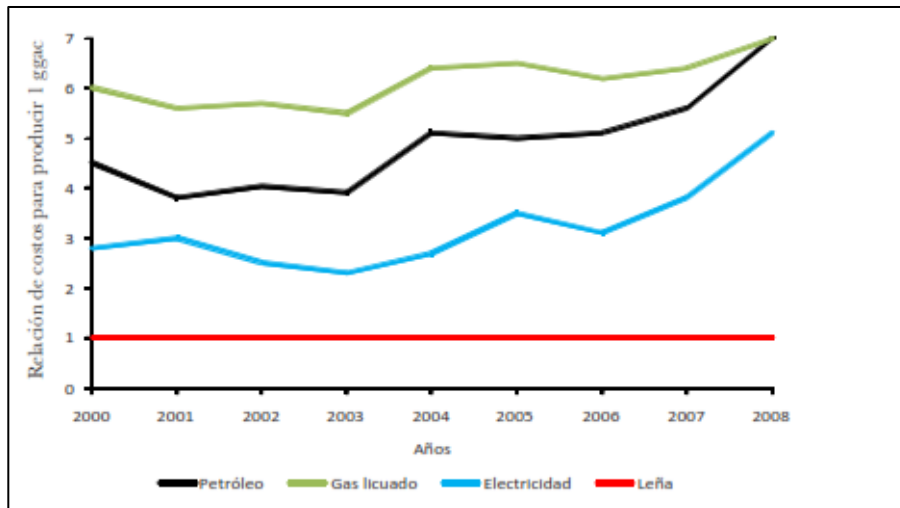
Tabla I. **Valores significativos energéticos de la leña**

Fuente de energía	Petróleo (litro)	Gas licuado (kilógramo)	Electricidad (kw-hora)	Leña* (m3 estéreo)
Poder calorífico superior (kcal/unidad)	9.156	12.100	860	1.641.920
Rendimiento de transformación (%)	90	92	100	60
Costo/unidad (\$)	500	778	70	15.000
Poder cal. aprovechable (kcal/unidad)	8.240	11.132	860	985.152
Unidades por gigacaloría neta	121	90	1.163	1,015
Costo por gigacaloría neta (\$)	60.677	69.869	81.395	15.225
Costo en relación a la leña	4,0	4,6	5,3	1,0

Fuente: Kausel y Vergara, 2003, actualizado por Reyes a febrero 2009.

En la gráfica 1, se muestra las tendencias de la relación de costo, este comportamiento implica el uso de leña en el mundo como fuente energética de bajo costo en comparación con otras fuentes tecnológicas energéticas.

Figura 1. **Evolución del costo comparativo entre distintas fuentes de energía**



Fuente: elaboración propia, con base en Kausel y Vergara (2003).

## 2.6. Secado y uso eficiente de la leña en Guatemala

Para otros países es importante el secado por sus beneficios energéticos, y el común denominador es la cantidad de humedad promedio (20 %) que se busca obtener con la finalidad de maximizar su aprovechamiento energético.

Para la república de Guatemala no se ha encontrado criterios normados para el secado de la leña; sin embargo, se observan algunas prácticas de secado natural en los centros de acopio para venta, y hogares, sin embargo, no hay documentación disponible que muestren técnicas apropiadas de secado de leña, nivel de humedad para una buena combustión, así como información para los usuarios sobre los beneficios del uso de leña seca.

La oferta anual de leña para Guatemala es de 17.96 millones de metros cúbicos, proveniente de bosques naturales (85 %), plantaciones forestales (14 %) y residuos de la industria (1 %). La demanda anual se estima en 27,98 millones de metros cúbicos, y proviene de del siguiente consumo: doméstico (85 %), urbano (13 %), e industrial (2 %)

Actualmente se extraen 10.02 millones de metros cúbicos de leña más de lo que crece en el bosque, por lo que se considera que la producción de leña a nivel nacional no es sostenible (Instituto Nacional de Bosques, 2015).

El valor de adquisición de la leña comparado con otras fuentes energéticas es menor, y será un recurso a continuar utilizándose por muchos años en hogares rurales en Guatemala, donde la pobreza es un factor que promueve el consumo intensivamente.





### 3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El uso de leña seca en los países desarrollados es un tema que ha ido tomando importancia y relevancia en su manejo, así como el maximizar la obtención energética de esta biomasa, dentro de los desarrollos logrados en algunos países la leña fue normalizada bajo estándares de calidad, tomando parámetros como nivel de humedad < 25 % y certificándola como leña seca, para lograr esto han realizado investigaciones sobre el efecto de secado por medios naturales y artificiales, siendo este último el más eficiente en términos de disponibilidad de leña seca a un corto tiempo < 5 días; sin embargo, como su uso no es tan intensivo, debido que la poblaciones tienen acceso a otras tecnologías energéticas alternas como electricidad, gas natural, vapor etc., haciendo posible que puedan emplear también métodos naturales de secado > 4 meses.

En los países subdesarrollados económicamente, la gestión del manejo y uso de la leña es más preocupante, ya que en algunos de ellos, como Guatemala, la fuente principal energética es la leña, debido a la pobreza, la falta de transparencia del gasto e inversión, el mayor sector rural no cuenta con los ingresos apropiados para otras tecnologías energéticas alternas, lo que los mueve al uso de la leña con alto contenido de humedad > 30% provocando efectos nocivos a la salud humana(MP: material particulado), y contribuyendo en la emisión de gases efecto invernadero (CO) debido a una combustión ineficiente de esta biomasa.



## **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **4.1. Descripción del problema**

### **4.2. Alto consumo de leña por Combustión ineficiente, debido a alto porcentaje de humedad, aldea El Sitio, Patzun, Chimaltenango**

La humedad se ha convertido en uno de los factores que afecta el buen uso de este combustible (leña) y repercute en el mayor consumo de este recurso natural. Para el departamento de Chimaltenango se ha estimado una humedad relativa de 68.41 % (Estacion Metereologica El Platanar CATIE, 2014).

La leña mantiene una estrecha relación con la humedad en su vida útil. Esto es debido a las variaciones de humedad relativa del ambiente, mediante cambios en sus dimensiones, está se expande o contrae, según la ganancia o pérdida de humedad, y esto es expresado como porcentaje de cambio dimensional respecto a su dimensión inicial.

### **4.3. Uso de la leña en el departamento de Chimaltenango**

La ineficiente combustión de la leña debido al alto contenido de humedad, son factores que están afectando la salud, aumentando las emisiones de gases efecto de invernadero, y provocan un mayor uso de la leña.

Las enfermedades por infecciones agudas en vías respiratorias en Chimaltenango representan un 23.8 % es la segunda causa de morbilidad. Y la

primera causa de muerte son las neumonías en un 23.7 % (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2012).

El déficit sobre el consumo de leña del departamento de Chimaltenango es de 574,358.85 toneladas para el sector residencial, este valor en más del 200 % sobre su oferta puede atribuirse a factores como incremento poblacional, y de pobreza, y leña con alto contenido de humedad.

#### **4.4. Cobertura forestal en el departamento de Chimaltenango**

El departamento de Chimaltenango en 2001 tenía un cobertura forestal de 66,190 ha. Sin embargo, en el período 2001-2006 se tuvo una pérdida de 14,310 ha de masa boscosa. Pero hubo una recuperación de 8 931 ha en ese mismo período, lo que representó una reducción boscosa del 7.5 % que existía en 2001. La tasa de deforestación para 2001 estuvo en el orden de 902ha/año (1.26 %). (Universidad del Valle, CONAP, Universidad Rafael Landívar, 2001).

La falta de información sobre el poder calorífico, secado, y contenido de humedad de humedad provoca que la población residencial de Chimaltenango y sus 16 municipios haga que este recurso sea arbitrario en su manejo y uso.

#### **4.5. Formulación del problema**

En la actualidad no se cuenta con datos sobre los niveles de humedad en la leña que se consume en el departamento de Chimaltenango, ni en ninguna otra región de Guatemala, el concepto de leña seca es atribuible a evaluaciones empíricas en cuanto a observaciones y tacto de la leña en los lugares donde esta se almacena, o comercializa. El uso de esta leña con alto nivel de humedad, por generaciones ha implicado efectos nocivos a la salud, debido a la

contaminación del aire con CO, y material particulado (MP) en los hogares durante la cocción de alimentos, calefacción, o bien la sanitación de agua para consumo, el efecto del impacto ambiental fue perjudicial en cuanto a la reducción del área boscosa, incremento de los gases efecto de invernadero, la erosión de los suelos, el cambio del uso del suelo hacia cultivos extensivos, la pérdida de especies de flora y fauna en la zona de Chimaltenango.

En el departamento de Chimaltenango, se estima que 1, 396,740 de hogares en 2014 usaron leña para cocción de alimentos de los cuales 62 % no usan chimenea (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2006), lo cual infiere que la leña debe tener un tratamiento de secado previo, para minimizar sus efectos nocivos en la salud y ambiente, así obtener su mejor aprovechamiento energético.

#### **4.6. Preguntas de investigación**

- Pregunta central
  - ¿Qué sistema de energía renovable se pueden usar para el secado artificial de leña en la aldea El Sitio, Patzun, Chimaltenango?
  
- Preguntas auxiliares
  - ¿Cómo obtener biogás de la gallinaza?
  - ¿Cómo secar leña en un secador artificial alimentado por biogás proveniente de gallinaza?
  - ¿Cuál es la humedad de la leña húmeda y seca de las especies utilizadas?

- ¿Cuál es el poder calorífico de la leña húmeda y seca de las especies usadas?
- ¿Qué beneficios ambientales y a la salud implica el uso de leña seca?
- ¿Cómo caracterizar la biomasa húmeda?

#### **4.7. Delimitación del problema**

Debido a que no se cuenta con una valoración del consumo de leña por aldea, se tomará como referencia, los datos de consumo de esta biomasa del departamento de Chimaltenango.

#### **4.8. Delimitación sectorial**

El consumo residencial de la leña para el departamento de Chimaltenango es de 719 388,69 ton., del cual 79.8 % en uso rural, y el 20,2 % es en uso urbano. Mientras que la oferta es de 225 499,36 ton., (Larrañaga, marzo 2012).

#### **4.9. Delimitación geográfica**

El departamento de Chimaltenango está ubicado en la Región Central de Guatemala y abarca una extensión de 1,979 kilómetros cuadrados. Con colindancias al norte con El Quiché, al sur con Escuintla, a este con Guatemala y Sacatepéquez, y al oeste con el Quiché, Sololá y Suchitepéquez.

