



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Posgrado  
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA  
POR LA PALMA DE COCO (*Cocos nucifera*) PARA LA REDUCCIÓN DEL  
CONSUMO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ**

**Inga. Civil Débora Anayancy Calderón Orellana**  
Asesorado por el Msc. Ing. Nery Augusto Paz Barrientos

Guatemala, noviembre 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA POR  
LA PALMA DE COCO (*Cocos nucifera*) PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE  
LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DÉBORA ANAYANCY CALDERÓN ORELLANA**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. NERY AUGUSTO PAZ BARRIENTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel 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 Gomez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

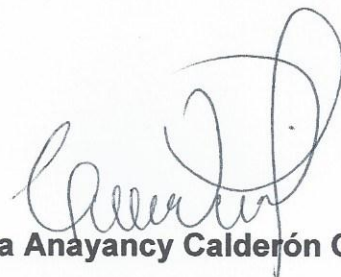
DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Alvares Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA  
POR LA PALMA DE COCO (*Cocos nucifera*) PARA LA REDUCCIÓN DEL  
CONSUMO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 19 de noviembre de 2016.



**Débora Anayancy Calderón Orellana**

Ref.APT-2018-040

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: "ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA POR LA PALMA DE COCO (COCOS NUCIFERA) PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATUTUL, SUCHITEPÉQUEZ" presentado por la Ingeniera Civil Débora Anayancy Calderón Orellana, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Decano

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, noviembre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2018-040

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA POR LA PALMA DE COCO (COCOS NUCÍFERA) PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATUTUL, SUCHITEPÉQUEZ"** presentado por la Ingeniera Civil Débora Anayancy Calderón Orellana, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2018-040

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA POR LA PALMA DE COCO (COCOS NUCIFERA) PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATUTUL, SUCHITEPÉQUEZ" presentado por la Ingeniera Civil Débora Anayancy Calderón Orellana.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Maestro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

En mi calidad como Asesor de la Ingeniera Civil **Déborá Anayancy Calderón Orellana** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL USO DE LA BIOMASA GENERADA POR LA PALMA DE COCO (COCOS NUCIFERA) PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE PATUTUL, SUCHITEPÉQUEZ"** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Maestro. Ing. Nery Augusto Paz Barrientos**  
Asesor(a)  
**Maestro en Derecho Ambiental**

**Guatemala, noviembre de 2018.**

Cc: archivo/L.Z.L.A.



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mi padre**

Porque tú eres mi ejemplo a seguir y sé que siempre estás conmigo, gracias por acompañarme y ayudarme a cumplir una meta más. Te dedico todos y cada uno de mis triunfos, siempre te llevo en mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Porque sin tu ayuda esto no fuera posible, gracias por tantas bendiciones y por colocar en mi camino a tantas personas buenas que me ayudaron a alcanzar una meta más de mi vida.
- Virgen María** Porque tu madre mía siempre estas a mi lado.
- San Judas Tadeo** Porque nunca me desamparas.
- Mi padre** Porque sin tu ayuda no hubiese podido alcanzar mis sueños. Gracias por ser el mejor papa que la vida me pudo haber dado.
- Mi madre** Porque siempre estas a mi lado ayudándome y apoyándome; en cualquier decisión que tome sé que siempre vas a estar conmigo. Gracias por ser la mejor mamá que la vida me pudo haber dado.
- Mi novio** Jorge Mario Córdova Gálvez, gracias por ser el mejor novio del mundo y por apoyarme siempre, en las buenas y malas por siempre mi amor, que esta sea una meta más de tantas que nos faltan por cumplir. Te amo muchísimo.

**Familia Córdoba Gálvez**

Don Jorge Mario Córdoba, Doña Irene Gálvez de Córdoba, Joaquín Córdoba Gálvez y Jorge Mario Córdoba Gálvez. Gracias por acogerme y aceptarme en su hogar, estaré eternamente agradecida por su ayuda, sin ustedes esto no fuera posible.

**Familia Gálvez Ardón**

Don Carlos Gálvez y doña Marta Ardón de Gálvez, sin su ayuda esto no fuera posible. Que Dios los colme de bendiciones y los proteja siempre.

**Mis hermanos**

José Mardoqueo, Brenda Lizeth, Mildred Yessenia y Ana Yency Calderón Orellana. Sé que siempre puedo contar con ustedes, los quiero mucho.

**Mis sobrinos**

Josué, Emiliano, Isabella y Génesis, son nuestra mayor alegría, espero poder ser un ejemplo para ustedes.

**Ingeniero Nery Paz**

Por orientarme en la realización de esta investigación, por compartir sus conocimientos con mi persona. Dios le bendiga.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera, y mi formación como ser humano.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser un eje fundamental en la formación profesional ética y moral durante toda mi carrera.

**Ingeniero Jesiel Enríquez  
e Ingeniero Mauricio  
Rivera**

Por su apoyo y orientación en la realización de los ensayos de laboratorio. Les agradezco profundamente por compartir sus conocimientos con mi persona.

**Laboratorio de Tecnología  
de la Madera, Facultad de  
Ingeniería, USAC**

Por permitirme realizar los ensayos de laboratorio en sus instalaciones y utilizar el equipo de la unidad. Gracias, por hacer posible la realización de este documento de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXIII
HIPÓTESIS.....	XXV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Aspectos físicos del municipio de Patulul, Suchitepéquez .....	1
1.1.1. Extensión territorial .....	1
1.1.2. Ubicación geográfica .....	1
1.2. Uso de leña a nivel mundial.....	1
1.3. Uso de leña en Guatemala.....	2
1.4. Combustión de la biomasa .....	2
1.5. Palma de coco.....	3
1.5.1. Tallo.....	5
1.5.2. Hojas .....	5
1.5.3. Fruto .....	6
1.5.4. Importancia económica y sus aplicaciones.....	7
1.6. Cultivo de coco en Guatemala.....	9
1.7. Uso de la palma de coco con fines energéticos .....	10

1.7.1.	Uso de la palma de coco como fuente de leña.....	11
1.8.	Determinación del poder calorífico .....	12
1.8.1.	Poder calorífico superior o bruto .....	12
1.8.2.	Poder calorífico inferior o neto.....	12
1.9.	Métodos para la determinación del poder calorífico.....	13
1.9.1.	Método analítico .....	13
1.9.2.	Método práctico .....	13
1.10.	Calor de combustión .....	14
1.11.	Prueba de ebullición de agua (WBT).....	15
1.11.1.	Medidas de eficiencia .....	16
1.12.	Emisiones por la quema de biomasa .....	18
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
2.1.	Situación actual.....	19
2.1.1.	Consumo de leña en Patulul, Suchitepéquez.....	19
2.2.	Estimación de la cantidad de cáscara generada.....	20
2.2.1.	Cáscara de coco seca generada.....	21
2.3.	Determinación del poder calorífico .....	22
2.3.1.	Poder calorífico de la cáscara .....	22
2.3.2.	Poder calorífico del tallo .....	23
2.3.3.	Poder calorífico de las hojas .....	24
2.4.	Comparación de poder calorífico .....	25
2.5.	Determinación de humedad de la cáscara de coco .....	27
2.6.	Prueba de ebullición de agua o WBT .....	27
2.6.1.	Material y equipo .....	28
2.6.2.	Procedimiento .....	28
2.6.3.	Calculo de indicadores .....	30
2.7.	Prueba de emisiones.....	33
2.7.1.	Material y equipo .....	33

2.7.2.	Procedimiento.....	33
2.8.	Comparación de precios.....	34
2.9.	Análisis estadístico .....	35
3.	RESULTADOS.....	37
3.1.	Cantidad de cáscara de coco producida .....	37
3.1.1.	Humedad de la cáscara de coco .....	38
3.2.	Estimación de la cantidad de cáscara de coco seca .....	38
3.3.	Poder calorífico.....	40
3.4.	Comparación del poder calorífico de la leña versus el poder calorífico de la cáscara de coco .....	40
3.5.	Ensayo WBT.....	43
3.6.	Prueba de emisiones.....	54
3.7.	Comparación de precios.....	56
3.8.	Análisis estadístico .....	58
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	63
4.1.	Cantidad de cáscara producida.....	63
4.2.	Poder calorífico y demanda de energía obtenida de la leña anual.....	63
4.3.	Ensayo WBT.....	66
4.3.1.	Consumo de combustible húmedo .....	66
4.3.2.	Carbón y ceniza.....	66
4.3.3.	Combustible seco equivalente consumido.....	67
4.3.4.	Agua vaporizada.....	68
4.3.5.	Tiempo de ebullición.....	68
4.3.6.	Tiempo de ebullición corregido .....	69
4.3.7.	Eficiencia térmica.....	69
4.3.8.	Velocidad de combustión.....	70



4.3.9.	Consumo específico de combustible .....	71
4.3.10.	Potencia de fuego .....	72
4.3.11.	Material iniciador utilizado .....	73
4.3.12.	Análisis comparativo de la biomasa de la palma de coco.....	73
4.4.	Emisiones.....	74
4.4.1.	Monóxido de carbono .....	75
4.4.2.	Micro partículas de diámetro menor a 2,5 micras....	76
4.5.	Comparación de precios .....	77
4.6.	Análisis estadístico.....	77
CONCLUSIONES.....		81
RECOMENDACIONES .....		83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		85
ANEXOS.....		89
APÉNDICE .....		107

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Partes de la palma de coco.....	4
2.	Partes de la hoja de palma.....	6
3.	Partes del fruto de la palma de coco.....	7
4.	Áreas óptimas para el cultivo de coco en la República de Guatemala.....	10
5.	Consumo de leña por municipio.....	20
6.	Residuos generados por la comercialización del fruto de la palma de coco.....	21
7.	Secado de las muestras para la determinación del poder calorífico.....	22
8.	Secado al sol del tallo de palma de coco.....	24
9.	Muestra y secado al sol de la hoja de palma de coco.....	25
10.	Medidor de contaminación del aire interior (IAP).....	33
11.	Comparación de la biomasa generada por la palma de coco, palo volador y guachipilín.....	41
12.	Comparación de humedad de combustible.....	48
13.	Comparación de combustible consumido (húmedo).....	48
14.	Comparación de carbón y cenizas producido.....	49
15.	Comparación de combustible seco equivalente consumido.....	49
16.	Comparación de agua vaporizada de las ollas.....	50
17.	Comparación de tiempo de ebullición.....	50
18.	Comparación de tiempo de ebullición corregido.....	51
19.	Comparación de eficiencia térmica.....	51

20.	Comparación de velocidad de combustión .....	52
21.	Comparación de consumo específico de combustible .....	52
22.	Comparación de potencia de fuego .....	53
23.	Comparación de material iniciador utilizado .....	53
24.	Comparación de emisiones de monóxido de carbono (CO) .....	55
25.	Comparación de emisiones de material particulado menor a 2,50 micras (PM2,5).....	56
26.	Resultados para el análisis estadístico del poder calorífico.....	58
27.	Resultados para el análisis estadístico del consumo de combustible (húmedo) .....	59
28.	Resultados para el análisis estadístico del carbón y cenizas producido .....	59
29.	Resultados para el análisis estadístico del tiempo de ebullición.....	60
30.	Resultados para el análisis estadístico de la cantidad de agua evaporada.....	60
31.	Resultados para el análisis estadístico de las emisiones de monóxido de carbono (CO).....	61
32.	Resultados para el análisis estadístico de las emisiones de micro partículas de diámetro menor a 2,5 micras.....	61

## **TABLAS**

I.	Valores específicos de combustión de diferentes materiales .....	15
II.	Efectos de los contaminantes en sistema respiratorio y en otros sistemas .....	18
III.	Cantidad de cáscara de coco húmeda producida diariamente en el municipio de Patulul, Suchitepéquez .....	37
IV.	Humedad contenida en la cáscara fibrosa (epicarpio y mesocarpio) de coco .....	38

V.	Cantidad de cáscara de coco seca producida diariamente en el municipio de Patulul, Suchitepéquez .....	39
VI.	Cantidad de cáscara de coco seca producida anualmente en el municipio de Patulul, Suchitepéquez .....	40
VII.	Poder calorífico de los componentes de la palma de coco a un 0,00 % de humedad.....	40
VIII.	Poderes caloríficos de especies arbóreas utilizadas como fuente de energía primaria en el municipio de Patulul, Suchitepéquez a un 0,00 % de humedad .....	41
IX.	Comparación en porcentaje de poderes caloríficos .....	42
X.	Demanda de energía, obtenida de la leña, anual en el municipio de Patulul, Suchitepéquez .....	42
XI.	Oferta versus demanda de cáscara de coco .....	42
XII.	Resultados del WBT utilizando cáscara de coco .....	43
XIII.	Material iniciador usado, utilizando cáscara de coco .....	43
XIV.	Resultados del WBT utilizando hoja de palma de coco .....	44
XV.	Material iniciador usado, utilizando hoja de palma de coco .....	44
XVI.	Resultados del WBT del uso de tallo de palma de coco .....	45
XVII.	Material iniciador usado, utilizando tallo de palma de coco .....	45
XXVIII.	Resultados del WBT del uso de palo volador (Terminalia oblonga).....	46
XIX.	Material iniciador usado, utilizando palo volador.....	46
XX.	Resultados del WBT del uso de guachipilín (Diphysa robinooides) .....	47
XXI.	Material iniciador usado, utilizando guachipilín .....	47
XXII.	Emisiones producidas por el proceso de combustión de cáscara de coco.....	54
XXIII.	Emisiones producidas por el proceso de combustión de hoja de palma de coco.....	54