El territorio pertenece a la cadena montañosa que proviene de la cordillera de los Andes, y en el mismo se ubican los volcanes de Acatenango y fuego. El bosque húmedo y montano bajo subtropical son las principales zona de vida del departamento.

Figura 2. **Delimitación geográfica**



Fuente: Google Maps.

La investigación se enfocará en la aldea El Sitio, con una población estimada de 2,962 habitantes (municipalidad de Patzún, 2012-2016). Esta Aldea se encuentra en el municipio de Patzún, a 12 km de la cabecera municipal, y a 30km de la cabecera departamental, el consumo residencial de leña per cápita se infiere en 4.7m<sup>3</sup>/persona por año.

Tabla II. **Consumo promedio *per cápita* de leña en el sector urbano y rural de Guatemala**

Metros cúbicos/persona/año

Departamento	Urbana	Rural	Departamento	Urbana	Rural
Guatemala	0.7	2.2	San Marcos	1.3	4.2
El Progreso	0.6	2.7	Huehuetenango	2.3	4.6
Sacatepéquez	1.1	3.1	Quiché	2.3	3.5
Chimaltenango	1.1	3.6	Baja Verapaz	0.9	3.4
Escuintla	0.9	3	Alta Verapaz	0.8	2
Santa Rosa	1.4	2.6	Petén	1.9	2.4
Sololá	1.4	3.9	Izabal	0.4	2.1
Totonicapán	1.5	3.5	Zacapa	0.6	2.3
Quetzaltenango	1.1	4.4	Chiquimula	0.7	2.6
Suchitepéquez	1.1	3.6	Jalapa	1.4	2.5
Retalhuleu	1	3.7	Jutiapa	0.8	2.4

Fuente: Vargas Aldana, 2007.



Tabla III. **Demanda anual de leña en el sector residencial por departamento en toneladas con base seca**

Departamentos	Demanda Urbana	Demanda Rural	Demanda Residencial
Alta Verapaz	72,781.16	934,889.50	1,007,670.66
Baja Verapaz	26,555.07	362,524.10	389,079.17
Chimaltenango	145,029.84	574,358.85	719,388.69
Chiquimula	13,969.07	374,984.46	388,953.53
El Progreso	12,036.37	129,482.59	141,518.96
Escuintla	76,336.05	501,063.40	577,399.45
Guatemala	178,755.84	322,487.41	501,243.25
Huehuetenango	233,768.20	2,196,120.30	2,429,888.50
Izabal	11,558.40	292,447.00	304,005.40
Jalapa	54,393.85	294,576.08	348,969.93
Jutiapa	33,771.05	402,598.86	436,369.91
Petén	13,389.47	560,911.04	699,300.51
Quetzaltenango	159,069.14	787,618.43	946,687.57
Quiché	258,255.12	1,343,047.41	1,601,302.53
Retalhuleu	36,121.28	379,600.30	415,721.58
Sacatepéquez	96,410.34	61,477.04	157,887.38
San Marcos	112,078.60	1,765,477.60	1,877,556.20
Santa Rosa	51,017.22	305,320.86	356,338.08
Sololá	136,189.65	454,485.49	590,675.14
Suchitepéquez	94,786.02	556,626.30	651,412.32
Totonicapán	126,482.47	577,693.50	704,175.97
Zacapa	16,571.37	156,117.47	172,688.84
<b>Total general</b>	<b>2,084,325.59</b>	<b>13,333,907.99</b>	<b>15,418,233.58</b>

Fuente: elaboración propia.



## 5. JUSTIFICACIÓN

La utilización de fuego abierto usando leña como combustible dentro de las viviendas en Guatemala es una práctica que ha permanecido por generaciones, y es debido a situaciones climáticas, tradiciones de las comunidades, aspectos culturales, niveles de extrema pobreza, etc. Por lo que es requerido disponer del uso eficiente de la leña, y sistemas de secado y de bajo costo, debido a que los efectos al utilizar este combustible con alto contenido de humedad, conlleva una combustión ineficiente con efectos nocivos a la salud, incremento de gases efecto de invernadero (CO<sub>2</sub>), tala sin control de bosques al utilizar más leña, daños severos en los mantos freáticos, disminución del aire puro, y la extinción de especies de flora y fauna que conlleva la reducción de la masa boscosa en Chimaltenango.

Por lo cual se hace necesario investigar y disponer de información sobre sistemas eficientes de secado de la leña aplicables a nuestro país, usando de referencia las buenas prácticas, estudios, leyes y normalización sobre el uso de la leña que otros países desarrollados están haciendo en la actualidad con la finalidad de adoptar su desarrollo y alguna transferencia tecnológica en el manejo de leña seca y su aprovechamiento energético que contribuyan en la reducción del déficit de leña de 574,358.85 toneladas en el departamento de Chimaltenango

El departamento de Chimaltenango mostraba en 2011 un nivel de pobreza del 78,7 %, con una población proyectada para 2011 de 612 973 (52,2 % mujeres y 78,4 % auto identificadas como indígenas) (Instituton Nacional de Estadística-2011, 2011) lo que implica que el uso de combustibles de bajo costo

como la leña y sin menor restricción viene a ser una prioridad y recurso básico para su diario vivir y subsistencia. Por lo que se espera que el consumo de leña se incremente aceleradamente, debido a la falta de acceso a otras fuentes energéticas tecnológicas, debido a su bajo nivel de ingreso.

Por medio de la presente investigación que propondrá el uso de leña seca con bajo nivel de humedad, con lo cual se espera beneficiar al usuario residencial en la aldea El sitio, Patzún, Chimaltenango, para mejorar su calidad de vida en términos de salud, y maximizar su dinero al usar una menor cantidad de leños principalmente durante la cocción de alimentos.

Adicionalmente, esta investigación viene a contribuir en brindar mayor información referente al secado de la leña a bajo costo, abarcando el secado artificial para lo cual se propone utilizar el biogás procedente de la gallinaza como combustible para el proceso de secado, y el secado natural como otro sistema alternativo.

La presente investigación sobre el uso de leña seca y su eficiencia energética va en la línea con la “Gestión y uso eficiente de la Leña en Guatemala” del programa de Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de secado alimentado por biogás proveniente de la gallinaza, para obtener leña seca con un nivel de humedad del 20-25 %.

### 6.2. Objetivos específicos

- Diseño de proceso para producción de biogás bajo condiciones anaeróbicas proveniente de la gallinaza, y validar que la composición del gas se encuentre en los siguientes parámetros: Metano, 50-70 %; Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 30-40 %; Hidrogeno, 5-10 %.
- Diseño de horno secador alimentado con biogás proveniente de gallinaza, con la finalidad de obtener una temperatura constante de 80 C como valor mínimo.
- Determinar el nivel de humedad de la leña previo y después de secado; leña seca <=25 %; para utilización con fines energéticos.
- Determinar el poder calorífico para leña previo y después de secado, leña seca <= 4000kcal/kg (valor medio)
- Estimar las reducciones de: CO <= 150 gr/ hr.- Material particulado (MP) <= 20 gr/hr., durante una combustión eficiente usando leña seca.

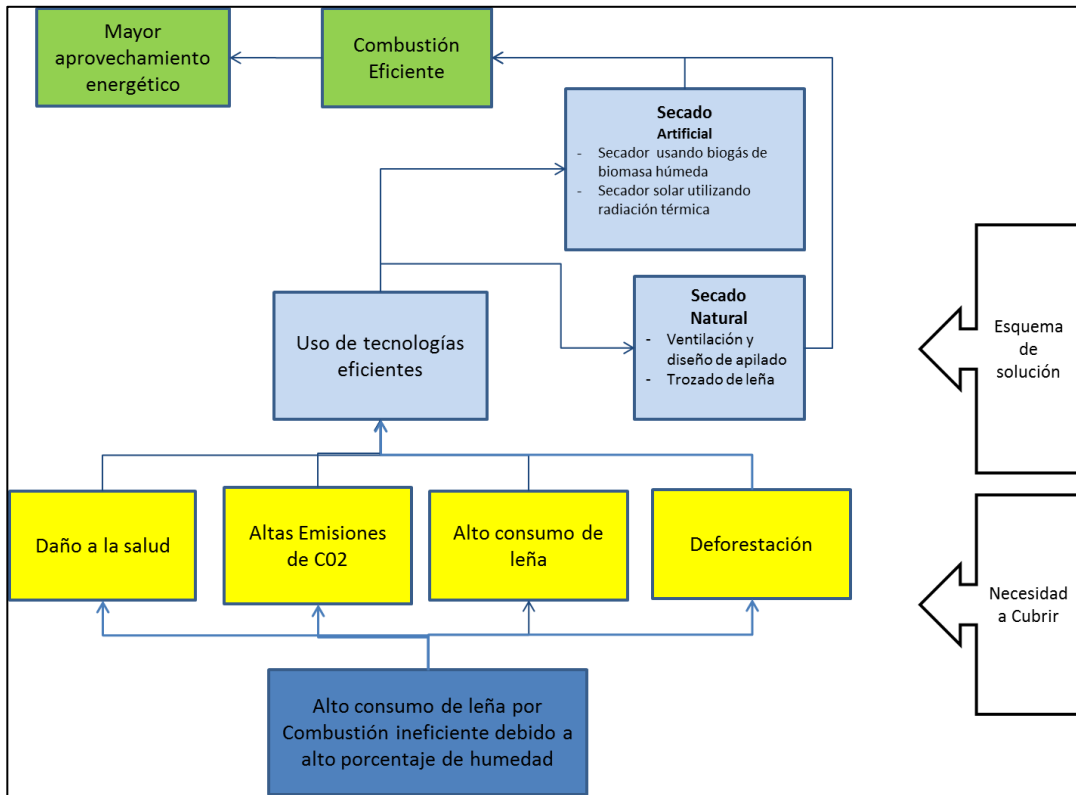
- Diseñar un instructivo impreso sobre la obtención de biogás, a partir de la gallinaza, y los beneficios de usar leña seca con un nivel de humedad  $\leq$  25% para pobladores en su idioma nativo (cakchiquel).

## **7. NECESIDAD A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Se presenta esta investigación sobre el uso eficiente de esta tecnología alterna de secado artificial por biogás producido de la gallinaza, para obtener leña seca con el beneficio de una combustión eficiente en su aprovechamiento energético a la población de la aldea El Sitio, Patzún, Chimaltenango, con la finalidad de minimizar los daños a la salud, reducciones de material particulado, emisión de CO, alto consumo de esta biomasa y contribuir en minimizar la deforestación por el uso de leña húmeda

La divulgación de esta información y acceso a este tipo de tecnología de secado de leña en la aldea El Sitio, Patzún, es primordial para el mejor aprovechamiento de este recurso, que va desde su corte, secado y almacenamiento y condiciones de uso en sus actividades domésticas.

Figura 3. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

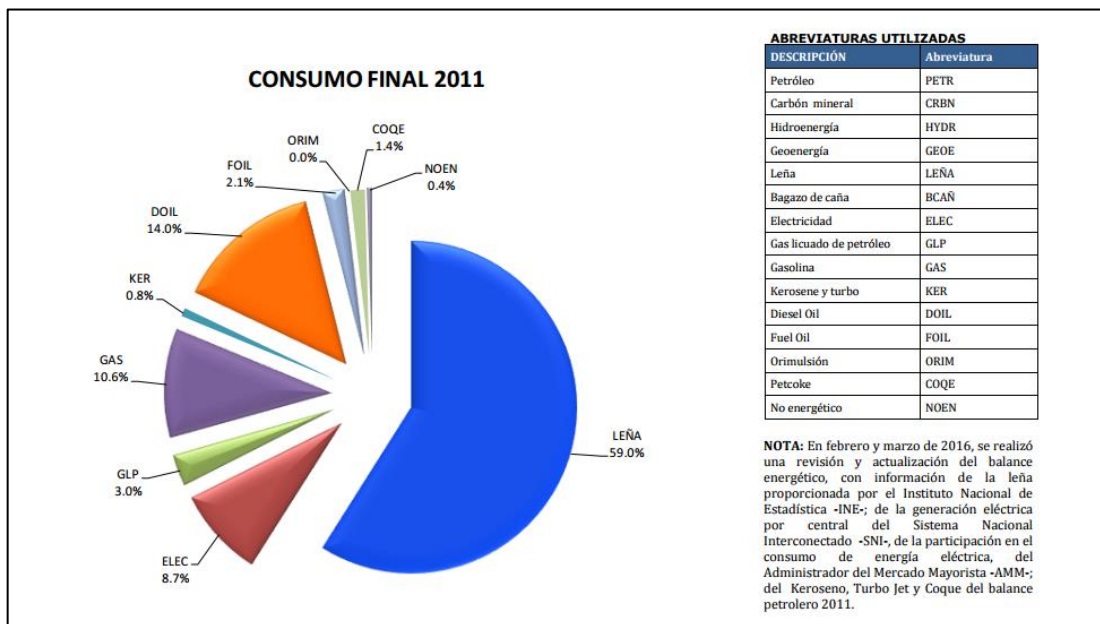


## 8. MARCO TEÓRICO

### 8.1. Utilización de biomasa en Guatemala

Guatemala dispone de varios recursos energéticos del tipo renovable, los cuales tienen un gran potencial de uso en aplicaciones, industriales, y domésticas. La fuente de mayor demanda es la leña con un 59 % (Ministerio de Energía y Minas-Guatemala, 2011) en la matriz energética se puede apreciar que el biogás aún no aparece como una fuente alterna prioritaria de desarrollo tecnológico.

Figura 4. Utilización de biomasa en Guatemala



Fuente: 2011, Balance energético, MEM

La biomasa en Guatemala es utilizada en diferentes formas, la leña, el bagazo del proceso de la azúcar para cogenerar electricidad, biodigestión, esta última aun no es representativa en su aporte energético alterno en contribuir para la reducción del uso de leña.

## **8.2. Biogás en Guatemala**

Durante los años pasados se han construido cerca de 800 biodigestores tipo familiar en el sector rural, pero esta tecnología aún no se ha logrado manejar eficientemente, el mayor beneficio obtenido fue el uso del abono orgánico proveniente del proceso de digestión anaeróbica. El diseño del biodigestor más popular instalado en Guatemala fue el tipo chino. (FAO-informe Biomasa Guatemala, 1995).

## **8.3. Biomasa residual seca**

- Estructura de la leña

La leña es una sustancia dura compuesta por células longitudinales y transversales que componen el tejido rígido compuesto de celulosa y lignina, esto le da rigidez y robustez a la leña y en toda la composición del árbol. Cuando el árbol está vivo transporta un gran caudal de agua por los tejidos de conducción. A la cantidad de agua contenida en una unidad específica de leña expresada como un porcentaje del peso que tendría esta unidad si estuviera enteramente seca se denomina contenido de humedad.

#### 8.4. Composición Química de la leña

La biomasa vegetal está compuesta principalmente por carbono (C), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H). Por medio de la oxidación del carbono la cantidad de energía del combustible es liberada.

Tabla IV. Valores Químicos presentes en la biomasa sólida

	C	H	O	N	K	S	Cl
	% peso (seco)						
Píceas (con corteza)	49.8	6.3	43.2	0.13	0.13	0.015	0.005
Haya (con corteza)	47.9	6.2	43.3	0.22	0.22	0.015	0.006
Álamo (monte bajo rotación corta)	47.5	6.2	44.1	0.42	0.35	0.031	0.004
Sauce (monte bajo rotación corta)	47.1	6.1	44.2	0.54	0.26	0.045	0.004
Corteza (coníferas)	51.4	5.7	38.7	0.48	0.24	0.085	0.019
Valores típicos para materiales de corteza virgen* Madera de conífera *	47-54	5.6-7.0	40-44	<0.1-0.5		<0.01-0.05	<0.01-0.03
Valores típicos para materiales de corteza virgen* Madera de frondosas *	48-52	5.9-6.5	41-45	<0.1-0.5		<0.01-0.05	<0.01-0.03
Valores típicos para materiales de corteza virgen	51-56	5.9-6.5	36-43	0.3-1.2		0.02-0.20	<0.01-0.05
Valores típicos para materiales de corteza virgen* Residuos de trozas*	50-53	5.9-6.3	40-44	0.3-0.8		0.01-0.08	<0.01-0.04
Valores típicos para materiales de corteza virgen* Monte bajo rotación corta*	47-51	5.8-6.7	40-46	0.2-0.8		0.02-0.10	<0.01-0.05
Miscanthus	47.5	6.2	41.7	0.73	0.70	0.150	0.220
Paja de trigo	45.6	5.8	42.4	0.48	1.00	0.082	0.190
Triticale (grano)	43.5	6.4	46.4	1.68	0.60	0.110	0.070
Torta de colza	51.5	7.4	30.1	4.97	1.60	0.550	0.019

Fuente: Manual de combustibles de madera, España, 2008.

- Humedad en la leña

El agua presente en la leña puede definirse como contenido de agua y humedad, en la práctica los términos contenido de agua y humedad son confundidos o bien tomados como semejantes uno con otro, y esto es inexacto.

- El contenido de agua (M), expresa la masa de agua presente en relación a la masa de leña recién cortada, este valor describe la cantidad de agua presente en la biomasa húmeda, esta medida es referenciada en la comercialización de leña como combustible.

La fórmula de cálculo del contenido de Agua es (M):

$$M = \frac{W_w - W_0}{W_w} \times 100$$

M= contenido de agua

Ww = peso de biomasa húmeda recién cortada

Wo = peso de leña secada en horno

- Humedad en leña, expresa la masa de agua presente en relación a la masa de leña secada en el horno. El valor describe la proporción de masas de agua en la leña.

La fórmula para calcular la humedad (u) en la leña es:

$$u = \frac{W_w - W_0}{W_0} \times 100$$

Las siguientes fórmulas son para obtener la humedad “u”, a partir de la cantidad de humedad (M) y viceversa:

$$u = \frac{100 \times M}{100 - M}$$

$$M = \frac{100 \times u}{100 + u}$$

- La humedad de equilibrio higroscópico (HEH), es el valor del porcentaje en el cual la humedad de la leña no varía si encuentra en equilibrio con la humedad del ambiente en un sitio determinado.
- El punto de saturación de la fibra (PSF), es el estado de humedad de la leña, en el cual las paredes celulares se encuentran saturadas de agua, el valor puede estar entre 28-40 %. (Universidad Católica -Temucho Chile, 2015).

Figura 5. **Humedad de la leña**



Fuente: (Universidad Católica -Temucho Chile, 2015).

- Leña seca

Es la que posee un contenido de humedad menor al punto de saturación de la fibra, o igual pero menor a 25 % en base seca (Norma INN NCH 2907/2005- Norma chilena sobre combustible sólido- leña).

- **Combustión de la leña**
  - El valor calorífico o poder calorífico es definido como la cantidad de energía por unidad de masa o volumen liberado en una combustión completa.
  - El contenido de humedad en la leña tiende a cambiar el poder calorífico de este último reduciéndolo, y parte de la energía liberada durante el proceso de combustión es usado en la evaporación del agua y por lo tanto, no disponible para alguna utilidad termal requerida.
  - El proceso de evaporación de agua involucra el consumo de 2.40MJ por kilo de agua.
  - Los principales reactivos cuando se quema la leña son: Oxígeno + calor de ignición + combustible (leña), produciendo dióxido de carbono + agua+ energía. El principal producto es la leña, debido a que es considerada el combustible de la reacción. El subproducto es la ceniza que deja la leña, la cual es denominada como fertilizante, rica en su contribución de minerales, pero es fuertemente alcalina por su contenido de hidróxido de potasio.
  - La fórmula de combustión es  $6\text{CH}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ , la leña comienza a quemarse entre los 120 a 150 grados centígrados. (Albarqawi, 2013)

## **8.5. Biomasa residual húmeda-gallinaza**

- **Composición de la gallinaza**

La gallinaza es considerada como un abono orgánico de excelente calidad. Está compuesta de deposiciones y orina de aves de corral que

pueden ser gallinas ponedoras de piso o bien de jaula, en etapas de producción, solas o también mezcladas con otros materiales como plumas, alimento, huevos rotos y material de cama (cascarillas principalmente de arroz, viruta, aserrín, pasto seco, piedra pómez, etc.). También pueden ser excretas y orina de pollos de engorde en etapa de cría o desarrollo, mezcladas con residuos de alimento, plumas y material de cama, a este tipo de abono orgánico se le llama en algunos países como pollinaza. Generalmente al hablar de gallinaza está referido al abono obtenido de estiércol de las gallinas ponedoras o pollos de engorde. La gallinaza está constituida por, celulosa, albúminas, urea, ácido úrico y una gran población microbial.