XXIV.	Emisiones producidas por el proceso de combustión de tallo de palma de coco .....	54
XXV.	Emisiones producidas por el proceso de combustión de palo volador (Terminalia oblonga).....	55
XXVI.	Emisiones producidas por el proceso de combustión de guachipilín (Diphysa robinooides).....	55
XXVII.	Costo del proceso de recolección, transporte y secado de una tonelada de cáscara de coco.....	56
XXVIII.	Costo del proceso de compra, rajado y almacenado de una tarea de leña.....	57
XXIX.	Energía contenida en una tarea de leña de las especies arbóreas más utilizadas en Patulul.....	57
XXX.	Cáscara de coco seca necesaria para suplir la energía contenida en una tarea de leña .....	57
XXXI.	Comparación de precios entre una tarea de leña y su equivalente energético en cáscara de coco.....	57
XXXII.	Diferencia entre el precio de una tarea de leña y su equivalente energético en cáscara de coco.....	58

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>%</b>	Porcentaje
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>C</b>	Carbono
<b>cal</b>	Calorías
<b>C<sub>d total</sub></b>	Toneladas de cáscara dura total
<b>C<sub>f</sub></b>	Toneladas de cáscara fibrosa
<b>C<sub>f total</sub></b>	Toneladas de cáscara fibrosa total
<b>C<sub>f+d</sub></b>	Toneladas de cáscara fibrosa y dura
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono o anhídrido carbónico
<b>C<sub>TOTAL</sub></b>	Toneladas de cáscara de coco total (dura + fibrosa)
<b>g</b>	Gramos
<b>g/l</b>	Gramos por litro
<b>g/min</b>	Gramos por minuto
<b>Ha</b>	Hipótesis alternativa
<b>Ho</b>	Hipótesis nula
<b>KBEP</b>	Miles de barriles equivalentes de petróleo
<b>kcal</b>	Kilo calorías
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kJ</b>	Kilo Julios
<b>kJ/l</b>	Kilo Julios por litro
<b>km/h</b>	Kilómetros por hora
<b>lb</b>	Libras
<b>l</b>	litro
<b>m</b>	Metros

<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mg/l</b>	Miligramos por litro
<b>Mg/min</b>	Miligramos por minuto
<b>min</b>	Minutos
<b>MJ</b>	Mega Julios
<b>MJ/kg</b>	Mega Julios por kilogramo
<b>mm</b>	Milímetros
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>PCI</b>	Poder calorífico inferior
<b>PCS</b>	Poder calorífico superior
<b>Q</b>	Quetzales
<b>s.f.</b>	Sin fecha
<b>ton</b>	Toneladas
<b>Vs</b>	Versus

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>BTU</b>	<i>British Thermal Unit</i>
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y del Caribe.
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>IARNA</b>	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad.
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques
<b>URL</b>	Universidad Rafael Landívar
<b>WBT</b>	<i>Water Boiling Test</i>





## GLOSARIO

<b>Bioenergía</b>	Es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica o industrial formada en algún proceso biológico o mecánico; generalmente se obtiene de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, animales, entre otros), o sus restos y residuos.
<b>Biomasa</b>	Es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente.
<b>Endocarpio</b>	Capa interna de las tres que forman el pericarpio de los frutos, que puede ser de consistencia leñosa.
<b>Energía primaria</b>	Es toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. Consiste en la energía contenida en los combustibles crudos, la energía solar, la eólica, la geotérmica y otras formas de energía que constituyen una entrada al sistema.

<b>Epicarpio</b>	Es la parte del pericarpio que suele proteger al resto del fruto del exterior. El epicarpio forma la epidermis protectora del fruto que, a menudo, contiene glándulas con esencias y pigmentos.
<b>Factibilidad</b>	Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.
<b>Leña</b>	Madera utilizada para hacer fuego en estufas, chimeneas o cocinas. Es una de las formas más simple de biomasa usada mayormente para calefacción y cocinar. Es extraída de los árboles.
<b>Mesocarpio</b>	Es la capa intermedia del pericarpio, esto es, la parte del fruto situada entre endocarpio y epicarpio.
<b>Perenne</b>	Planta que florece y produce semillas durante cualquier época del año.
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	Partículas en suspensión menores a 2,5 micras.
<b>Residuo</b>	Material que su productor o dueño considera que no tienen valor suficiente para retenerlo.
<b>Residuos orgánicos</b>	Sustancias químicas basadas en carbono e hidrógeno generalmente de origen animal o vegetal.

## RESUMEN

En el municipio de Patulul del departamento de Suchitepéquez aún se conserva una costumbre que hace daño no solo al ambiente, sino que, a la salud de los pobladores, esta es el uso de la leña como fuente de energía primaria para la cocción de los alimentos.

Una buena alternativa para la reducción del consumo de leña es la cáscara de coco (*Cocos nucifera*). La comercialización del fruto de la palma de coco en el municipio en cuestión es una de las principales actividades económicas y que varios pobladores dependen; sin embargo, únicamente se comercializa el agua y la carnaza del fruto, la cáscara del mismo es desechada sin darle ningún uso, lo que causa una fuerte contaminación visual en el área, ya que es depositada en basureros clandestinos y en las orillas de la carretera.

Esta investigación se centró en la estimación de la cantidad de cáscara de coco, generada en el municipio de Patulul, Suchitepéquez, con el fin de determinar si se logra cubrir la demanda de energía primaria de la población del lugar, especialmente de los hogares del área rural que dependen completamente del uso de leña.

Así mismo, se hizo una comparación de la eficiencia energética de cada biomasa (leña vs. biomasa generada por la palma de coco), para ello se realizó el ensayo WBT (*Water Boiling Test*), que consiste en determinar la cantidad de combustible necesario para calentar agua en una olla, obteniendo energía a través del proceso de combustión.

De igual manera, se hizo una comparación del precio de la obtención de una tarea de leña y su equivalente energético en toneladas de cáscara de coco;

esto para determinar si es económicamente factible utilizar la cáscara como sustituto de la leña.

Este documento pone énfasis en la línea de investigación: “Diseño y aplicación de proyectos de Biomasa y Biocombustibles”, lo que contribuye con la reducción de la alarmante dependencia a la leña como única fuente de energía, proponiendo alternativas que sean accesibles para la población y que aprovechen la biomasa que se genera en grandes cantidades en los lugares de interés y donde esta es únicamente vista como basura.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación en estudio, se centró en los hogares del área rural del municipio de Patulul, Suchitepéquez, principalmente en los hogares que dependan del uso de la leña como fuente de energía primaria.

La escasez de información cuantitativa acerca del consumo de leña y carbón vegetal en el departamento de Suchitepéquez, se debe entre otras cosas a la dificultad que presenta la medición del volumen de corta, dado que la provisión de la leña suele realizarse por los miembros de la familia que la consumen. Así mismo, la leña no tiene un precio definido, pues en muchos hogares rurales es un bien que se obtiene mediante la recolección de ramas y árboles caídos; el único costo incurrido es el esfuerzo invertido por la familia para abastecerse. Por este motivo, el ciclo de consumo no se registra de forma oficial en su totalidad.

De acuerdo a lo reportado en el Balance Energético Nacional de Guatemala, presentado por el Ministerio de Energía y Minas (2016), para el año 2012, el consumo energético fue de 68 346,79 KBEP donde el consumo de leña representa un 57,00 % del total de energía consumida en el país, es empleada principalmente en los hogares del área rural para la cocción de alimentos.

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

El departamento de Suchitepéquez presenta un consumo promedio per cápita de leña en el sector urbano y rural de Guatemala de 1,10 toneladas; así

mismo, presenta una demanda de 94 786,02 toneladas en el área urbana y de 556 626,30 toneladas en el área rural, haciendo un total de 651 412,32 toneladas.

En Guatemala predomina la agricultura como actividad económica principal y como resultado de esta, se obtienen residuos biomásicos que pueden ser aprovechados para la obtención de energía primaria, mediante la elaboración de carbón vegetal, briquetas, o simplemente quemarla cuando la misma haya perdido suficiente humedad. Existen residuos orgánicos que, debido su alto contenido de humedad, no resulta factible someterlos al proceso de combustión; sin embargo, también pueden utilizarse para la generación de energía, la cual se puede obtener a través de su proceso natural de descomposición (obtención de biogás), el gas resultante de este proceso puede utilizarse como combustible para la cocción de alimentos, generación de calor y generación de energía eléctrica.

La palma de coco representa una buena alternativa para la reducción del uso de la leña y su principal ventaja es que posee un fruto que se produce durante todo el año. Además, su etapa de producción, dependiendo de la variedad, inicia entre el tercer y noveno año (Santos Ferreira, 1998).

Actualmente (2017), el uso de la leña como fuente de energía para la cocción de alimentos es preocupante, debido a los malos usos del recurso bosque, se están talando árboles a una velocidad mayor de la que este se regenera, a esto se le suma las escasas alternativas de energía a las que tienen acceso los habitantes de las comunidades rurales y sus limitaciones económicas para poder sustentar una alternativa que no dañe el ambiente y que no implique deforestar.

Esta práctica, además de ser dañina para el ambiente también afecta la salud de las personas, debido a que la quema de leña produce humo, el cual contiene micro partículas que al ser inhaladas por las personas continuamente provocan, y son una de las principales causas de enfermedades respiratorias. Se

estima que entre el 60 y 70 % de los hogares donde se utiliza leña para la cocción de alimentos, no cuenta con una chimenea adecuada para la extracción de humo y que entre un 5 y 10 % de estas familias, duerme en el mismo lugar donde cocinan, lo que aumenta en un 31 % el riesgo de contraer enfermedades respiratorias (ROSALES, L., 2013).

De acuerdo a las estadísticas de salud (INE, 2014), en el departamento de Suchitepéquez, se registraron 1 691 defunciones causadas por infecciones agudas en las vías respiratorias; además en la consulta externa de los centros médicos se atendió a 6 329 personas que presentaban infecciones en las vías respiratorias, mientras que en la consulta interna se atendió a 3 776 personas con el mismo padecimiento.

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

De acuerdo a la línea base de oferta y demanda de leña en Guatemala (INAB, FAO e IARNA/URL, 2012), el departamento de Suchitepéquez presenta una oferta de leña de 616 780,11 toneladas de biomasa leñosa al 0 % de humedad, y una demanda de 664 792,00 toneladas de biomasa leñosa al 0 % de humedad. Por lo tanto, se tiene un déficit de 48 011,89 toneladas de biomasa leñosa, lo que significa que la oferta de leña no supe la demanda.

El uso de la leña como fuente de energía primaria está afectando a los bosques de Guatemala, ya que propicia la tala ilegal de árboles, con el fin de suplir sus necesidades de energía, es por esta razón que se hace necesaria la



búsqueda de una fuente biomásica alternativa que reduzca el consumo de leña y que permita que los bosques se regeneren.

En Patulul, Suchitepéquez, Guatemala, se comercializa el fruto de la palma de coco (*Cocos nucifera*); esta actividad se da principalmente en la finca Cocales, la cual se encuentra sobre la ruta internacional CA-2.

De este fruto únicamente se aprovecha el agua y la carnaza que tiene en su interior, la cáscara es desechada sin darle ningún uso, lo que causa un impacto al ambiente y produce una fuerte contaminación visual, ya que se genera en grandes cantidades y no se le da la disposición adecuada.

La producción de hojas y tallo de palma no es significativo en la región, puesto que su cultivo se da únicamente como plantas ornamentales ubicadas dentro de las viviendas, las cuales, debido a la gran incidencia de tormentas eléctricas en la época de invierno, son consideradas peligro, ya que tienden a atraer los rayos.

De las hojas de la palma que se producen dentro del municipio, se aprovechan únicamente los folíolos de la misma para la elaboración de barriletes, lo que sucede únicamente en los meses de octubre y noviembre, el resto de la hoja es considerado basura. El tallo se aprovecha únicamente cuando la planta muere, es utilizado en la construcción y en algunas ocasiones como fuente de leña.

La cáscara, el tallo y las hojas de la palma de coco, poseen propiedades fisicoquímicas que lo hacen una buena alternativa para la reducción del uso de leña como fuente de energía primaria en los hogares, lo que ayudaría a la reducción del uso de la leña y con lo que se beneficiaría el recurso bosque.

Debido a que el propósito de esta investigación es la reducción del consumo de leña, se formuló la siguiente pregunta central: ¿Qué alternativas de proyectos que utilicen la biomasa generada por la palma de coco como fuente primaria

existen que permitan reducir el consumo energético de leña en el sector domiciliario, y cuál de ellas es la más viable técnicamente hablando?

Ligadas a la pregunta central, también se plantearon las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué potencial energético se puede obtener con el uso de la biomasa generada por la palma de coco como fuente alternativa de biomasa en la región de Patulul, Suchitepéquez, para la sustitución de leña?
- ¿Qué beneficios económicos trae el uso eficiente de la biomasa generada por la palma de coco, para los pobladores del municipio de Patulul, Suchitepéquez?
- ¿Qué proyectos se pueden implementar técnicamente en el sector domiciliario de Patulul, Suchitepéquez, para la gestión y uso eficiente de la biomasa generada por la palma de coco?
- ¿Qué beneficios ambientales y a la salud de la población de Patulul, Suchitepéquez trae el uso de la biomasa generada por la palma de coco como fuente primaria de energía en los hogares?