Tabla V. **Propiedades Físicoquímicas de nutrientes de la gallinaza húmeda comparada con otro tipo de estiércol**

<b>FRESH MANURE</b>	<b>Nitrogen (N), %</b>	<b>Phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), %</b>	<b>Potassium (K<sub>2</sub>O), %</b>	<b>Organic matter, %</b>	<b>Moisture content, %</b>
Cattle	0.5	0.3	0.5	16.7	81.3
Sheep	0.9	0.5	0.8	30.7	64.8
Poultry	0.9	0.5	0.8	30.7	64.8

Fuente: (Ahmad, 2010)

- Proceso de conversión de la biomasa en energía
  - Métodos termoquímicos

Se basa en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa, se incluyen, la leña, la madera aserrín, etc.

La combustión, comprende la oxidación completa de la biomasa por el oxígeno presente en el aire, los productos provenientes de esta oxidación son agua y dióxido de carbono, y cuando esta oxidación es incompleta se incluye el monóxido de carbono, este calor puede ser utilizado para la cocción de alimentos, y producción de calor industrial.

- Métodos biológicos

La fermentación metánica consiste en la digestión anaerobia de la biomasa por bacterias, es apropiada para el proceso de transformación de biomasa húmeda (mayor a 75 % de humedad relativa). En los digestores la celulosa es la que se degrada en gas, con un contenido del 60 % en metano ( $\text{CH}_4$ ) y 40 % en Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el proceso requiere una temperatura 30-35C.

## **8.6. Biogás**

Es la mezcla de gas producida por la bacteria metano génica mientras actúa sobre el material biodegradable en una condición anaeróbica el biogás está compuesto principalmente entre 50-70 % de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30-40 % de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y una baja cantidad de otros gases.



Tabla VI. **Composición de biogás**

Substances	Symbol	Percentage
Methane	CH <sub>4</sub>	50 - 70
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	30-40
Hydrogen	H <sub>2</sub>	5- 10
Nitrogen	N <sub>2</sub>	1-2
Water vapour	H <sub>2</sub> O	0.3
Hydrogen Sulphide	H <sub>2</sub> S	Traces

Fuente: Yadav and Hesse 1981.

El biogás es 20 % más ligero que el aire y tiene una temperatura de ignición en el rango de 650C a 750C, es un gas sin olor y sin color, y durante su quema, su llama es azulada y clara similar a la del GLP-Gas propano. Su valor calorífico es 20 Mega Joules por m<sup>3</sup>, y se quema con una eficiencia del 60 % en una estufa de biogás. (FAO- Biogas Nepal 1996, 1996)

Tabla VII. **Comparación de Valores energéticos del Biogás con otras fuentes**

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor Calorífico (Kwh/ m <sup>3</sup> )	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	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
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
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 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

\* Composición promedio del biogás: CH<sub>4</sub> (65%) – CO<sub>2</sub> (35%)

Fuente: manual de Biogás, 2011, Chile.

- **Digestión anaeróbica**

En la naturaleza hay microorganismos (bacteria) que se alimentan de materias orgánicas. Si estos se desarrollan en ausencia de oxígeno (condición anaeróbica), al alimentarse con materia orgánica la transforman en gas y en residuos lodosos ricos en nutrientes que resultan en un excelente abono.

Las bacterias requieren de un ambiente adecuado para vivir y multiplicarse y alcanzar una población necesaria para su percibir su acción. Las condiciones requeridas son:

- La ausencia de aire para permitir su supervivencia de las bacteria (condición anaeróbica)

- Las características del medio (sustrato) donde crecen y se multiplicaran
  - La temperatura adecuada para que el proceso sea eficiente debe ser por lo menos de 20 C, para obtener una buena producción de gas.
  - El grado de acidez (PH) es importante en considerarlo, si el ambiente es acido, o bien si es muy básico puede causar la muerte de las bacterias.
- Los beneficios de la digestión anaeróbica se pueden remarcar en:
    - Gas para producir energía
    - Residuos lodosos que constituyen un fertilizante superior (abono orgánico)
    - Control de la contaminación, originada por la descomposición espontánea e incontrolada de la materia orgánica.
  - Los tres pasos de la digestión anaeróbica

El proceso de la formación del biogás se divide en hidrolisis, acidificación, y formación de metano. Las bacterias involucradas en este proceso son

- Bacterias de fermentación
  - Bacterias de acetogénicas
  - Bacterias Metanógenicas
- Etapa 1: Hidrolisis

Los residuos de materiales de origen animal o de plantas consisten principalmente de carbohidratos, lípidos, proteínas y materiales inorgánicos. Las

substancias de largas cadenas moleculares complejas son solubilizadas en una muy simple con la ayuda de una enzima extracelular liberada por la bacteria. Esta etapa es conocida como etapa de desglose del polímero.

- Etapa 2: Acidificación

El monómero tal como la glucosa producida en la etapa 1 es fermentado por la condición anaeróbica en varios ácidos con la ayuda de las enzimas producidas por las bacterias formadoras del ácido. En esta etapa las bacterias que forman el ácido, descomponen las moléculas de seis átomos de carbono (glucosa) en moléculas de menos átomos de carbono (ácidos) las cuales están en un estado menos reducidas que la glucosa. Los principales ácidos producidos en este proceso son, acético, propiónico, butírico, y etanol.

- Etapa 3: Formación del gas metano

Los ácidos fundamentales producidos en la etapa 2 son procesados por las bacterias metanogénicas para producir metano ( $\text{CH}_4$ ). Las reacciones que toman lugar en el proceso de producción de metano es llamada metanización y es expresado por las siguientes ecuaciones (Ahmad, 2010)

Tabla VIII. **Formación de gas metano**

CH <sub>4</sub> COOH	→	CH <sub>4</sub>	+	CO <sub>2</sub>		
Ácido acético		Metano		Dióxido de Carbono		
2CH <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> OH	+	CO <sub>2</sub>	→	CH <sub>4</sub>	+	2CH <sub>4</sub> COOH
Etanol		Dióxido de Carbono		Metano		Ácido acético
CO <sub>2</sub>	+	4H <sub>2</sub>	→	CH <sub>4</sub>	+	2H <sub>2</sub> O
Dióxido de carbono		Hidrogeno		Metano		Agua

Fuente: (FAO- Biogas Nepal 1996, 1996).

Las ecuaciones arriba mencionadas muestran que muchos productos, subproductos, e intermedios son producidos durante el proceso de digestión de materiales en una condición anaeróbica antes del gas metano (CH<sub>4</sub>), es producido. Obviamente hay factores facilitadores e inhibidores que juegan su rol en el proceso los cuales se mencionan:

- El grado de acidez
- La temperatura

### 8.7. **Diseño del biodigestor**

- Tipos de digestores

Durante el último siglo un número de diferentes clases de flujos en digestores simples han sido desarrollados y pueden clasificarse:

- Flujo por lote, b) Flujo continuo, c) en continua expansión, d) flujo de tapón, e) flujo de contacto

Los digestores convencionales son aquellos utilizados para procesar materias primas líquidas con alto contenido de sólidos, llamados digestores rurales, la cámara de fermentación tiene un volumen menor a 100m<sup>3</sup>.

Los digestores convencionales son instalados sin ningún tipo de mecanismo para reducir el tiempo de retención durante el cual la biomasa que permanece adentro es predominante. Estos sistemas son alimentados discontinuamente y conocidos como digestores de flujo discontinuo.

Para nuestro caso nos enfocaremos en los digestores de flujo continuo, ya que requieren una alimentación diaria y apropiado manejo de residuos. El proceso es referido como “continuo” porque cada carga diaria corresponde a un similar volumen de carga de material fermentado. Cada carga demanda un tiempo de retención entre 14-40 días, pero este tiempo puede reducirse con agitación y calor.

- Digestor tipo Hindú
- Digestor tipo Chino
- Componentes de un digestor
- - **BASE:** La base de la planta es la forma de tazón con un collar alrededor de la circunferencia. La construcción del domo del digestor está basada en este collar.
  - **EI DOMO** está dividido en dos partes, el digeridor, y el almacenamiento del gas:
  - - **DIGERIDOR (Digestor o Fermentador)**, la parte baja es llamada el digeridor, donde la mezcla de biomasa orgánica

y el agua se descompone para producir gas debido a la actividad de las bacterias.

- **ALMACENAMIENTO DE GAS**, el gas producido por la actividad de las bacterias es almacenado en la parte superior del domo del digester llamado almacenamiento de gas.
- 
- **TUBERIA DE SALIDA DEL GAS**, un niple es fijado en la parte de arriba del domo, el cual es conectado a una tubería de gas. El gas llegara hacia donde será utilizado.
- **ENTRADA**, el tubo por medio del cual la materia orgánica y agua fresca ingresa al domo es llamado tubería de entrada y está conectada a un pequeño tanque para el mezclado de materia orgánica y agua.
- **SALIDA**, es la porción de la planta donde los lodos se acumulan después que son digeridos, la cual es llamada salida del tanque.