## OBJETIVOS

### **General:**

Determinar la viabilidad del uso de la biomasa generada por la palma de coco para la reducción del uso de la leña en el sector domiciliar del área rural del municipio de Patulul, Suchitepéquez, mediante la realización de una comparación de medias por medio del método de análisis de Tukey, de los indicadores de mayor interés, obtenidos de los ensayos de laboratorio.

### **Específicos:**

1. Evaluar el potencial energético por medio de la determinación del poder calorífico de la cáscara del fruto, hojas y tallo de la palma de coco como biomasa alternativa para la reducción del uso de la leña como fuente de energía.
2. Determinar la factibilidad técnica, por medio de la determinación de la eficiencia energética de la biomasa de la palma de coco y de la estimación del volumen producido de cáscara de coco, para su implementación como alternativa para la reducción del uso de la leña, en el sector domiciliar del municipio de Patulul, Suchitepéquez.
3. Calcular la factibilidad económico-financiera, por medio de una comparación de precio del uso de leña vs. el precio del uso de la cáscara de coco.

4. Determinar si es ambientalmente beneficioso el uso de la biomasa generada por la palma de coco, como combustible primario, por medio de la estimación de las emisiones de CO y PM<sub>2,5</sub>, producidas durante el proceso de combustión de dicha biomasa.

## **HIPÓTESIS**

Ho: La biomasa generada por la palma de coco (hojas, tallo y cáscara del fruto), es una buena alternativa para la reducción del consumo de leña.

Ha: La biomasa generada por la palma de coco (hojas, tallo y cáscara del fruto), no es una buena alternativa para la reducción del consumo de leña.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación es de tipo comparativo, donde se analizaron mayormente variables cuantitativas. Se centró en hacer una comparación de los beneficios del uso de la cáscara del fruto, tallo y hojas de la palma de coco versus los beneficios del uso de la leña como fuente de energía primaria, con el fin de crear una base técnica que incentive a la población del municipio de Patulul, Suchitepéquez, a que utilice y aproveche esta biomasa, a la cual no se le da ningún uso, esto con el propósito de reducir el consumo de leña, el cual está comprobado que acarrea consigo problemas como la deforestación descontrolada y además produce daños a la salud de las personas que la utilizan.

En la finca Cocales del municipio de Patulul, es donde mayormente se comercializa el fruto de la palma de coco, únicamente se comercializa el agua y la carnaza, la cáscara es desechada sin darle ningún uso. Para la determinación del volumen de cáscara generado, se hizo uso de los datos proporcionados por la Dirección Municipal de Planificación (D.M.P.) de la municipalidad de Patulul, Suchitepéquez, quienes con anterioridad hicieron una evaluación de cuanta cáscara se genera de la comercialización del fruto de la palma de coco, ya que buscan darle un uso que sea de provecho para la población.

Para la determinación del poder calorífico, como primer paso, se recolectaron las muestras de la cáscara de coco, se recolectó un peso aproximado de 100 libras, tanto de cáscara fibrosa como de cáscara dura. Para este proceso se visitaron diferentes puntos de recolección y se armó una muestra que fuera homogénea, esto con el fin de obtener un dato más exacto del poder calorífico. La cáscara de coco se recolectó en estado verde, se puso a secar en un patio al sol.



Así mismo, se recolectó 100 libras del tallo de la palma, este se extrajo de una planta a la cual le cayó un rayo causándole la muerte. También se recolectaron 100 libras de hoja de palma, las cuales fueron recogidas del suelo, ya que son las más accesibles.

Con las muestras secas, se procedió a triturar, por separado la cáscara, las hojas y el tallo de la palma. Se armaron 3 muestras de ½ libra de la cáscara fibrosa (epicarpio y mesocarpio), 3 muestras de ½ libra de la cáscara dura (endocarpio), 3 muestras de ½ libra de una mezcla de la cáscara dura con la fibrosa, 3 muestras de ½ libra de las hojas de la palma y 3 muestras de ½ libra del tallo de la palma. Las muestras fueron llevadas a los laboratorios del Ministerio de Energía y Minas, donde se le practicaron los ensayos correspondientes para la determinación del poder calorífico bajo la norma ASTM 240.

El poder calorífico de las especies de leña contra las que se hizo la comparación de la cáscara de coco, se obtuvieron mediante consultas bibliográficas.

Con los datos obtenidos, se realizó una comparación proporcional del poder calorífico de cada material.

Se llevó a cabo la estimación de la cantidad de cáscara necesaria para satisfacer la demanda energética de leña del municipio. Una vez obtenido el dato de la cantidad de cáscara que se necesita, se comparó con el dato de la estimación de cáscara producida en el municipio para determinar si se logra suplir con la demanda de leña del lugar. La cantidad de hoja y tallo de palma de coco producida en el municipio de Patulul no fue determinada, puesto que únicamente se utiliza como planta ornamental y su cultivo y producción no es significativo.

De igual manera, se realizó la comparación de la eficiencia térmica de la leña vs. la eficiencia térmica de la biomasa generada por la palma de coco; esto se hizo mediante la realización del ensayo WBT, que consiste en determinar la

cantidad de biomasa necesaria y el tiempo que tarda en hervir utilizando cada tipo de combustible, 5 kg de agua en una olla. También se determinó la cantidad de emisiones de CO y PM<sub>2,5</sub>, que se emite como resultado de la quema de estas biomásas.

Se hizo también una comparación del precio que significa el utilizar leña versus el precio que implica utilizar la cáscara de coco, con esto se determinó si es económicamente factible o no utilizarla como sustituto de la leña en el municipio de Patulul Suchitepéquez. No se llevó a cabo la comparación del precio del uso de la leña con el precio del uso de la hoja y tallo de la palma, puesto que en el municipio de Patulul no existen cultivos que produzcan una cantidad económicamente significativa de esta biomasa.

Para la comparación de precios se calculó el costo del proceso de recolección, transporte y secado de una tonelada de cáscara de coco; posteriormente se calculó el equivalente, en cantidad de cáscara de coco, de la energía obtenida de una tarea de leña; esto se multiplicó por el precio del proceso llevado a cabo para la obtención de una tonelada de cáscara de coco.



## INTRODUCCIÓN

El uso de la leña como fuente principal de energía primaria en el municipio de Patulul, Suchitepéquez, es alarmante, ya que la mayoría de los hogares del área rural dependen de este para cubrir sus necesidades de energía para la cocción de sus alimentos.

Este fenómeno produce la tala descontrolada de los pocos bosques existentes en la región; no solo preocupa la deforestación, sino que también es preocupante los daños que el uso de la leña provoca a la salud de quienes dependen de ella como única fuente de energía calorífica, principalmente las amas de casa y los niños que son quienes están más expuestos a los gases generados de la quema de la misma, los cuales a su vez también contribuyen con el calentamiento global.

Es prioritaria la búsqueda de alternativas que reduzcan, hagan más eficiente, o reemplacen el consumo de leña como principal fuente de energía, por esta razón, la maestría en Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala se ha enfocado en la línea de investigación: “Diseño y Aplicación de Proyectos de Biomasa y Biocombustibles”.

La cáscara del fruto, las hojas y el tallo de la palma de coco presentan propiedades fisicoquímicas que lo hacen una buena alternativa para la reducción del uso de la leña; además que produce un fruto perenne (se produce todo el año) y es abundante en la costa sur.

En esta investigación se planteó principalmente el aprovechamiento de las propiedades energéticas de la cáscara del fruto de la palma de coco. Se estimó la cantidad de cáscara de coco que se produce en el municipio y con base en los datos obtenidos de la determinación del poder calorífico de la cáscara, se

determinó si la cantidad que se produce en el área de estudio, es suficiente para satisfacer la demanda energética del lugar. Así mismo, se evaluaron las propiedades emergenticas de las hojas y el tallo de la palma de coco.

El capítulo I de este documento, contiene aspectos teóricos, los cuales es importante conocer antes para entender el tema investigado, por ejemplo, que es biomasa, como puede aprovecharse la biomasa, y usos de la palma de coco, entre otros. Incluye además información sobre la situación actual del cultivo de la palma de coco y del uso de la leña en Guatemala.

El capítulo II contiene información de la situación actual del residuo generado por la comercialización del fruto de la palma de coco y sobre la demanda energética del lugar; así mismo contiene el procedimiento llevado a cabo para la recolección de los datos necesarios para llevar a cabo la investigación. Describe el procedimiento llevado a cabo para la determinación de los parámetros de interés de la investigación, las ecuaciones utilizadas en los cálculos, y el material y equipo utilizado para el mismo. Contiene, además, fotografías de la situación actual del uso de la biomasa generada por la palma de coco y de los procedimientos llevados a cabo para la determinación de los distintos parámetros evaluados.

El capítulo III contiene los resultados de la investigación, en este capítulo se presentan los datos recaudados, entre ellos la cantidad de cáscara producida diariamente en el municipio, la eficiencia de la cáscara comparada con las especies arbóreas más utilizadas en el lugar, costo del uso de la cáscara de coco, entre otros.

Este capítulo, además, contiene tablas y gráficos que representan los datos recaudados y que facilitan su interpretación y comparación de ambos tipos de biomasa.

El capítulo IV contiene el análisis de la información recaudada, este se llevó a cabo haciendo una comparación de las ventajas del uso de la biomasa de la

palma de coco versus el uso de la leña, como, por ejemplo, la comparación de sus poderes caloríficos, comparación de costos, comparación de eficiencia, entre otros.

Las conclusiones de este documento fueron planteadas con base en el análisis de resultados llevado a cabo en el capítulo IV, y con base en el análisis de toda la investigación, de las conclusiones y de todo lo observado en el campo, se lograron plantear las recomendaciones contenidas también en este documento.

En la parte de anexos, se presentan los informes de los resultados de laboratorio obtenidos de las pruebas realizadas a la cáscara de coco. Así mismo, contiene fotografías de los procedimientos y resultados obtenidos del proceso de combustión de la biomasa utilizada en esta investigación.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Aspectos físicos del municipio de Patulul, Suchitepéquez**

Se presenta a continuación información sobre la extensión territorial y ubicación geográfica del municipio de Patulul, Suchitepéquez.

### **1.1.1. Extensión territorial**

El municipio de Patulul cuenta con una extensión territorial de 332 km<sup>2</sup> (IGN, 2009).

### **1.1.2. Ubicación geográfica**

Patulul es uno de los 20 municipios que conforman el departamento de Suchitepéquez, al sur occidente del país, su ubicación geográfica es longitud 91° 09' 50" y latitud 14° 25' 20" (IGN, 2009).

## **1.2. Uso de leña a nivel mundial**

La leña es una fuente de energía primaria que se obtiene directamente de la naturaleza, troncos y ramas de árboles son el material utilizado en los hogares para la cocción de alimentos. Alrededor del 60 % de todas las poblaciones regionales, es decir que cerca de 250 millones de personas, dependen preferentemente de la leña como fuente de energía para cocinar los alimentos y calentar los hogares (ONU, 2000). Esto refleja que el uso de este medio para la obtención de energía es alto, lo que implica un incremento en la deforestación.

Otro dato que se debe tener en cuenta es que cerca de 2 600 millones de personas en el mundo utilizan la leña como medio de calefacción o cocción de



alimentos y se estima que para el año 2030 la cifra incremente a 2 700 millones de personas (ONU, 2000).

### **1.3. Uso de leña en Guatemala**

Guatemala es el país centroamericano que reporta el mayor consumo de leña, ya que en el año 2002 el 57,3 % de los hogares (1 261 000 viviendas) cocinaba con leña (CEPAL, 2007). Este dato es corroborado con lo reportado por la OLADE para el año 2009, confirmando que el 47 % de la energía consumida en el país provenía de la leña, alcanzando los 26 245,06 kbep en el sector residencial y 811,70 en el sector comercial, servicios y sector público.

El consumo residencial estimado a partir de los datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2002, las proyecciones de población del Instituto Nacional de Estadística (INE) al 2010, la Encuesta de Condiciones de Vida del INE del 2006 y el estudio sobre consumo de leña en hogares de Guatemala del IARNA, adquiere la magnitud de 15 418 233,58 toneladas con base seca, equivalentes a aproximadamente a 39 994,9 kbep anuales (INAB, FAO e IARNA/URL, 2012).

Se estima que alrededor de 1 992 430 hogares (69,60 %) utilizan leña para cubrir las necesidades térmicas de cocción, calefacción y agua caliente sanitaria sobre un total de 2 858 423 hogares (INAB, FAO e IARNA/URL, 2012).

Así mismo, se estima que el consumo de leña asume su mayor magnitud en los hogares rurales, concentrando aproximadamente el 86,5% del consumo residencial total (13 333 907,98 ton con base seca) (INAB, FAO e IARNA/URL, 2012).

### **1.4. Combustión de la biomasa**

Se denomina biomasa a todo material biológico y, por tanto, constituido por materia orgánica, que están disponible para la producción de energía. La

biomasa en forma de lo que se denomina genéricamente "leña" o "madera" fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre hasta el advenimiento del carbón y fue el principal recurso energético hasta principios de la era industrial, a comienzos del siglo XIX (Carrasco García, 2007).

La combustión directa es un proceso por el que la biomasa directamente o sus biocombustibles derivados son oxidados hasta dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua. El proceso se realiza a altas temperaturas (800 – 1 000) °C, utilizando aire como agente oxidante e involucrando una etapa inicial de pirolisis y otra de gasificación de la biomasa previa a la combustión propiamente dicha (Carrasco García, 2007).

La combustión de la biomasa transcurre con liberación de energía en forma de calor y los productos principales resultantes son dióxido de carbono, agua en forma de vapor y las sales minerales contenidas en la biomasa empleada como combustible, además de relativamente pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno y de azufre, así como de monóxido de carbono, partículas de carbono y otros productos orgánicos (hidrocarburos) resultantes de la combustión incompleta de la biomasa, denominados genéricamente inquemados, los cuales junto con las sales minerales constituyen las denominadas cenizas.

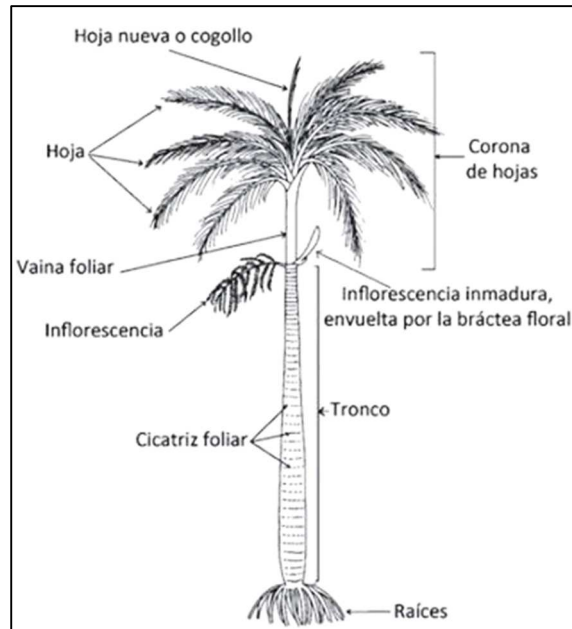
Los productos mencionados anteriormente (exceptuando las cenizas), constituyen las emisiones gaseosas, producto de la combustión de biomasa, cuya minimización es necesaria, a fin de disminuir el impacto ambiental y a la salud, producido por este proceso.

### **1.5. Palma de coco**

El coco es una fruta tropical obtenida del cocotero, tiene una cáscara exterior gruesa y un mesocarpio fibroso y otra interior dura, vellosa y marrón que tiene adherida la pulpa blanca y aromática.

Se compone de las siguientes partes:

Figura 1. **Partes de la palma de coco**



Fuente: <http://www.apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2014/02/las-palmeras-de-nuestra-amazonia.arq.html?m=1>. Consulta: 08 de octubre de 2017.

Es una de las plantas que proporciona una mayor diversidad de productos del mundo, sus usos pueden ir desde la alimentación, medicina, creación de productos de belleza y artesanales, hasta la construcción.

La palma de coco es un buen sustituto de un carbón vegetal elaborado con madera de especies arbóreas, ya que se pueden aprovechar muchas partes de la misma y no solo el endocarpio como un combustible de energía calorífica. Debido al rico contenido de nitrógeno, fósforo y potasio de la cáscara de coco, sus cenizas podrían ser utilizadas como fertilizantes y la fibra de coco es un sustrato que solo y/o mezclado posee características físicas y químicas adecuadas para su utilización como soporte de muchas plantas, lo que constituye una alternativa ecológica para la agricultura (Sanchez Beltran, R. & Soto Alonzo, L., 2016).

### **1.5.1. Tallo**

El tronco de la palma es un espite no ramificado. En su extremo superior o ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta (Lizano, s.f.).

Debido a que el tronco no posee tejido meristemático no engruesa, sin embargo, las variaciones en la disponibilidad de agua inducen cambios en el diámetro del tronco. El crecimiento en altura, depende de las condiciones ecológicas y de la edad de la planta. También varía entre los diferentes tipos de cocoteros (Lizano, s.f.).

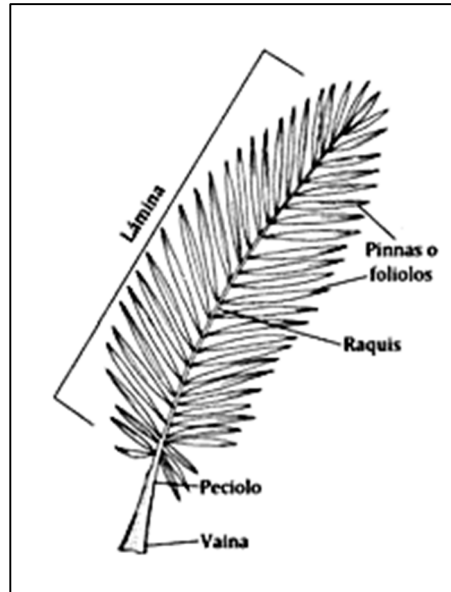
### **1.5.2. Hojas**

La hoja es de tipo pinnada y está formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continua un raquis del cual se desprenden de 200 a 300 folíolos. El largo de la hoja puede alcanzar los 6 metros y es menor al aumentar la edad de la planta (Lizano, s.f.).

En condiciones ambientales favorables una planta adulta de cocotero gigante emite de 12 a 14 hojas por año, en cambio el enano puede emitir hasta 18 hojas en el mismo período. La copa presenta de 25 a 30 hojas (Santos Ferreira, 1998).

Es importante mencionar que los cocoteros pueden disminuir en su producción y hasta morir si se cortan más del 20 % de sus hojas al año (Lizano, s.f.).

Figura 2. **Partes de la hoja de palma**



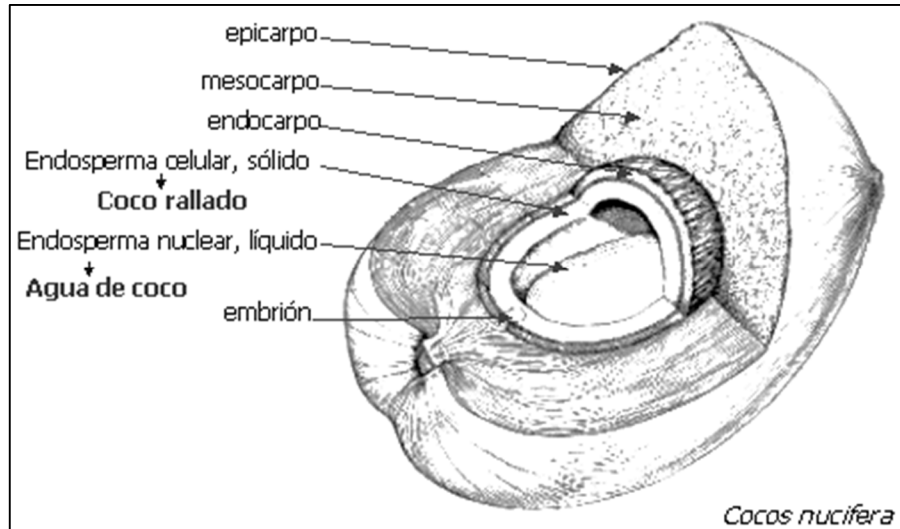
Fuente: <http://www.apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2014/02/las-palmeras-de-nuestra-amazonia.arq.html?m=1>. Consulta: 08 de octubre de 2017.

### **1.5.3. Fruto**

El coco maduro es de forma ovoidal, de unos 30 cm de longitud puede llegar a pesar hasta 2,50 kilogramos, está revestido de una cáscara fibrosa (exocarpio) de 4 o 5 centímetros de espesor que envuelve una cáscara dura (endocarpio) de 5 milímetros; una capa intermedia fina lisa (mesocarpio) menor al milímetro de espesor y dentro de ésta una pulpa blanca oleaginosa conteniendo en su cavidad central un líquido dulce conocido como agua de coco de aproximadamente 300 gramos que se encuentra encerrada en el interior hueco del fruto (Lizano, s.f.).

La palma de coco dependiendo de la variedad que se plante, da su primer fruto entre el 3er y 5to año de edad (Santos Ferreira, 1998).

Figura 3. **Partes del fruto de la palma de coco**



Fuente: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema24/24-5semilla.htm>. Consulta: 08 de octubre de 2017.

#### **1.5.4. Importancia económica y sus aplicaciones**

De la palma de coco se puede sacar bastante provecho, debido a sus múltiples aplicaciones. Entre los usos más conocidos que se le da a la biomasa producida por esta planta están los siguientes:

##### **1.5.4.1. Industria**

La pulpa blanca ya seca se llama copra, de esta se obtiene aceite que sirve como deshidratado en conservas, además es materia prima para la elaboración de jabones, cosméticos y *Shampoo*. El hueso (endocarpio) que cubre la copra es empleado como materia para producir carbón y carbón activado o como combustible de calderas (Lizano, s.f.).

#### **1.5.4.2. Construcción**

La madera extraída del tallo, se emplea para la fabricación de casas y puentes; las hojas o palmas son empleados en los techos. La fibra de la cáscara de coco se utiliza como refuerzo en la fabricación de elementos constructivos tales como paneles, tejas, canales entre otros (Burbano, Federman, et. al., 2010).

#### **1.5.4.3. Alimentación**

La pulpa tiene gran potencial en la repostería y panadería, el agua se utiliza como bebida refrescante y como ingrediente para guisos, helados y platillos tropicales, la leche fermentada produce un licor hasta de 8 grados alcohólicos, del cocotero se obtiene el palmito que puede ser consumido crudo (Burbano, Federman, *et. al.*, 2010).

#### **1.5.4.4. Agricultura**

La fibra de la cáscara es una materia prima para elaborar sustratos hortícolas alternativa a las tradicionales, debido a su elevada estabilidad, su capacidad de retención de agua y además provee buena aireación al suelo. Así mismo, los subproductos procedentes de la extracción de aceite pueden ser mezclados con otros componentes para crear abonos orgánicos (Santos Ferreira, 1998).

#### **1.5.4.5. Ganadería**

Un subproducto de la extracción de aceite es la harina de coco que se usa como alimento para ganado, también las hojas son empleadas como forraje en épocas de invierno para el ganado vacuno (Santos Ferreira, 1998).

#### **1.5.4.6. Artesanía**

Con las hojas pueden hacerse canastos, sombreros, alfombras, etc. Con la concha (endocarpio) puede hacerse botones, adornos, etc., y con la fibra se realizan cepillos, escobas entre otros (Santos Ferreira, 1998).

#### **1.5.4.7. Jardinería**

Estas plantas son muy utilizadas en jardinería, también pueden adornar interiores, además pueden ser plantados alineados a las calles lo que ofrece una bonita vista panorámica (Santos Ferreira, 1998).

#### **1.5.4.8. Ecología y turismo**

La presencia de estos árboles contribuye a la regulación de los microclimas y a la protección de los suelos, la destrucción de estos constituye una gran pérdida en relación al turismo porque los paisajes costeros pierden su elemento natural que embellece las playas (Burbano, Federman, *et. al.*, 2010)..

#### **1.5.4.9. Medicina**

Dentro de esta rama tiene múltiples aplicaciones entre ellas: antiséptico, astringente, bactericida, diurético, etc. también es empleado como remedio popular contra el asma, la bronquitis, contusiones, quemaduras, estreñimiento, disentería, tos, fiebre, gripe, entre otras (Burbano, Federman, *et. al.*, 2010)..

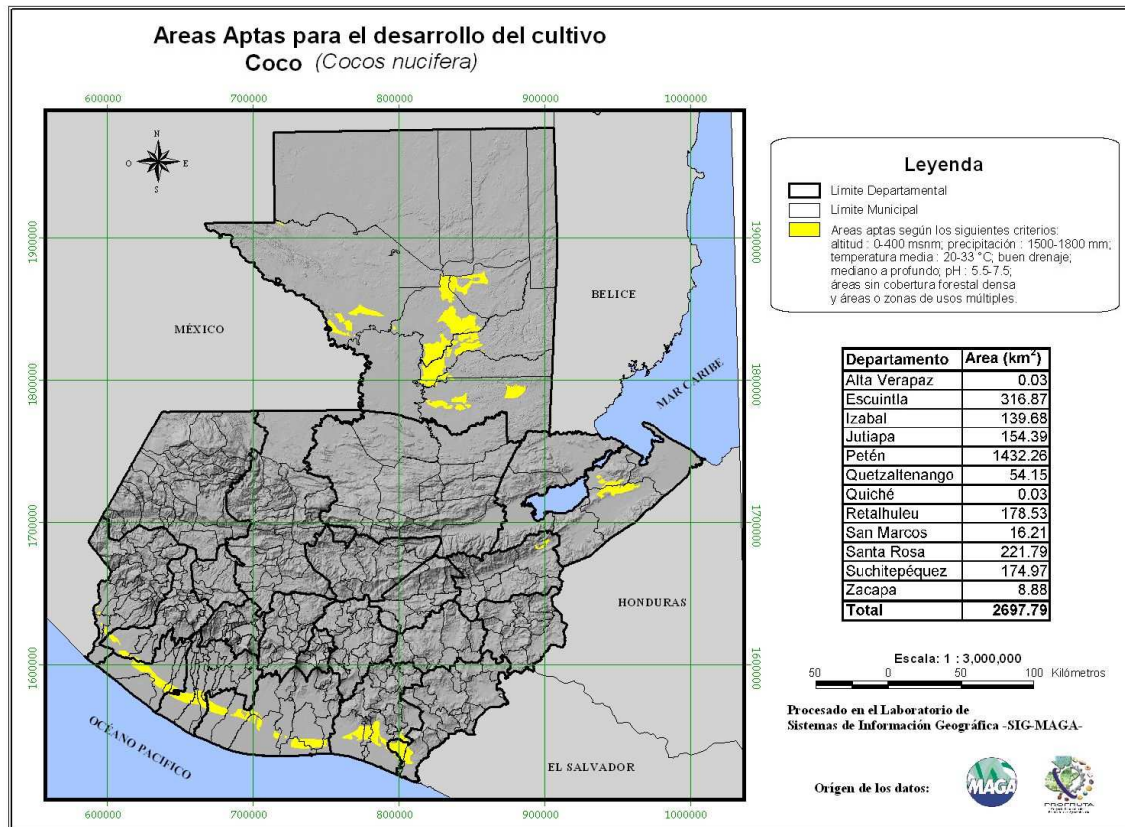
### **1.6. Cultivo de coco en Guatemala**

En la encuesta nacional agropecuaria, llevada a cabo por el INE en el año 2013, se registró que en Guatemala existe una superficie de 785,00 hectáreas de suelo con el cultivo de palma de coco (Encuesta Nacional Agropecuaria 2013, 2014).