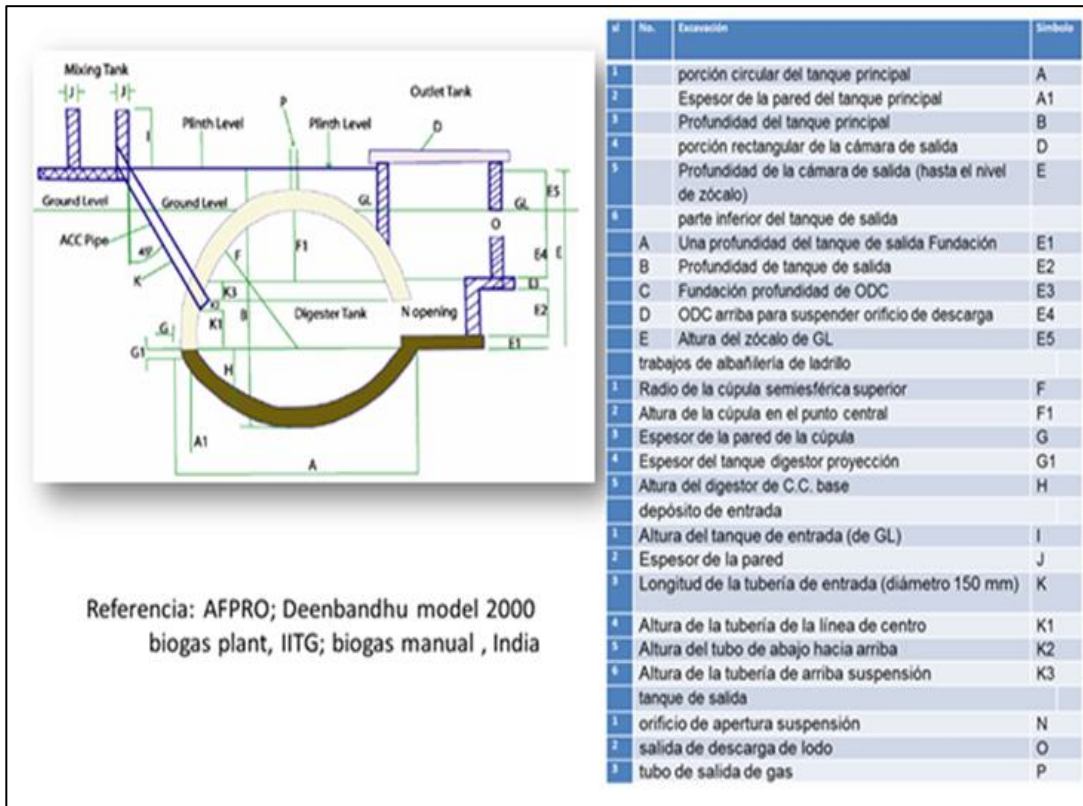
Está dividida en dos partes, la primera parte baja es pequeña y rectangular, la cual está conectada a la abertura del domo mientras que la otra parte de la salida del tanque tiene la forma del domo.

El volumen del domo hasta el agujero de salida es equivalente al almacenamiento del volumen del gas. Únicamente la cantidad equivalente a este volumen puede ser utilizada en el quemador. La principal función de esta parte es proveer presión para liberar el gas desde el domo.

El nivel de los lodos sube hasta alcanzar el agujero de la salida de lodos en este tanque cuando la planta está llena de gas. (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011)

Se detallan las secciones para el biodigestor tipo chino

Figura 6. **Construcción del digestor**



Fuente: 2011, Balance energético, MEM

- Operación del digestor

Para el caso del proceso carga continua en un solo depósito de digestión corresponderá una fermentación de una solo etapa.

La producción del biogás, inicia después del TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA, a partir de una carga inicial, en función de la clase de las materias primas y de la temperatura de funcionamiento del biodigestor

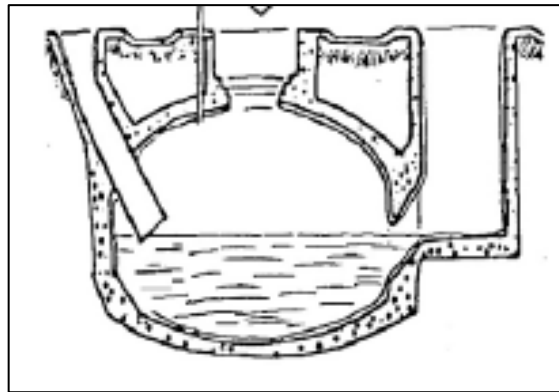


(MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011). Para una correcta operación del biodigestor se agrupan las siguientes etapas: Pruebas en el biodigestor, preparación de mezcla (acondicionamiento de las materias primas), carga Inicial, cargas intermedias y descargas.

- Prueba de filtraciones con agua, en donde se llena el biodigestor con este fluido, se deja un tiempo prudencial y se retira parte del agua al finalizar,  $\frac{1}{3}$  de la altura del digestor, pues la misma contribuirá a la dilución de la gallinaza en la carga de inicio (Ver figura).

- 

Figura 7. **Prueba de fuga al biodigestor**



Fuente: Manual de Biogás, pg. 110.

- La mezcla de residuos y agua se preparará en el tanque, el cual puede ser un barril limpio, verificando volúmenes (Figura). Es recomendable dependiendo de la naturaleza de la materia orgánica molerla previamente para disminuir tamaño y aumentar el área de contacto con los microorganismos.

Figura 8. **Prueba de fuga al biodigestor**

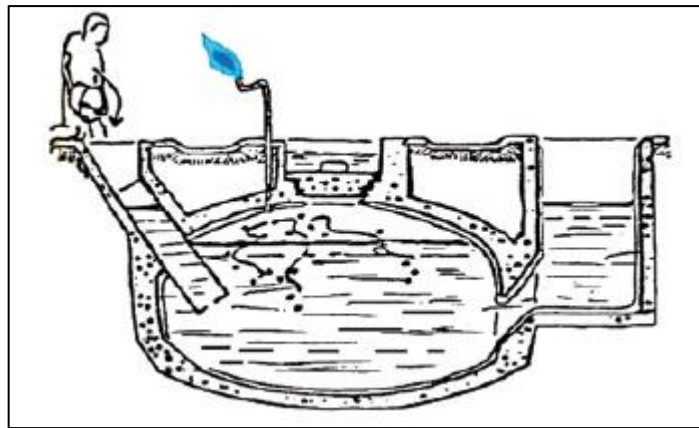


Fuente: (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011)

- Se prepara la carga inicial, el día anterior, se remueve la costra (material flotante) y se trasiega llenando completamente el biodigestor por gravedad.
- Se deja abierta la conexión de salida de gas, durante la primera semana, para eliminar todo el oxígeno que pueda estar presente en las fases de descomposición de las materias orgánicas. Luego cerrar la conexión de la salida.
- Los primeros 10 – 15 días se repite la apertura de la salida de gas, pues a medida que aumenta el volumen del gas almacenado aumenta su presión y expulsando el remanente de oxígeno y como otro subproducto el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). También el aumento de presión puede forzar al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones máximas de 100 cm de columna de agua. Un resultado de la variación de presión es la reducción de la eficiencia en los equipos consumidores.

- Al haber transcurrido los primeros 15 días de la carga inicial se inicia la verificación de la producción de biogás ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ), acoplando una manguera a la salida del biogás y utilizando un quemador. Si el gas quema con llama de color azul se puede proseguir al uso normal del biogás. Si la llama es de otra coloración o no enciende, se debe eliminar todo el gas y repetir la prueba. Si para el día 45 no se ha obtenido una buena llama, puede haber problemas con la fermentación, temperatura o pH (que debe ser inferior a 6) o materias primas posiblemente contaminadas que pueden estar alterando la actividad microbiana (Ver Figura).

Figura 9. **Prueba de llama**



Fuente: (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011)

- Una vez cargado así, es alimentado diariamente con nuevas mezclas realizadas con los residuos que se obtengan disponibles provenientes de los animales domésticos de la siguiente forma para cumplir con el tiempo de retención hidráulica. Se coloca un plástico transparente sobre la carga el día anterior, se deja reposar por el día y noche y se ingresa la

carga en la hora de mayor temperatura, con previa homogenización de la mezcla y remoción de la costra.

- El afluente o volumen que entra, conlleva a que salga por el tubo de descarga el efluente, la carga previa. Debe tenerse el cuidado que el efluente se descarga adecuadamente para evitar ingreso de aire en el sistema. Los lodos se pueden aplicar como fertilizante y el excedente de efluente se puede utilizar para agua de riego. La parte líquida se puede reutilizar para el sistema nuevamente y la sólida se puede tratar y convertirse en componente alimenticio para ganado y suelos.
- Constantemente se extrae una parte del líquido en fermentación por medio del tubo de salida, usando un recipiente plástico. El biodigestor se debe vaciar completamente una o dos veces por año, y los residuos (sólidos) pueden aplicarse a los campos de cultivo como abono orgánico. (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011)

## **8.8. Tipos de secadores de leña**

## **8.9. Secado natural de leña**

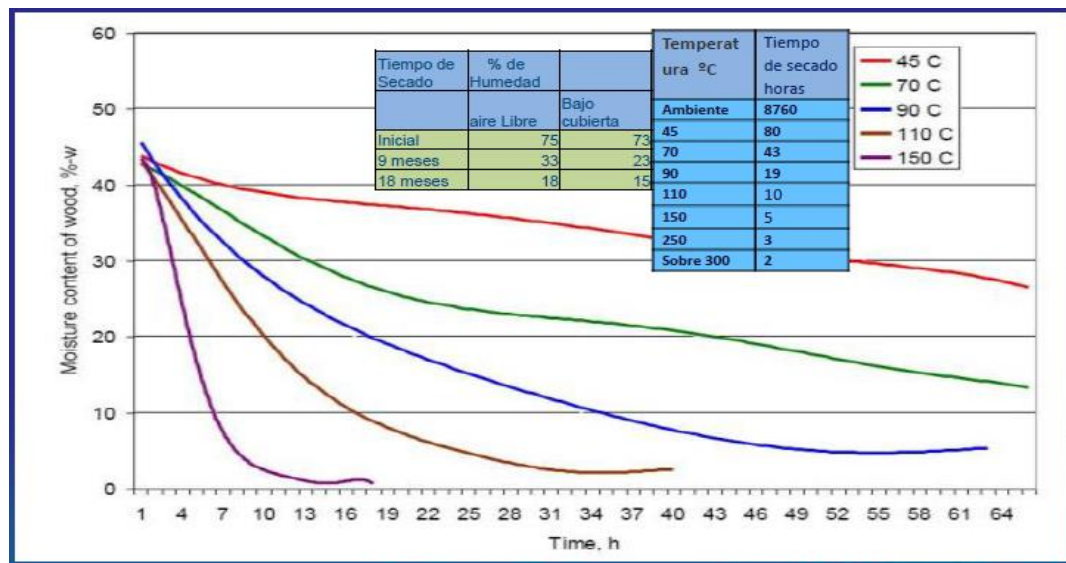
- Diseño de secador natural de leña

La razón del por qué secar leña de forma artificial es conveniente, es debido a los tiempos tan largos que implica el proceso secado natural, lo que incrementa el consumo de esta biomasa natural con alto contenido de humedad.

En la gráfica “Tiempos de sistemas de secado de madera vs. Contenido de humedad”, se observa la disminución de horas de secado de leña cuando se dispone con una mayor temperatura, la cual se logra mediante el secado

artificial, comparado con las el secado natural. Debido al alto consumo de leña en Guatemala que no da oportunidad en condiciones naturales en alcanzar valores de secado < 25 % se puede inferir que se utiliza con altos niveles de humedad a determinar.

Figura 10. **Tiempos de sistemas de secado de madera vs nivel de humedad**



Fuente: Ecomaule- Zeidon Ltda. Chile, 2014.

### 8.10. Secado de leña con aire caliente

El efecto secante mejora considerablemente si se utiliza aire calentado con un generador. La temperatura de funcionamiento puede variar entre 20 y 100°C. El aire se introduce nuevamente en la pila de troncos/leña con un ventilador.

El calor total necesario para secar es aproximadamente 3 a 4 MJ por kg de agua, 2,5 MJ/kg se consumen en el precalentado y evaporación del agua.

### **8.11. Horno de secado usando biogás**

- Cámara de secado de leña

Las estructuras propuestas para el secado de leña son arreglos simplificados (fijos o móviles) con un piso de doble base perforado a través del cual se introduce aire caliente.

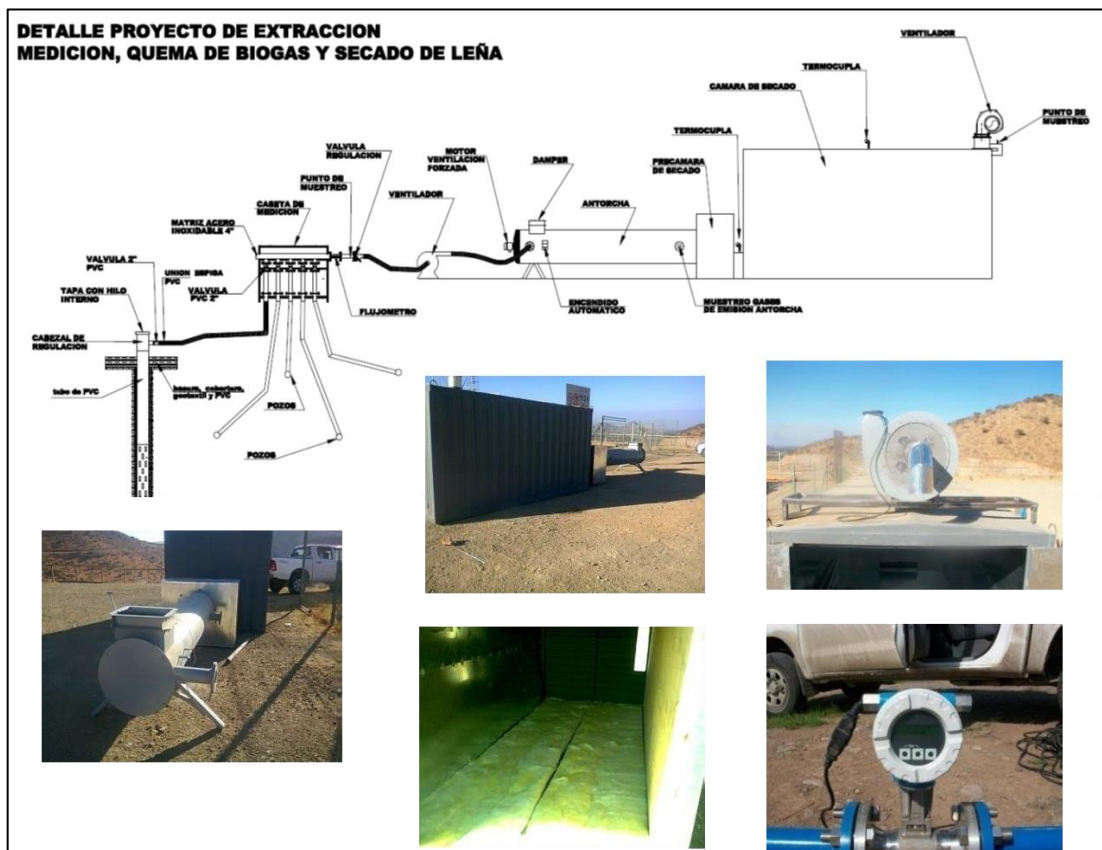
El sistema de distribución de calor está formado por varias tuberías rígidas que se instalan fácilmente en la secadora y se pueden conseguir mediante un contenedor móvil o bien un tráiler de granja. Actualmente, junto con las secadoras simplificadas, se encuentran en el mercado equipos más modernos para el aprovechamiento del calor residual de las plantas de biogás.

Para calentar la cámara de secado y poder extraer el agua de la madera, los hornos convencionales utilizan el calor provisto por serpentinas de vapor, agua, o bien aceite, o bien el calor directo de un quemador alimentado por combustibles fósiles, gas natural, o desperdicios de biomasa. El calor generado calienta el aire para extraer el agua de la madera por evaporación, una vez saturado el vapor, el aire caliente es expulsado por medio de las toberas, absorbiendo al mismo tiempo aire externo que es nuevamente calentado a la temperatura que pueda extraer agua de la madera para repetir este proceso de nuevo.

- Quemador de biogás

El quemador de biogás es un equipo compuesto por un motor el cual puede ser monofásico, trifásico, más un ventilador y un mechero en el cual se quema el biogás, hay una variedad de equipos comercializados los cuales están dimensionados a la capacidad de secado y volumen de alimentación de biogás.

Figura 11. Esquema de sistema de secado artificial- utilizando biogás como fuente suministro obtenido en el relleno sanitario



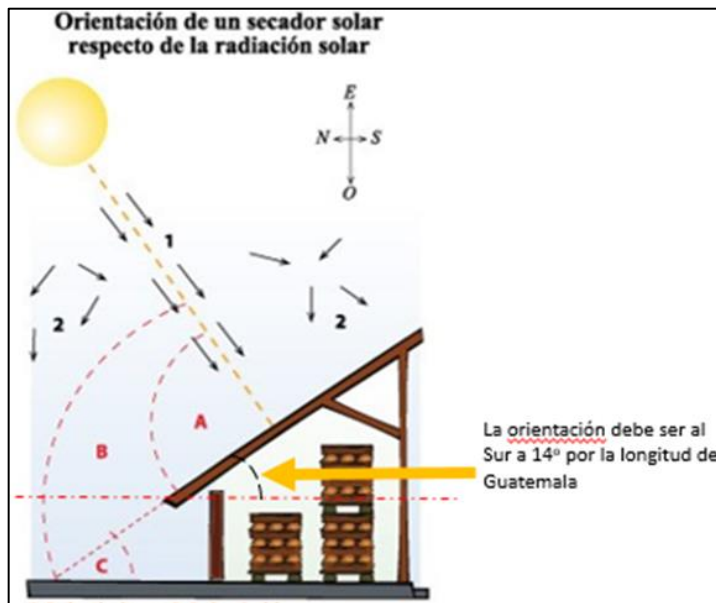
Fuente: Relleno sanitario, región Maule, Chile, 2015.

- Horno de secado usando radiación solar

Los secadores solares son estructura simples de madera recubiertos con nylon para invernadero. Poseen ventanas laterales que permiten generar un flujo constante de aire que al calentarse permiten la extracción de la humedad de la leña.

El principio físico que estas estructuras aprovechan es considerar el efecto producido por la radiación solar, la cual al atravesar el plástico se emite como radiación infrarroja con una longitud de onda mayor que la solar, por lo cual no pueden atravesar el plástico en su retorno quedando por consiguiente son atrapadas y producen el calentamiento (Universidad Católica -Temucho Chile, 2015)

Figura 12. **Vistas de ubicación del secador solar y diseño de secador**

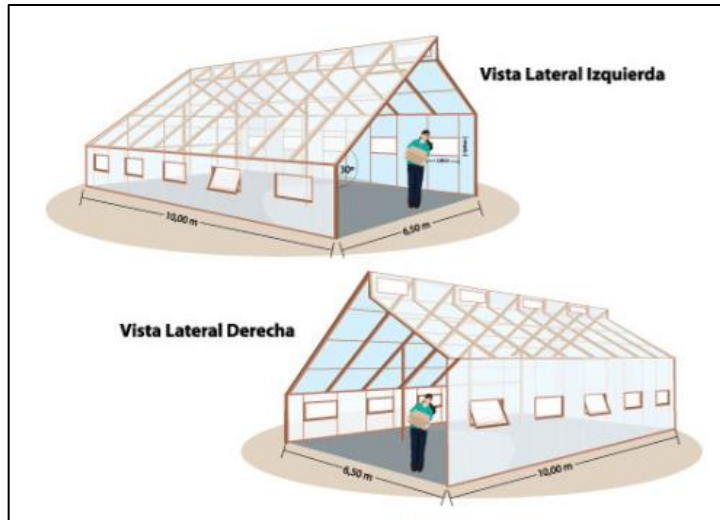


1: Radiación directa; 2: Radiación difusa;

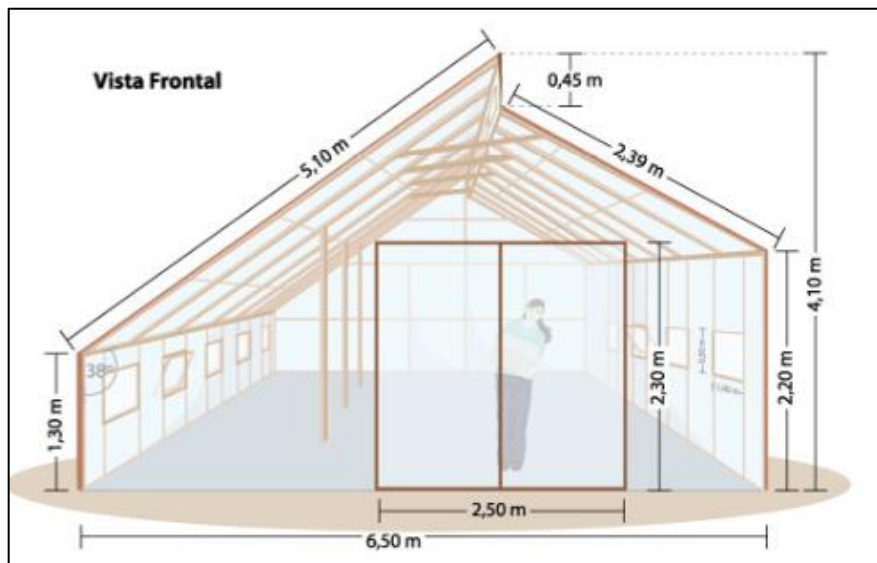


Continuación de la figura 12.