A continuación, se presenta un mapa de Guatemala donde se indica cuáles son las áreas óptimas para el cultivo de coco.

Figura 4. **Áreas óptimas para el cultivo de coco en la República de Guatemala**



Fuente: <http://www.gifex.com/fullsize/2011-11-24-15014/Áreas-aptas-para-el-cultivo-del-Coco-en-Guatemala.html>. Consulta: 08 de octubre de 2017.

### 1.7. **Uso de la palma de coco con fines energéticos**

La cáscara de coco posee propiedades que la hacen apta para el aprovechamiento como fuente de energía. El valor del poder calorífico de la capa fibrosa es de 14,70 MJ/kg y constituye el 33 % del fruto. Por otro lado, la capa dura tiene un poder calorífico de 23,01 MJ/kg y constituye el 15 % del fruto, lo

cual implica un mayor poder calorífico en la capa dura. Teniendo en cuenta que la cáscara es totalmente desechada como residuo sólido, se puede hacer uso de ella como biomasa sin afectar la seguridad alimentaria; de igual modo, se sabe que la palma de coco es perenne (produce durante todo el año), lo que lo hace un excelente candidato para su uso en la generación de energía (Forero Nuñez, 2012).

### **1.7.1. Uso de la palma de coco como fuente de leña**

El emérito profesor de ciencia y tecnología de los alimentos, Julián A. Banzon (1984), de la Universidad de Filipinas, realizó una investigación sobre el uso del mesocarpio, endocarpio y peciolo de la hoja de palma de coco, donde determinó una ecuación que permite determinar la cantidad de palmas que se necesitan para satisfacer la demanda energética en una cocina en Los Baños, Laguna, Filipinas.

De esta investigación, se logró determinar que la energía que se puede obtener de una palma de coco se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Banzon, 1984):

$$E = [(4,05 + 4,44) N + 8,40] \times p = [8,50 N + 8,40] \times p$$

Donde:

E = energía obtenida de una palma de coco (MJ/mes)

N = número de cocos por racimo

p = número de palmas de coco

4,05 y 4,44 corresponden a la energía por unidad, en MJ, del mesocarpio y endocarpio del coco respectivamente. El 8,40 corresponde a la energía por unidad que se obtiene del peciolo de la hoja de la palma de coco.

Así mismo, Banzon (1984), logró determinar que, en esta región, una palma de coco produce en promedio 10 cocos/racimo/mes y 1 peciolo/mes; por lo tanto,

la energía al mes obtenida de esta planta es de 93,40 MJ/mes, equivalente a 2,25 litros de keroseno o 5,60 kg de leña de madera (no indica especie arbórea).

## **1.8. Determinación del poder calorífico**

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

Para obtener el Poder Calorífico de un combustible es necesario que todo el carbono (C) se oxide en forma completa pasando a anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). Para su cuantificación se utilizan las siguientes unidades de medida: kcal/kg; kcal/m<sup>3</sup>; BTU/lb; BTU/pe<sup>3</sup> (Fernández, 2010).

El poder calorífico de un combustible puede ser: poder calorífico superior (PCS) o poder calorífico inferior (PCI).

### **1.8.1. Poder calorífico superior o bruto**

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y, por consiguiente, se tiene en cuenta el calor desprendido en este cambio de fase (Fernández, 2010).

El poder calorífico de una muestra de combustible se mide en una bomba calorimétrica. La muestra de combustible y un exceso de oxígeno se inflama en la bomba y tras la combustión, se mide la cantidad de calor. La bomba se enfría con este fin a temperatura ambiente. Durante dicho enfriamiento, el vapor de agua se condensa y este calor de condensación del agua está incluido en el calor resultante (Fernández, 2010).

### **1.8.2. Poder calorífico inferior o neto**

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible, sin contar la parte correspondiente al calor

latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el valor que interesa en los usos industriales, por ejemplo, hornos o turbinas, en los que los gases de combustión que salen por la chimenea o escape están a temperaturas elevadas, y el agua en fase vapor no condensa (Fernández, 2010).

## **1.9. Métodos para la determinación del poder calorífico**

Existen dos procedimientos para la determinación del poder calorífico de los combustibles, que son:

### **1.9.1. Método analítico**

El método analítico consiste en aplicar el principio de conservación de la energía, que expresa: "El poder calorífico de un cuerpo compuesto es igual a la suma de los poderes caloríficos de los elementos simples que lo forman, multiplicados por la cantidad centesimal en que intervienen, descontando de la cantidad de hidrógeno total del combustible la que se encuentra ya combinada con el oxígeno del mismo" (Fernández, 2010).

Por lo tanto, para la aplicación del presente procedimiento es necesario efectuar previamente un análisis elemental del combustible cuyo poder calorífico se desea determinar (Fernández, 2010).

### **1.9.2. Método práctico**

El método práctico consiste en el empleo de calorímetros mediante los cuales se puede determinar en forma directa en el laboratorio el poder calorífico de los combustibles (Fernández, 2010).

Los métodos calorimétricos consisten en quemar una cierta cantidad de combustible y medir la cantidad de calor producida a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido, agua, el que, de acuerdo al método a utilizar,

puede estar contenida en un recipiente, o permanecer en continua circulación durante el proceso (Fernández, 2010).

### **1.10. Calor de combustión**

Durante la combustión de los cuerpos, el desprendimiento de calor se realiza de forma diferente de acuerdo con las características físicas y químicas del cuerpo en cuestión.

Se define el calor específico de combustión como la cantidad de calor que cede la unidad de masa del cuerpo al quemarse totalmente. El calor específico de combustión se expresa en unidades de energía por unidades de masa (J/kg), y depende del tipo de combustible. Iguales masas de combustibles diferentes, desprenden diferentes cantidades de calor al quemarse totalmente. De otro modo, masas diferentes del mismo combustible desprenden, también, diferentes cantidades de calor. La cantidad de calor desprendida por cierta masa de combustible, al quemarse totalmente, puede ser calculada mediante la ecuación (Cengel, 1996):

$$Q = I \times m$$

Donde:

Q = cantidad de calor (J)

I = calor específico de combustión (J/kg)

m = masa (kg)

Tabla I. **Valores específicos de combustión de diferentes materiales**

Material combustible	Calor específico de Combustión	
	(KCal/Kg)	(MJ/Kg)
Hidrógeno	33915,90	142,00
Gas metano	13136,40	55,00
Gasolina	11225,70	47,00
Petróleo crudo	11225,70	47,00
Queroseno	10986,80	46,00
Carbón bituminoso	8598,40	36,00
Antracita	8359,50	35,00
Coque	8120,70	34,00
Alcohol etílico	7165,30	30,00
Carbón vegetal	7165,30	30,00
Alcohol metílico	5254,50	22,00
Madera de pino	5015,70	21,00
Cascarón de coco	4776,90	20,00
Turba seca	4776,90	20,00
Leña seca	4299,20	18,00
Turba húmeda	3821,50	16,00
Aserrín seco	3582,60	15,00
Cáscara de arroz	3582,60	15,00
Lignito	3104,90	13,00
Bagazo de caña seco	2149,60	9,00
Leña verde	2149,60	9,00
Planta de maíz seca	2149,60	9,00
Aserrín húmedo	1910,70	8,00

Fuente: Spalding, Brian. *Combustión y Transferencia de Masa*. p. 6.

### 1.11. Prueba de ebullición de agua (WBT)

Conocida como WBT por sus siglas en inglés (*Water Boiling Test*). Es una simulación simplificada del proceso de cocinado. Sirve para comparar el desempeño de estufas en condiciones controladas en el laboratorio y en óptimo funcionamiento. El WBT no está diseñado para realizar pruebas en campo. En

esta prueba se mide el tiempo y la cantidad de combustible consumido al realizar una tarea muy simple: calentar una o varias ollas con agua (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014).

### **1.11.1. Medidas de eficiencia**

Los parámetros de eficiencia obtenidos del ensayo WBT son los siguientes:

#### **1.11.1.1. Tiempo de ebullición**

Tiempo que tarda el agua en llegar al punto de ebullición desde la temperatura inicial.

#### **1.11.1.2. Tiempo de ebullición corregida**

Tiempo que tarda el agua en llegar al punto de ebullición, ajustando una temperatura inicial estándar. Representa el tiempo que el agua tarda en realizar un cambio de temperatura de 75 °C, es decir el tiempo que tarda de pasar de 25 °C a 100 °C (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014).

#### **1.11.1.3. Eficiencia térmica.**

Es una medida de la fracción de calor producido por el combustible que llega directamente al agua en la olla. La energía restante se pierde en el ambiente. Por lo tanto, una eficiencia térmica más alta indica una mayor capacidad para transferir el calor producido hacia la olla (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014).

#### **1.11.1.4. Consumo específico de combustible**

Esta es una medida de la cantidad de combustible requerido para hervir 1 litro de agua (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014).

#### **1.11.1.5. Temperatura del agua**

Es la medida de la máxima temperatura alcanzada por el agua de las ollas durante la prueba.

#### **1.11.1.6. Combustible seco equivalente consumido**

Es la madera seca equivalente consumida, ajusta la cantidad de combustible seco que se quemó teniendo en cuenta dos factores: (1) la energía que se necesita para eliminar la humedad en el combustible y (2) la cantidad de combustible restante no quemado (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014).

#### **1.11.1.7. Agua vaporizada de las ollas**

Indica la cantidad de agua que se evaporó durante la prueba.

#### **1.11.1.8. Carbón y cenizas producido**

Es la cantidad de carbón y ceniza producidos al momento del proceso de combustión.

#### **1.11.1.9. Velocidad de combustión**

Es la tasa de consumo de combustible con la que el agua alcanza el punto de ebullición local.

#### **1.11.1.10. Potencia del fuego**

Es la energía que otorga el combustible consumido para hervir el agua dividido por el tiempo que tardó la misma en hervir.



## 1.12. Emisiones por la quema de biomasa

Las emisiones atmosféricas que se producen al quemar algún tipo de combustible en las residencias particulares se debe principalmente a la calefacción, el calentamiento de agua o a la cocción de alimentos.

Durante la combustión de cualquier combustible, se generan varios elementos producto de este proceso, entre los que se destaca el Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Vapor de Agua (H<sub>2</sub>O), Oxígeno (O), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Dióxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>) y partículas sólidas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>).

Estos componentes emitidos por la quema de biomasa, son los principales causantes de enfermedades respiratorias en niños y adultos. A continuación, se describen las enfermedades causadas por algunos de los componentes liberados a través del proceso de combustión:

Tabla II. **Efectos de los contaminantes en sistema respiratorio y en otros sistemas**

Contaminante	Efecto en el sistema respiratorio	Efecto en otros sistemas
Material particulado (PM <sub>10</sub> Y PM <sub>2,5</sub> )	Disminución de la función pulmonar, interferencia en mecanismos de defensa pulmonar (fagocitos y depuración mucociliar), síndrome bronquial obstructivo, riesgo de cáncer en la adultez.	Bajo peso y talla al nacer, disminución de la variabilidad en la frecuencia cardiaca ante el estrés.
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Obstrucción bronquial, hipersecreción bronquial, bronquitis crónica.	
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>3</sub> )	Hiperactividad bronquial, aumento de síntomas respiratorios y exacerbaciones de asma, disminución de la actividad mucociliar, posible decremento en el desarrollo pulmonar.	
Monóxido de carbono (CO)	Disminución en la capacidad de ejercicio.	Interfiere el transporte de O <sub>2</sub> por la hemoglobina, cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual, pérdida progresiva y letal de conciencia en altas concentraciones.

Fuente: Oyanzún, Manuel. *Contaminación aérea y sus efectos en la salud*. p. 6.

## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Situación actual**

En el municipio de Patulul, Suchitepéquez, se comercializa el fruto de la palma del coco, especialmente en la finca Cocales, la cual es un área muy transitada, ya que esta sobre la carretera C-A2 que conduce hacia la frontera con México.

De este fruto se comercializa únicamente el agua y la carnaza del mismo, en el proceso de obtención de estos productos se generan residuos ya que para lograr obtenerlos se necesita pelar o quitar la cáscara del fruto que se compone de una parte fibrosa (mesocarpio y epicarpio) y una parte dura (endocarpio).

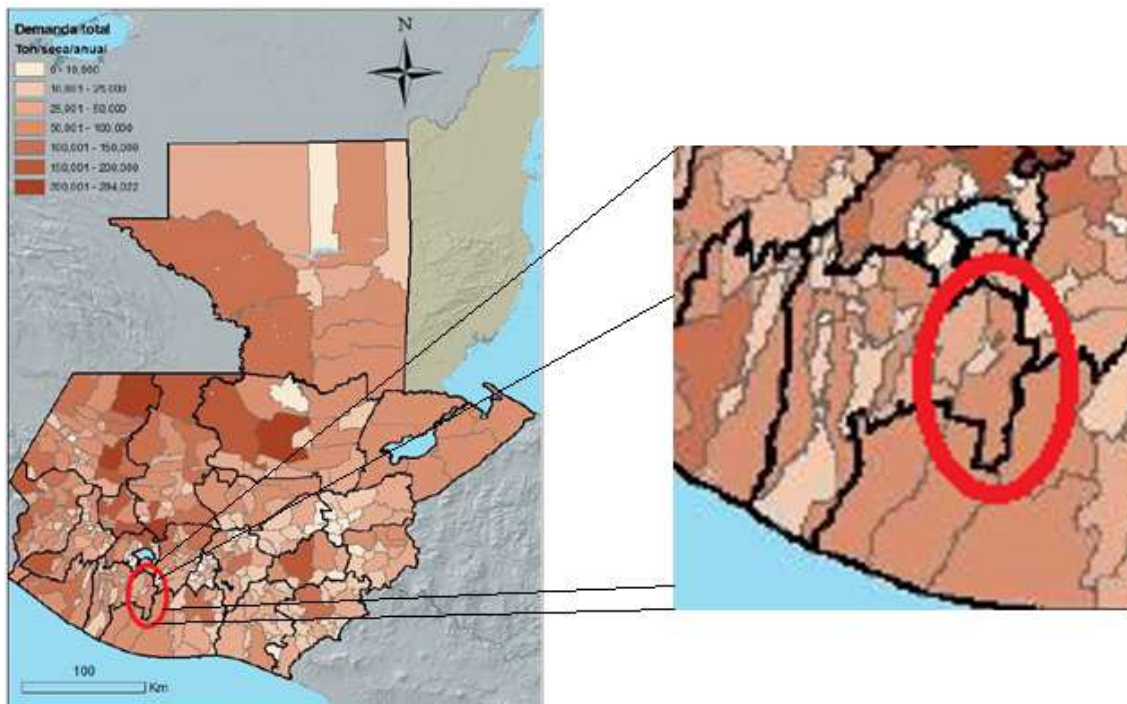
A los residuos generados de la comercialización del fruto de la palma de coco, no se le está dando ningún uso actualmente, está siendo depositado en basureros clandestinos que se encuentran ubicados en la orilla de la carretera y algunos comerciantes lo utilizan para rellenar agujeros en terrenos de su propiedad.

#### **2.1.1. Consumo de leña en Patulul, Suchitepéquez**

No se tienen datos estadísticos del consumo de leña de dicho municipio, sin embargo, el departamento de Suchitepéquez, de acuerdo a un estudio realizado por la FAO (2012), presenta un consumo de 3,6 metros cúbicos de leña per cápita al año en el área rural, con una demanda energética anual de leña de más de medio millón de toneladas en base seca (INAB, IARNA/URL, FAO/GFP, 2012).

En la siguiente figura puede observarse el consumo de leña por municipio, encerrado en un círculo rojo se encuentra el municipio de Patulul, que presenta un consumo anual ente 50 001 y 100 000 toneladas de leña seca.

Figura 5. **Consumo de leña por municipio**



Fuente: INAB, FAO e IARNA/URL (2012). *Línea base de oferta y demanda de leña en Guatemala (mapeada)*. p. 11.

## 2.2. **Estimación de la cantidad de cáscara generada**

Para la estimación de la cantidad de cáscara de coco generada en el municipio de Patulul, Suchitepéquez, se visitó la Dirección Municipal de Planificación (DMP), de la municipalidad de Patulul, Suchitepéquez, quienes realizaron la determinación de la cantidad de cáscara de coco producida en el municipio puesto que tienen como proyecto buscarle un uso que sea de provecho para la población y que reduzca principalmente la contaminación visual que esta

genera dentro del municipio, debido a que la mayor parte de los residuos se encuentran en el área de ingreso a la localidad, más conocido como finca Cocales.

Los datos proporcionados por la DMP, indican la cantidad, en peso, de cáscara de coco húmeda producida diariamente en el municipio, por lo que fue necesario determinar la humedad que contiene la misma, para posteriormente determinar la cantidad de cáscara de coco seca producida por día.

Figura 6. **Residuos generados por la comercialización del fruto de la palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

### 2.2.1. **Cáscara de coco seca generada**

Como primer paso, se determinó el porcentaje de humedad contenido en la cáscara de coco (epicarpio, mesocarpio y endocarpio), posteriormente se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Cáscara seca} = \text{cáscara húmeda (lb)} \times (1 - \% \text{ humedad cáscara})$$

## 2.3. Determinación del poder calorífico

A continuación, se detalla el procedimiento llevado a cabo para la determinación del poder calorífico, el mismo fue determinado por los laboratorios del Ministerio de Energía y Minas.

### 2.3.1. Poder calorífico de la cáscara

Para la determinación del poder calorífico, se tomaron muestras de los diferentes puntos de venta de coco, las cuales se pusieron a secar en un patio al sol hasta que alcanzarán la humedad óptima de combustión, la cual va de un 6,5 a 10 %. (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014).

Figura 7. **Secado de las muestras para la determinación del poder calorífico**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Una vez cumplido el tiempo de secado, el cual fue de 35 días, se procedió a moler la cáscara, primero se pasó por un molino de martillo para obtener material más fino; posteriormente, lo obtenido, se pasó por un molino de muelas, el cual hizo que la molienda fuera aún más fina, luego de moler la muestra de

cáscara, se tamizó para obtener partículas que pasaran el tamiz núm. 60, esto para cumplir con los requerimientos del Ministerio de Energía y Minas.

Se prepararon muestras de media libra; 3 de la cáscara fibrosa, 3 de la cáscara dura y 3 de una combinación de la cáscara fibrosa con la cáscara dura.

Para este procedimiento se utilizó el siguiente equipo:

- Machete
- Molino de martillo con criba de 1/4"
- Molino de muelas con criba de 1/16"
- Balanza digital
- Tamizadora y tamices
- Bolsas de sellado hermético

### **2.3.2. Poder calorífico del tallo**

Se preparó una muestra para determinar el poder calorífico del tallo de la palma de coco.

Para la recolección de la muestra del tallo, se visitó a una persona que tiene dentro de su casa una palma de coco a la cual le cayó un rayo y por tal motivo la planta murió, se hizo de esta manera para no afectar ninguna otra planta con vida.

El tronco de la palma se seccionó en pequeños leños para facilitar su traslado y proceso de secado, además es de esta manera como se utiliza normalmente cualquier especie arbórea, durante el proceso de combustión.

Al igual que con la cáscara, se puso a secar la muestra al patio, por un período de 30 días para que alcanzara la humedad optima de combustión.

Posteriormente se molió y tamizó para la obtención de un polvo fino, requisito para la presentación de muestras en el Ministerio. Se prepararon tres

muestras de media libra cada una, las cuales fueron llevadas al MEM para ser ensayadas.

Figura 8. **Secado al sol del tallo de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Los materiales utilizados en este proceso fueron:

- Machete
- Molino de martillo con criba de 1/4"
- Molino de muelas con criba de 1/16"
- Balanza digital
- Tamizadora
- Tamices
- Bolsas de sellado hermético

### **2.3.3. Poder calorífico de las hojas**

Para la recolección de la muestra de las hojas de la palma de coco, se recolectaron varias hojas de las que se encuentran tiradas en el suelo, es decir de las que caen de la palmera. Esto debido a que son las que se encuentran en estado seco y son más accesibles.

Las hojas se partieron en secciones más pequeñas, como formando pequeños leños, los cuales se pusieron a secar en un patio al sol, durante 35 días, para que perdieran humedad y alcanzarán la humedad óptima de combustión.

Para su molienda, se siguió el mismo procedimiento que con la cáscara de coco. Se prepararon 3 muestras de media libra cada una, las cuales fueron llevadas al MEM para ser ensayadas.

Figura 9. **Muestra y secado al sol de la hoja de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Para este procedimiento se utilizaron los materiales siguientes:

- Machete
- Molino de martillo con criba de 1/4"
- Molino de muelas con criba de 1/16"
- Balanza digital
- Tamizadora y tamices
- Bolsas de sellado hermético

#### **2.4. Comparación de poder calorífico**

Para la comparación del poder calorífico de la leña con el de la cáscara de coco, se utilizó la ecuación siguiente:



$$\text{Comparación} = \frac{\text{Poder calorífico de la biomasa de la palma de coco}}{\text{Poder calorífico leña de referencia}} \times 100$$

Así mismo, conociendo el consumo estimado de leña del lugar de estudio, se calculó la cantidad de consumo energía que significa el mismo. Con este dato se determinó con cuántos kg de cáscara de coco se puede obtener la misma cantidad de energía.

Debido a que no se tiene el porcentaje del consumo de cada uno de los tipos de leña consumidos, y tampoco se conoce la demanda de energía primaria del municipio de Patulul, se hizo un promedio de la demanda de leña anual multiplicada por el poder calorífico de las dos especies más consumidas.

$$\text{Energía leña}_x = \text{Consumo de leña} \times \text{Poder calorífico de la leña}$$

$$\text{Demanda energética} = \frac{\text{energía leña}_1 + \text{energía leña}_2}{2}$$

Como dato del consumo de leña, se tomó el dato promedio del rango indicado en el mapa de consumo de leña por municipio en Guatemala, el cual es de 75 000.50 toneladas de leña seca/año, equivalente a 75 000 500 de kg de leña/año, esto para el municipio de Patulul, Suchitepéquez.

$$\text{Cáscara de coco equivalente (kg)} = \frac{\text{Demanda energética}}{\text{Poder calorífico de cáscara de coco}}$$

Conociendo el peso equivalente al consumo de leña de la región, se comparó con la estimación de cáscara de coco producida en el lugar y se determinó si es o no suficiente para suplir la demanda de leña.

En caso que no se cubriera la demanda en su totalidad, se determinó que porcentaje de la demanda se puede suplir si se utiliza en su totalidad la cáscara del coco generada por los comercios.

$$\% \text{ demanda cubierta} = \frac{\text{Demanda de cáscara de coco seca}}{\text{Oferta de cáscara de coco seca}} \times 100$$

La oferta de cáscara de coco seca se calcula al restarle la humedad total que contiene (véase sección 2.2.1.), esto debido a que mientras menos contenido de humedad posea ésta, mayor es su poder calorífico.

## **2.5. Determinación de humedad de la cáscara de coco**

La determinación de humedad se llevó a cabo siguiendo el procedimiento que a continuación se detalla:

1. Como primer paso, se pesaron 5 muestras de 1 000 gramos de mesocarpio y 5 muestras de 1 000 gramos de endocarpio, las muestras se recolectaron luego de descáscarar varios cocos, esto con la finalidad de que el peso inicial contuviera la humedad natural de la cáscara.
2. Las muestras se colocaron en recipientes enumerados y se introdujeron al horno de secado.
3. Cada una de las muestras se pesaba diariamente, hasta obtener un peso que no variará, el cual constituye el peso seco.
4. El porcentaje de humedad se calculó con la ecuación siguiente:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso inicial base húmeda} - \text{peso final base seca}}{\text{Peso inicial base húmeda}} \times 100$$

Para este procedimiento se utilizaron los materiales siguientes:

- Balanza digital
- Horno de secado
- Recipientes enumerados
- Papel y lápiz

## **2.6. Prueba de ebullición de agua o WBT**

Para este ensayo se siguió el procedimiento establecido en el protocolo elaborado por la Alianza Mundial para Cocinas Limpias, el cual se describe a continuación:

### **2.6.1. Material y equipo**

Para esta prueba se utilizó en siguiente material y equipo:

- Balanza digital
- Termómetros de mercurio
- Medidor de humedad de la madera
- Cronómetro
- Ollas estándar, con capacidad de aproximadamente 12 litros
- Reglas de madera para fijar el termómetro
- Espátula para quitar el carbón de la estufa
- Bandejas de metal para transferencia del calor
- Equipo para medición de emisiones
- Fósforos o cerillos
- Guantes resistentes al calor
- Mascarilla
- Protección ocular
- Papel y lápiz

### **2.6.2. Procedimiento**

El ensayo WBT consta de 3 fases: inicio en frío (alta potencia), inicio caliente y baja potencia (hervir a fuego lento). Sin embargo, como la finalidad de esta investigación es comparar la eficiencia de cinco tipos de combustible (cáscara de coco, tallo de palma de coco, hojas de palma de coco, palo volador y guachipilín), se llevó a cabo únicamente la fase de inicio en frío. El procedimiento llevado a cabo, se detalla a continuación:

1. Se pesó el combustible a utilizar, (4 kg);
2. Con un medidor de humedad, se determinó el porcentaje de humedad del combustible;

3. Se pesó el material iniciador (ocote) (0,10 kg);
4. Se anotó el peso de los recipientes utilizados (kg) (bandejas y recipientes de ollas)
5. Se pesó agua en dos ollas, 5 kg de agua en cada una; posteriormente se colocaron sobre la estufa
6. Se introdujo un termómetro digital dentro del agua contenida en las ollas y se determinó la temperatura inicial del agua de ambos recipientes en grados Celsius;
7. Se procedió a encender el fuego, se anotó la hora exacta de inicio del ensayo, la temperatura y la humedad del ambiente;
8. El fuego se alimentó con el combustible necesario para hacer que el agua contenida en uno de los recipientes alcanzará el punto de ebullición local, el cual es de 93 °C (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014);
9. Cuando se alcanzó el punto de ebullición, se anotó la temperatura final del agua contenida en ambos recipientes y la hora exacta en la que el agua empezó a hervir;
10. Posteriormente, se retiró de la estufa todo el carbón y restos de combustible sin quemar;
11. Se pesó cada uno de los recipientes con agua en kg;
12. Se pesó el carbón resultante (kg), el combustible restante sin quemar (kg) y el material iniciador que no se utilizó (kg);
13. Se limpió el área de trabajo.