A: Ángulo del receptor hacia radiación directa



B: Altura solar



Continuación de la figura 12.

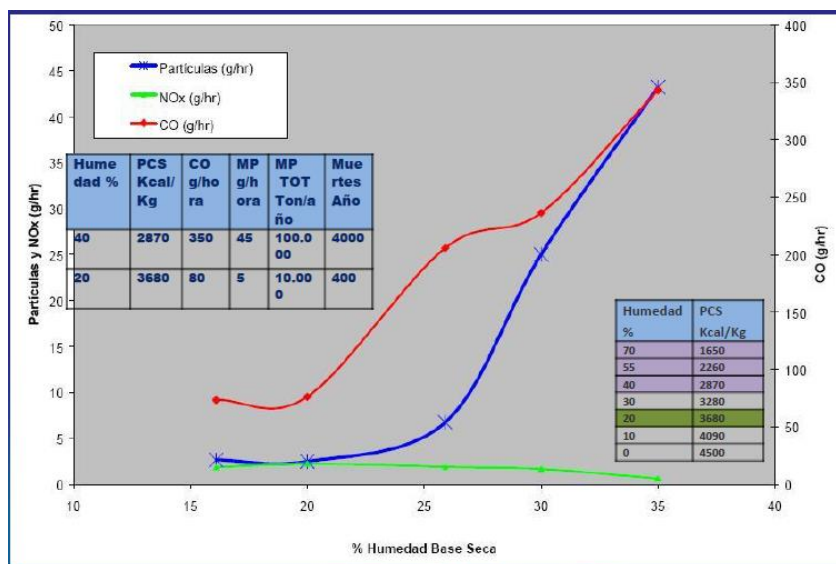
C: Inclinación del receptor con el horizonte



Fuente: (Universidad Católica -Temucho Chile, 2015)

- Reducción de gases CO, NOx, material particulado, CH4
- Reutilización de CH4 como fuente de combustión.

Figura 13. Beneficios del secado de la leña



Fuente: Prien. Universidad de Chile.

## 9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES
  
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
  - 2.1. Descripción del problema
  - 2.2. Formulación del problema
    - 2.2.1. Preguntas de investigación
      - 2.2.2. Pregunta central
      - 2.2.3. Preguntas auxiliares
  - 2.3. Delimitación del problema
    - 2.3.1 Delimitación sectorial
    - 2.3.2 Delimitación geográfica
  
3. JUSTIFICACIÓN
  
4. OBJETIVOS
  - 4.1. Objetivo general
  - 4.2. Objetivos específicos
  
- 5.. NECESIDAD A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

## 6. MARCO TEÓRICO

6.1. Utilización de biomasa en Guatemala

6.2. Biogás en Guatemala

6.2.1. Biomasa residual seca

6.2.3. Biomasa residual húmeda-Gallinaza

6.2.5. Biogás

6.2.6. Diseño del biodigestor

6.3. Tipos de Secadores de leña

6.3.1. Secado natural de leña

6.3.2. Secado de leña con aire caliente

## 7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## 8. METODOLOGÍA

8.1. Diseño experimental

8.2. Alcance del estudio

8.3. Variables a cuantificar

8.4. Fases

8.4.1. Revisión documental

8.4.2. Plan de muestreo

8.4.3. Diseño de instrumentos de recolección de información

8.4.4. Trabajo de campo

8.4.5. Trabajo de laboratorio

8.4.6. Cuatificación del biogás

8.4.7. Propuesta del diseño del sistema de secado con energía renovable

8.4.8. Resultados esperados

## 9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

10. CRONOGRAMA

11. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

13. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

14. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1, ÁRBOL DE PROBLEMA, ANÁLISIS DE CAUSA, EFECTO

ANEXO 2, MATRIZ DE COHERENCIA



## 10. METODOLOGÍA

### 10.1. Diseño experimental

Para el proceso de esquema de solución del secado de la leña el modelo a seguir es experimental donde se estará manipulando el nivel de humedad (variable independiente-causa) y medición de poder calorífico, concentraciones de: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O-vapor de agua, material particulado MP ( variables dependientes-efectos)

En cuanto a la generación y composición del biogás de la gallinaza, el modelo a seguir es “ No experimental cuantitativo” donde se cuantificará la concentración de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrógeno, sulfuro de hidrógeno( H<sub>2</sub>S), producido de la mezcla gallinaza más agua en condiciones anaeróbicas.

### 10.2. Alcance del estudio

El estudio será descriptivo – correlacional;

Descriptivo debido a que se iniciara con información sobre la descripción de las características y propiedades de la biomasa en estudio:

- Leña: humedad, poder calorífico, gases provenientes de la combustión
- Gallinaza; composición de nutrientes, composición del biogás.
- Correlacional, para comprender el grado de relación entre sus variables

- Leña: El efecto al disminuir el contenido de humedad y el incremento del poder calorífico, y reducción en CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (vapor de agua), y Material particulado (PM), mediante una combustión más eficiente.

Tabla IX. **Variables a cuantificar**

Descripción	Variables
Leña	Contenido de humedad %
Combustión leña	Poder calorífico (KJ/kg), con 30 % humedad
	Concentración CO <sub>2</sub>
	Concentración CO
	H <sub>2</sub> O (vapor de agua)
	Concentración Material particulado (MP)
Biogás (composición)	Concentración % Metano CH <sub>4</sub>
	Concentración % CO <sub>2</sub>
	Concentración % H <sub>2</sub>
	Concentración H <sub>2</sub> O (vapor de agua)
	Concentración sulfuro de hidrógeno % H <sub>2</sub> S Trazas
Cámara de secado	Temperatura del horno para obtener humedad ≤25 %
Digestor	Temperatura de reacción biológica

Fuente: elaboración propia.

### 10.3. Fases

### 10.4. Revisión documental

Investigación, análisis, y caracterización de la información a nivel nacional, regional C.A, y mundial relacionada a la biomasa forestal (leña) en temas de composición de leña, propiedades físico químicas, combustión, datos



estadísticos de su consumo y utilización, sistemas de secado; así como composición de biogás, proceso bioquímico, combustión, diseño y tipología de digestores.

#### **10.5. Plan de muestreo**

Colectar muestras representativas (muestreo aleatorio simple) de gallinaza en casas de vecinos de aldea El Sitio para realizar el análisis de composición de biogás, con la finalidad de tener datos base - Centro de investigación de USAC-Facultad de Ingeniería o bien mediante análisis en cromatografía líquida en un proveedor de este tipo de servicios, o bien disponer del informe de análisis de biogás de la gallinaza producido en la avícola las Victorias San Juan Sacatepéquez.

Colectar muestras representativas (muestreo aleatorio simple) de leños para realizar las pruebas de obtención de calor calorífico- MEM (Ministerio de Energía y Minas), composición de gases de combustión, con la finalidad de tener datos base - Centro de investigación de USAC-Facultad de Ingeniería.

#### **10.6. Diseño de instrumentos de recolección de información**

- Reporte de pesos de biomasa
- Reporte de humedad del lugar
- Reportes de valores obtenidos para poder calorífico, y humedad
- Reporte de composición de gases de combustión de leña
- Reporte de composición de biogás

## **10.7. Trabajo de campo**

Visita aldea El Sitio para solicitar permisos a Cocode para poder realizar el muestreo en las casas de los vecinos.

## **10.8. Trabajo de laboratorio**

- Construcción de digestor de tamaño experimental

A elaborarse en el centro de investigaciones Facultad de Ingeniería USAC, o bien análisis de biogás mediante cromatografía líquida, o disponer del informe de análisis de biogás de la avícola Victorias, San Juan Sacatepéquez, quienes actualmente producen biogás de la gallinaza. (Aqualimpia Engineering , 2015).

- Evaluaciones de la leña

El contenido de humedad de la leña se determina mediante el uso de Xilohigrómetros, que son instrumentos que se basan en las propiedades eléctricas de la madera y varían con el contenido de humedad.

Otro método para determinar el contenido de humedad en la leña es el método gravimétrico. Implica pesar la muestra antes y después de secarla a un horno a una temperatura mayor de 100C.

El poder calorífico de la leña previo al secado y después del secado se determinara en el laboratorio del MEM (Ministerio de Energía y Minas).

Los gases de combustión y material particulado previo al secado y después del secado de la leña se determinarán en el Centro de Investigaciones

de la Facultad de Ingeniería, USAC o bien en el MEM (Ministerio de Energía y Minas).

### **10.9. Cuantificación del biogás**

La composición del biogás, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, N, H<sub>2</sub>, se determinará mediante la construcción de un reactor vertical, utilizando envases de polietileno de alta densidad, donde se agregará 5 litros de mezcla, agua fresca y gallinaza. La evaluación de la composición de gases se hará por cromatografía de gases, o bien utilizando algún otro método de cuantificación alterno, o bien utilizando la referencia de análisis de composición de biogás que se produce avícola Victorias, San Juan Sacatepéquez. (Aqualimpia Engineering , 2015).

### **10.10. Propuesta del diseño del sistema de secado con energía renovable**

- Dimensionamiento del sistema de secado en base a las siguientes consideraciones:
  - Volumen de leña a secar
  - Diseño del digestor (Demanda de volumen de biogás para obtener la temperatura óptima de secado)
  - Diseño de cámara de secado
- Costo total de diseño del sistema de secado de leña.
- Análisis financiero del diseño del secador de leña

### **10.11. Resultados esperados**

- Se tendrán datos bases para para una proyección del diseño del sistema de secado por medio de energías renovables
- Con estos resultados se podrá realizar un proyección de cuanto se requerirá para que este sistema de secado funcione y que sea viable económicamente a la población del sitio.

## **11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

Se hará uso de la estadística descriptiva utilizando los métodos de media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación, para estimar las tendencias medias y desviación de los resultados de la fase experimental, se utilizará el muestreo aleatorio simple para la colección de muestras de gallinaza y leños a ser usados en ensayos destructivos, para validar los resultados de composición de biogás. El análisis de varianza será aplicado entre muestras para inferir las tendencias de la variable independiente humedad, y las dependientes poder calorífico, temperatura, material particulado, gases de combustión de biomasa se utilizará el análisis de regresión y correlación.



## 12. CRONOGRAMA

Se proponen las siguientes actividades para la realización y alcance de la presente investigación.