Los datos obtenidos, se introdujeron en una hoja de cálculo de Excel que se proporciona en el sitio web de protocolos estándar y de pruebas: <http://www.cleancookstoves.org/our-work/standards-and-testing/learn-about-testing-protocols/>.

### 2.6.3. Cálculo de indicadores

A continuación se indican las ecuaciones empleadas para el cálculo de cada uno de los indicadores de eficiencia del combustible, los cuales son determinados de manera automática por la hoja de cálculo de Excel, al introducir los resultados de las pruebas de WBT realizadas.

Estas ecuaciones son proporcionadas por la Alianza Mundial para Cocinas Limpias (2014).

- Consumo de combustible ( $f_{cm}$ )

$$f_{cm} = \text{Peso de combustible inicial} - \text{Peso de combustible final}$$

- Carbón y cenizas producido ( $\Delta c_c$ )

$$\Delta c_c = \text{Peso de carbón y cenizas resultado de la combustión}$$

- Combustible seco equivalente consumido ( $f_{cd}$ )

$$f_{cd} = \frac{f_{cm} \times [LVH \times (1 - MC) - MC (4,186 \times (T_b - T_{aire}) + 2\,257)] - \Delta c_c \times CCV}{LHV}$$

Donde:

$f_{cd}$  = combustible seco equivalente consumido (g)

L<sub>VH</sub> = poder calorífico neto (combustible seco) (kJ/kg)

MC = contenido de humedad del combustible (%)

T<sub>b</sub> = punto local de ebullición (°C)

T<sub>aire</sub> = temperatura ambiente al momento de la realización del ensayo WBT (°C)

CCV = poder calorífico del carbón (kJ/kg)

4,186 = capacidad de calor del agua (kJ/kg .°C).

2 257 = entalpia específica de evaporización del agua (kJ/kg)

- Agua vaporizada ( $w_{cv}$ )

$$w_{cv} = \text{Peso inicial de olla con agua} - \text{Peso final de olla con agua}$$

- Tiempo de ebullición ( $\Delta t_c$ )

$$\Delta t_c = \text{hora de inicio de prueba} - \text{hora de finalización de prueba}$$

- Tiempo de ebullición corregido ( $\Delta t_{Tc}$ )

$$\Delta t_{Tc} = \frac{\Delta t_c \times 75}{T_b - T_{1ci}}$$

Donde:

$\Delta t_c$  = tiempo de ebullición (min)

75 = cambio de temperatura de inicio a ebullición (°C)

$T_b$  = punto local de ebullición (°C)

$T_{1ci}$  = temperatura inicial del agua que alcanza el punto de ebullición (°C)

- Eficiencia térmica ( $h_c$ )

$$h_c = \frac{\Delta E_{\text{agua caliente}} + \Delta E_{\text{agua evaporada}}}{E_{\text{consumida}}}$$

$$\Delta E_{\text{agua caliente}} = 4,186 \times \sum [m_{\text{agua}} \times (T_{\text{final agua}} - T_{\text{inicial agua}})]$$

$$\Delta E_{\text{agua evaporada}} = 2\,257 \times w_{cv}$$

$$E_{\text{consumida}} = f_{cd} \times \text{LHV}$$

Donde:

$h_c$  = eficiencia térmica (%)

$\Delta E_{\text{agua caliente}}$  = energía para calentar el agua (kJ)

$\Delta E_{\text{agua evaporada}}$  = energía para evaporar el agua (kJ)

$E_{\text{consumida}}$  = energía consumida (kJ)

4,186 = capacidad de calor del agua (kJ/kg .°C).

$m_{\text{agua}}$  = peso inicial del agua utilizada (g)

$T_{\text{final agua}}$  = temperatura final alcanzada por el agua ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{inicial agua}}$  = temperatura inicial del agua ( $^{\circ}\text{C}$ )

$w_{\text{cv}}$  = agua vaporizada (g)

2 257 = entalpia específica de evaporización del agua (kJ/kg)

$f_{\text{cd}}$  = combustible seco equivalente consumido (g)

LHV = poder calorífico neto del combustible seco (kJ/kg)

- Velocidad de combustión ( $r_{\text{cb}}$ )

$$r_{\text{cb}} = \frac{f_{\text{cd}}}{\Delta t_{\text{c}}}$$

Donde:

$r_{\text{cb}}$  = velocidad de combustión (g/min)

$f_{\text{cd}}$  = combustible seco equivalente consumido (g)

$\Delta t_{\text{c}}$  = tiempo de ebullición (min)

- Consumo específico de combustible ( $S_{\text{Cc}}$ )

$$S_{\text{Cc}} = \frac{f_{\text{cd}}}{w_{\text{cr}}}$$

Donde:

$S_{\text{Cc}}$  = consume específico de combustible (g/lit de agua hervida)

$f_{\text{cd}}$  = combustible seco equivalente consumido (g)

$w_{\text{cr}}$  = masa efectiva de agua hervida (g)

- Potencia del fuego ( $F_{\text{pc}}$ )

$$F_{\text{pc}} = \frac{f_{\text{cd}} \times \text{LHV}}{\Delta t_{\text{c}} \times 60}$$

$F_{\text{cp}}$  = potencia del fuego (watts)

$f_{\text{cd}}$  = combustible seco equivalente consumido (g)

LHV = poder calorífico neto del combustible seco (kJ/kg)

$\Delta t_c$  = tiempo de ebullición (min)

60 = segundos que tiene un minuto

## 2.7. Prueba de emisiones

De esta prueba, se determinó la cantidad de CO y PM<sub>2,5</sub> emitida por la combustión de la leña y de la cáscara de coco. Su determinación se llevó a cabo durante la realización del WBT.

### 2.7.1. Material y equipo

- Medidor de contaminación del aire interior (IAP por sus siglas en inglés)

Figura 10. **Medidor de contaminación del aire interior (IAP)**



Fuente: elaboración propia, 2018.

### 2.7.2. Procedimiento

1. Calibrar el IAP colocándolo durante 15 min en un lugar libre de emisiones. Estas mediciones representarán las condiciones normales del área;



2. Colocar el IAP en la campana de extracción de gases para que pueda realizar las mediciones;
  3. Realizar el procedimiento del ensayo WBT;
  4. Cuando se termine el ensayo, retirar el medidor de la campana, trasladarlo a un lugar sin emisiones, abrir la tapa y apagarlo;
  5. Descargar los datos registrados por el IAP a una computadora.
- Especificaciones técnicas del Indoor Air Pollution Meter

Véase anexos.

## 2.8. Comparación de precios

Para este cálculo se hizo la comparación entre el precio de adquisición de una tarea de leña con el precio de la cantidad de cáscara de coco equivalente a la energía producida por la tarea de leña.

Se tomó en cuenta que un metro cúbico (m<sup>3</sup>) de leña, equivale a 0,56 ton y una tarea promedio de leña equivale a 0,87 m<sup>3</sup> (INAB, IARNA/URL, FAO/GFP, 2012).

Se calculó la diferencia monetaria que existe entre la adquisición de leña o cáscara de coco, mediante una resta del precio mayor menos el precio menor. La diferencia obtenida se dividió dentro del precio del consumo de leña para obtener el porcentaje de variación respecto del mismo, ya que la finalidad de esta investigación es reducir su uso.

$$\text{Diferencia} = \text{Precio uso de leña (Q)} - \text{Precio de uso de coco (Q)}$$

$$\% \text{ variación} = \frac{\text{Diferencia precios (Q)}}{\text{Precio de uso de leña (Q)}} \times 100$$

Para el cálculo de la energía contenida en una tarea de leña, se utilizó el promedio de poder calorífico de las especies arbóreas más utilizadas en el lugar

para la obtención de leña. Lo anterior debido a que cuando se compra la leña la venden revuelta, es decir, que la tarea contiene una o más especies arbóreas.

## **2.9. Análisis estadístico**

Con la finalidad de realizar un análisis más objetivo, se llevó a cabo un análisis estadístico, para lo cual se realizó una comparación múltiple de medias utilizando el criterio propuesto por Tukey.

Se analizaron por métodos estadísticos únicamente los indicadores más relevantes los cuales son: combustible húmedo consumido, carbón y cenizas producidas, tiempo de ebullición, agua evaporada (representa el rendimiento de alimentos) y el poder calorífico. Lo anterior, debido a que son los parámetros de mayor interés económico y ambiental: mientras más combustible se consume, mayor gasto y mayor deforestación cuando se trata de especies arbóreas; mientras más tiempo de ebullición, más tardan los alimentos en cocinarse; mientras más carbón y cenizas producido, mayores residuos se generan; mientras más agua se evapora, mayores pérdidas en el rendimiento de alimentos. El poder calorífico se analizó, puesto que es el parámetro que indica la cantidad de energía que contiene cada combustible.

Cabe mencionar que también se llevó a cabo el análisis estadístico de las emisiones de Monóxido de Carbono y de PM<sub>2.5</sub>.

Para el cálculo del método de análisis de Tukey, se utilizó el programa InfoStat® versión 2018.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Cantidad de cáscara de coco producida

A continuación se presenta la cantidad de cáscara de coco producida en el municipio de Patulul, Suchitepéquez.

Tabla III. **Cantidad de cáscara de coco húmeda producida diariamente en el municipio de Patulul, Suchitepéquez**

Fecha		Cáscara de coco producida (lb/día)	Fecha		Cáscara de coco producida (lb/día)	
ABRIL	19	6 946,56	MAYO	5	8 616,27	
	20	9 195,56		6	7 443,10	
	21	10 466,09		7	6 883,28	
	22	10 578,06		8	7 486,91	
	23	6 586,34		9	10 329,79	
	24	7 043,92		10	8 840,20	
	25	7 637,81		11	11 722,02	
	26	7 350,60		12	8 957,03	
	27	10 728,96		13	7 165,62	
	28	10 217,83		14	7 009,85	
	29	10 480,70		15	10 310,32	
30	7 155,89	16		9 473,03		
MAYO	1	7 034,19		17	6 377,01	
	2	7 301,93		18	8 601,67	
	3	7 316,53		19	7 316,53	
	4	7 696,23				
<b>PROMEDIO DIARIO (lb)</b>				<b>8 395,81</b>		

Fuente: Dirección Municipal de Planificación de la municipalidad de Patulul, 2016.

### 3.1.1. Humedad de la cáscara de coco

A continuación se presentan los resultados del contenido de humedad de la cáscara fibrosa y de la cáscara dura de la cáscara de coco.

Tabla IV. **Humedad contenida en la cáscara fibrosa (epicarpio y mesocarpio) de coco**

<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso Final (g)</b>	<b>% humedad</b>
1 000,00	174,14	82,59 %
1 000,00	172,00	82,80 %
1 000,00	167,50	83,25 %
1 000,00	170,50	82,95 %
1 000,00	170,88	82,91 %
<b>Promedio</b>		<b>82,90 %</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.2. Estimación de la cantidad de cáscara de coco seca

A continuación se presenta la cantidad estimada de cáscara de coco producida en el municipio de Patulul, Suchitepéquez, al 0,00 % de contenido de humedad.

Tabla V. **Cantidad de cáscara de coco seca producida diariamente en el municipio de Patulul, Suchitepéquez**

Fecha		Cáscara de coco producida (lb/día)
<b>ABRIL</b>	19	1 187,88
	20	1 572,46
	21	1 789,73
	22	1 808,87
	23	1 126,28
	24	1 204,53
	25	1 306,08
	26	1 256,97
	27	1 834,68
	28	1 747,27
	29	1 792,22
30	1 223,67	
<b>MAYO</b>	1	1 202,86
	2	1 248,65
	3	1 251,14
	4	1 316,07
	5	1 473,40
	6	1 272,79
	7	1 177,06
	8	1 280,28
	9	1 766,42
	10	1 511,69
	11	2 004,49
	12	1 531,67
	13	1 225,34
14	1 198,70	
15	1 763,09	
16	1 619,91	
17	1 090,48	
18	1 470,90	
19	1 251,14	
<b>Promedio diario (lb)</b>		<b>1 427,02</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla VI. **Cantidad de cáscara de coco seca producida anualmente en el municipio de Patulul, Suchitepéquez**

Descripción	Producción Anual (Ton)
Cáscara de coco	237,25

Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.3. Poder calorífico

A continuación se presentan los resultados de poder calorífico de los componentes de la palma de coco, los cuales fueron proporcionados por el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala (MEM).