Figura 14. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17
<b>FASE I</b>												
Revisión documental	■	■										
<b>FASE II</b>												
Plan de muestreo			■									
<b>FASE III</b>												
Diseño instrumentos de recolección de información	■	■										
<b>FASE IV</b>												
Trabajo en campo	■	■										
<b>FASE V</b>												
Trabajo de laboratorio				■	■	■						
<b>FASE VI</b>												
Creación del diseño del sistema de secado							■	■				
Elaboración del trabajo de graduación								■	■			
Correcciones al trabajo de graduación										■	■	

Fuente: elaboración propia.





### 13. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente diseño de investigación será autofinanciable.

Tabla X. Presupuesto final del proyecto

<b>Recursos Humanos</b>		Valor, Q
Asesor	Escuela de posgrado	2,500
	Laboratorio	500
	Centro de investigaciones	750
		<b>3,750</b>
<b>Materiales e insumos</b>		
M&I	transporte	200
	comida	100
	materiales para coleccionar muestras	200
	renta de equipo para mediciones	400
		<b>900</b>
<b>Analisis de muestras</b>		
AM	Poder calorifico	2,500
	Analisis de gases	2,000
	Emisiones	1,200
		<b>5,700</b>
Imprevistos 10%		<b>1,035</b>
<b>Total</b>		<b>11,385</b>

Fuente: elaboración propia.

Es mencionar que los mayores rubros son para la parte de análisis de muestra y recursos humanos, y se cuenta con presupuesto para realizar el presente proyecto. Con lo cual se confirma que el estudio es factible y económicamente viable.



## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmad, M. A. (2010). *Production of Biogas from Poultry Manure- Thesis* . Malaysia, Pahang.
2. Albarqawi, Z. (2013, 4 15). *wood burning*. Retrieved from wood burning: <https://prezi.com/njrr5aqInjwv/wood-burning/>
3. Aqualimpia Engineering . (2015, 7 22). *Aprovechamiento de gallinaza para producción de biogas y energia*. Retrieved from <http://www.aqualimpia.com/PDF/Aprovechamiento-gallinaza.pdf>
4. Banz information Sheet 12. (2010). *Woody Biomass- Fuel drying*. New Zealand.
5. Estacion Metereologica El Platanar CATIE. (2014). *Boletin Mensual Acatenango, Chimaltenango*. Chimaltenango, Guatemala.
6. FAO- Biogas Nepal 1996. (1996). *System Approach to Biogas Technology*. Nepal .
7. FAO- informe biomasa Guatemala. (1995). Reunión Regional sobre generacion de electricidad a partir de biomasa. Guatemala.
8. Forestry commision, Biomass Energy Centre. (2009). *Wood as fuel guide to choosing and drying logs*. USA.

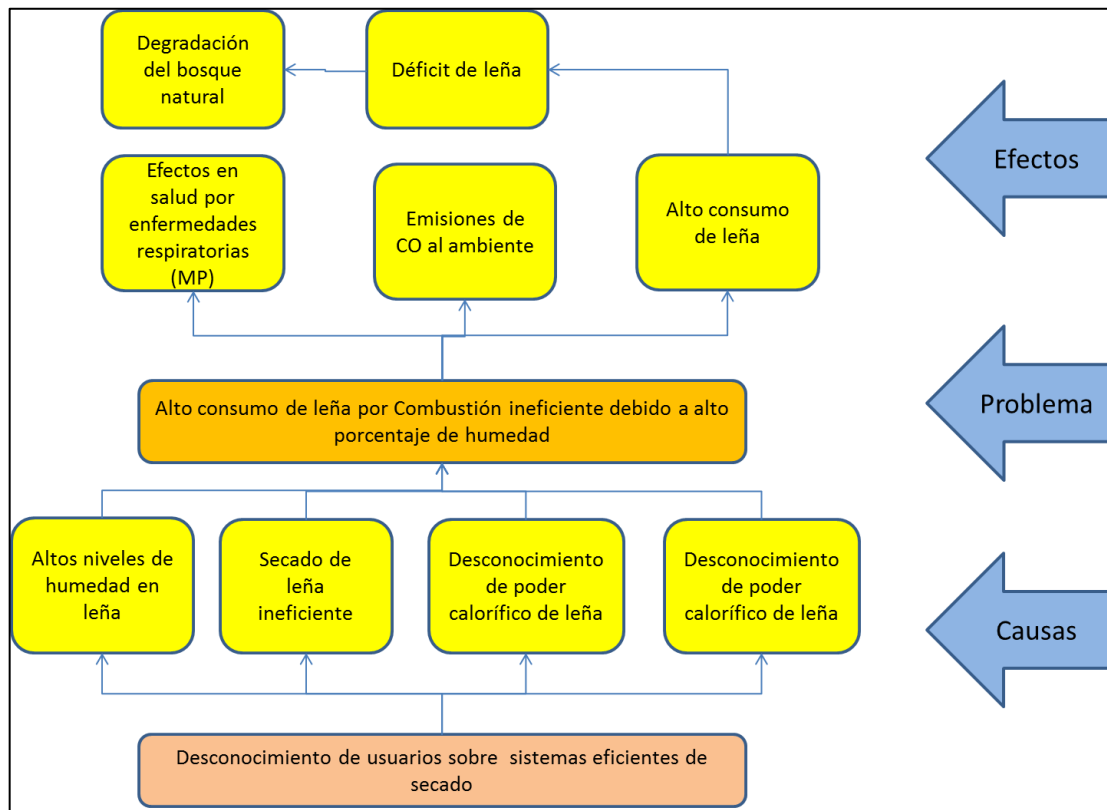
9. Instituto Nacional de Bosques. (2015). Estrategia Nacional de Produccion sostenible y uso eficiente de leña 2013-2014- Serie Institucional ES-002-2015. Guatemala.
10. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2006). Estadística Ambientales, 2006,2011,2014- Energia en los Hogares. Guatemala.
11. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012). *Caracterización departamental Chimaltenango 2012*. Chimaltenango, Guatemala.
12. Instituto Nacional de Estadística-2011. (2011). *Mapas de pobreza rural 2011*. Guatemala.
13. Larrañaga, M. M. (Marzo 2012). Oferta y demanda de Leña en la republica de Guatemala. Guatemala.
14. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. (2011). *Manual de Biogas Chile*. Santiago de Chile.
15. Ministerio de Energía y Minas, Mesa interinstitucional de leña y energía. (Noviembre 2013). *Plan Estratégico nacional para el uso sostenible de leña*. Santiago de Chile.
16. Ministerio de Energía y Minas-Guatemala. (2011). *Balance Energético 2011*. Guatemala.
17. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2016). *Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción*. Santiago de Chile.

18. Gutierrez, M. Villaón, A. Garay, R. M. Sergio Gutierrez-laboratorio Bionergia y Biocomustibles. (2009). *Modelos de Negocios para el Acopio y Secado de Leña*. Santiago de Chile.
19. Ortíz, C. A. (Octubre 2015). Biomasa Forestal, la realidad sobre la leña como fuente de energía. Guatemala.
20. Quemé, D. E. (Agosto 2008). Tesis: Diseño de un horno secador de madera- USAC. Guatemala.
21. Reyes, R. /Eduardo Neira - Agrupacion de ingenieros Forestales por el Bosque Nativo. (2012). *Leña, Energía Renovable para la conservación de los bosques nativos de Chile*. Santiago de Chile.
22. Research Institute of wood industry Chinese Academy Forestry. (Jan 2005). • Third technical report, Improve and diversified of tropical plantation timbers in China to supplement diminishing supplies from natural forest. Beijing.
23. Rivero, M. V. (2007). Diseño metodológico y experimental para estudio de secado natural de leña . Valdivia Chile.
24. Rony Pantoja Toro- CONAMA- Cooperacion Alemana-Corporacion Nacional Forestal. (Mayo 2005). *Tercer taller "Hacia la implementación del sistema nacional de certificación de leña*. Temuco, Chile.
25. Universidad Católica -Temucho Chile. (2015). *Manual de Secado de leña* . Temuco-Chile.

26. Universidad de Temuco- Chile. (2015). Manual de secado de leña- Sistema nacional de certificación de leña. Temuco, Chile.
27. Universidad del Valle, CONAP, Universidad Rafael Landívar. (2001). *Mapa de Cobertura Forestal*. Guatemala.
28. Francescato, V. Antonini, E. Zoccoli, L. Bergomim. (2008). *Manual de combustibles de Madera*. Valladolid, España.

## 15. APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol de problema, análisis de causa, efecto**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

PREGUNTA		OBJETIVO
Central	¿Qué sistema de energía renovable se pueden usar para el secado artificial de leña en la aldea El Sitio, Patzun, Chimaltenango?	Diseñar un Sistema de secado alimentado por biogás proveniente de la gallinaza, para obtener leña seca con un nivel de humedad del 20-25 %.
1	¿Cómo obtener biogás de la gallinaza?	Diseño de proceso para producción de biogás bajo condiciones anaeróbicas proveniente de la gallinaza, y validar que la composición del gas se encuentre en los siguientes parámetros: Metano, 50-70 %; Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), 30-40 %; Hidrogeno, 5-10 %.
2.	¿Cómo secar leña en un secador artificial alimentado por biogás proveniente de gallinaza?	Diseñar un horno secador alimentado con biogás proveniente de gallinaza con la finalidad de obtener una Temperatura constante de 80 C como valor mínimo
3	¿Cuál es la humedad de la leña húmeda y seca de las especies utilizadas?	Determinar el nivel de humedad de la leña previo y después de secado; leña seca $\leq 25$ %; para utilización con fines energéticos
4	¿Cuál es el poder calorífico de la leña húmeda, y seca de las especies usadas?	Determinar el poder calorífico para: Leña húmeda: valor variable; Leña seca $\leq 4000$ kcal/kg (valor medio) utilizada en la cocción de alimentos
5	¿Qué beneficios ambientales y a la salud implica el uso de leña seca?	Estimar las reducciones de :CO $\leq 150$ gr/hr; Material Particulado (MP) $\leq 20$ gr/hr durante una combustión eficiente usando leña seca
6	¿Cómo caracterizar la biomasa húmeda?	Diseñar un instructivo impreso sobre la obtención de biogás a partir de la gallinaza, y los beneficios de usar leña seca con un nivel de humedad $\leq 25$ % para pobladores en su idioma nativo (cakchiquel)

Fuente: elaboración propia.