Tabla VII. **Poder calorífico de los componentes de la palma de coco a un 0,00 % de humedad**

Descripción	Poder Calorífico superior (MJ/kg)
Epicarpio y Mesocarpio	17,10
Endocarpio	18,19
Cáscara de coco (Epicarpio, mesocarpio y endocarpio combinados)	17,30
Hojas	17,92
Tallo	17,59

Fuente: datos proporcionados por el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala.

### 3.4. Comparación del poder calorífico de la leña versus el poder calorífico de la cáscara de coco

A continuación se presenta una comparación de poder calorífico de dos de las especies arbóreas utilizadas para la obtención de leña en los hogares del área rural del municipio de Patulul, Suchitepéquez, versus el poder calorífico de la

cáscara dura, la cáscara fibrosa y una combinación de ambas. Así mismo, se presenta una comparación con el tallo y la hoja de la palma de coco.

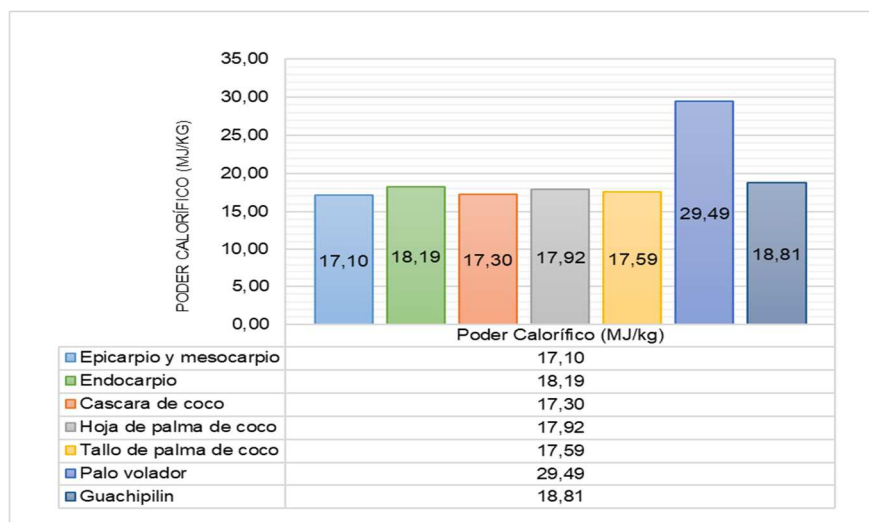
Entre las especies utilizadas en la región se encuentra el palo volador (*Terminalia oblonga*) y el guachipilín (*Diphysa robinoides*) (consulta realizada a vendedores de leña), cuyos poderes caloríficos son los siguientes:

Tabla VIII. **Poderes caloríficos de especies arbóreas utilizadas como Fuente de energía primaria en el municipio de Patulul, Suchitepéquez a un 0,00 % de humedad**

Descripción	Poder Calorífico superior (MJ/kg)
<i>Terminalia oblonga</i>	29,49
<i>Diphysa robinoides</i>	18,81
<b>Promedio</b>	<b>22,16</b>

Fuente: INAB, IARNA/URL, FAO/GFP. (2012). Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala. p. 7.

Figura 11. **Comparación de la biomasa generada por la palma de coco, palo volador y guachipilín**



Fuente: elaboración propia, 2018.



Tabla IX. **Comparación en porcentaje de poderes caloríficos**

Descripción	Poder calorífico (MJ/kg)	Comparación con palo volador	Comparación con guachipilín
Epicarpio y mesocarpio	17,10	57,99 %	90,91 %
Endocarpio	18,19	61,68 %	96,70 %
Cáscara de coco	17,30	58,66 %	91,97 %
Hoja de palma de coco	17,92	60,77 %	95,27 %
Tallo de palma de coco	17,59	59,65 %	93,51 %

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla X. **Demanda de energía, obtenida de la leña, anual en el municipio de Patulul, Suchitepéquez**

Descripción	Poder Calorífico (MJ/kg)	Consumo de leña (kg/año)	Consumo de energía (MJ/año)
<i>Terminalia oblonga</i>	29,49	75 000 500,00	2 211 764 745,00
<i>Diphysa robinoides</i>	18,81	75 000 500,00	1 410 759 405,00
<b>Promedio</b>			<b>1 811 262 075,00</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XI. **Oferta versus demanda de cáscara de coco**

Descripción	Producción necesaria para suplir la demanda anual de energía (Ton)	Producción Anual (Ton)	% de demanda suplida con base en la producción
Epicarpio y mesocarpio	105 921,76	Desconocido	-----
Endocarpio	99 574,61	Desconocido	-----
Cáscara de coco	104 697,23	237,25	0,23 %
Hojas	101 074,89	Desconocido	-----
Tallo	102 971,12	Desconocido	-----

Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.5. Ensayo WBT

La comparación de eficiencia se hizo únicamente con la leña de palo volador (*Terminalia oblonga*) y guachipilín (*Diphysa robinooides*).

Este ensayo se llevó a cabo utilizando la misma estufa para cada prueba, variando únicamente el tipo de combustible utilizado.

Tabla XII. **Resultados del WBT utilizando cáscara de coco**

Cálculo/Resultados	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Combustible consumido (húmedo)	g	4 000,00	4 000,00	3 900,00	<b>3 966,67</b>
Carbón y cenizas producido	g	290,00	305,00	230,00	<b>275,00</b>
Combustible seco equivalente consumido	g	3 009,73	3 001,00	3 054,31	<b>3 021,68</b>
Agua vaporizada de las ollas	g	3 260,00	3 260,00	3 470,00	<b>3 330,00</b>
Tiempo de ebullición	min	105,00	101,00	105,00	<b>103,67</b>
Tiempo de ebullición corregido	min	110,92	103,77	107,88	<b>107,52</b>
Eficiencia térmica	%	21,19	21,43	22,07	<b>21,56%</b>
Velocidad de combustión	g/min	28,66	29,71	29,09	<b>29,16</b>
Consumo específico de combustible	g/l hervido	471,95	469,78	489,74	<b>477,16</b>
Potencia del fuego	watts	7634,20	7913,53	7747,28	<b>7 765,00</b>
Humedad del combustible	%	9,81	9,40	9,31	<b>9,51</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XIII. **Material iniciador usado, utilizando cáscara de coco**

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Iniciador (ocote)	g	220	220	210	<b>216,67</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XIV. **Resultados del WBT utilizando hoja de palma de coco**

Cálculo/Resultados	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Combustible consumido (húmedo)	g	3 270,00	3 255,00	3 220,00	<b>3 248,33</b>
Carbón y cenizas producido	g	930	940	870,00	<b>913,33</b>
Combustible seco equivalente consumido	g	1 253,73	1 218,13	1 318,02	<b>1 263,29</b>
Agua vaporizada de las ollas	g	910,00	920,00	920,00	<b>916,67</b>
Tiempo de ebullición	min	131,00	135,00	138,00	<b>134,67</b>
Tiempo de ebullición corregido	Min	130,48	138,7	141,78	<b>136,99</b>
Eficiencia térmica	%	24,22	24,46	22,89	<b>23,86%</b>
Velocidad de combustión	g/min	9,57	9,02	9,55	<b>9,38</b>
Consumo específico de combustible	g/l hervido	145,40	142,81	151,25	<b>146,49</b>
Potencia del fuego	watts	2647,82	2496,41	2642,41	<b>2 595,55</b>
Humedad del combustible	%	9,63	9,76	9,58	<b>9,66</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XV. **Material iniciador usado, utilizando hoja de palma de coco**

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Iniciador (ocote)	g	30	40	30	<b>33,33</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XVI. **Resultados del WBT del uso de tallo de palma de coco**

Cálculo/Resultados	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Combustible consumido (húmedo)	g	2 410,00	2 460,00	2 430,00	<b>2 433,33</b>
Carbón y cenizas producido	g	340	360	340,00	<b>346,67</b>
Combustible seco equivalente consumido	g	1 518,37	1 524,44	1 531,96	<b>1 524,93</b>
Agua vaporizada de las ollas	g	770,00	790,00	800,00	<b>786,67</b>
Tiempo de ebullición	min	111,00	113,00	114,00	<b>112,67</b>
Tiempo de ebullición corregido	min	111,00	116,10	114,00	<b>113,70</b>
Eficiencia térmica	%	19,14	19,01	19,26	<b>19,14%</b>
Velocidad de combustión	g/min	13,68	13,49	13,44	<b>13,54</b>
Consumo específico de combustible	g/l hervido	172,74	172,67	174,82	<b>173,41</b>
Potencia del fuego	watts	3709,30	3658,21	3644,01	<b>3 670,51</b>
Humedad del combustible	%	9,87	9,94	10,02	<b>9,94</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XVII. **Material iniciador usado, utilizando tallo de palma de coco**

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Iniciador (ocote)	g	20	18	20	<b>19,33</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XVIII. **Resultados del WBT del uso de palo volador (*Terminalia oblonga*)**

Cálculo/Resultados	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Combustible consumido (húmedo)	g	1 850,00	1 910,00	1 900,00	<b>1 886,67</b>
Carbón y cenizas producido	g	300	315	230,00	<b>281,67</b>
Combustible seco equivalente consumido	g	1 338,43	1 376,68	1 459,20	<b>1 391,44</b>
Agua vaporizada de las ollas	g	1 240,00	1 400,00	1 750,00	<b>1 463,33</b>
Tiempo de ebullición	min	68	65	66,00	<b>66,33</b>
Tiempo de ebullición corregida	min	71,83	68,66	67,81	<b>69,43</b>
Eficiencia térmica	%	15,04%	15,50%	16,80%	<b>15,78%</b>
Velocidad de combustión	g/min	19,68	21,18	22,11	<b>20,99</b>
Consumo específico de combustible	g/l hervido	159,76	167,45	183,45	<b>170,22</b>
Potencia del fuego	watts	9240,67	9943,46	10379,76	<b>9 854,63</b>
Humedad del combustible	%	9,79	9,77	9,65	<b>9,74</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XIX. **Material iniciador usado, utilizando palo volador**

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Iniciador (ocote)	g	20	22	21	<b>21,00</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XX. **Resultados del WBT del uso de guachipilín (*Diphysa robinoides*)**

Cálculo/Resultados	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Combustible consumido (húmedo)	g	2 500,00	2 450,00	2 480,00	<b>2 476,67</b>
Carbón y cenizas producido	g	530	540	560,00	<b>543,33</b>
Combustible seco equivalente consumido	g	1 328,60	1 262,03	1 256,51	<b>1 282,38</b>
Agua vaporizada de las ollas	g	630,00	675,00	625,00	<b>643,33</b>
Tiempo de ebullición	min	123,00	122,00	127,00	<b>124,00</b>
Tiempo de ebullición corregida	min	124,83	125,34	132,29	<b>127,49</b>
Eficiencia térmica	%	18,80	20,00	19,48	<b>19,43%</b>
Velocidad de combustión	g/min	10,80	10,34	9,89	<b>10,35</b>
Consumo específico de combustible	g/l hervido	148,71	143,16	140,73	<b>144,20</b>
Potencia del fuego	watts	3148,68	3015,42	2884,04	<b>3 016,04</b>
Humedad del combustible	%	9,69	9,88	9,82	<b>9,80</b>

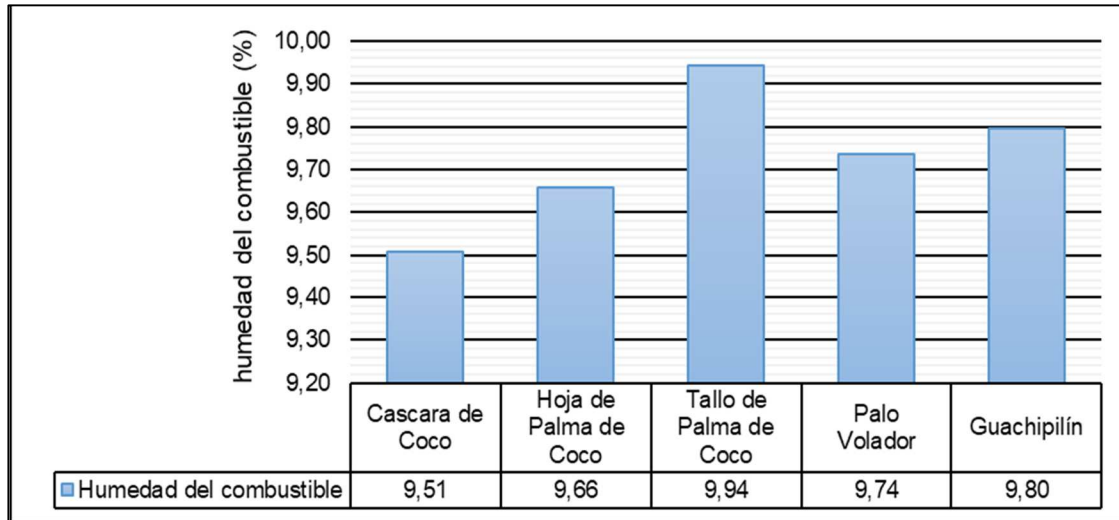
Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XXI. **Material iniciador usado, utilizando guachipilín**

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Iniciador (ocote)	g	70	75	72	<b>72,33</b>

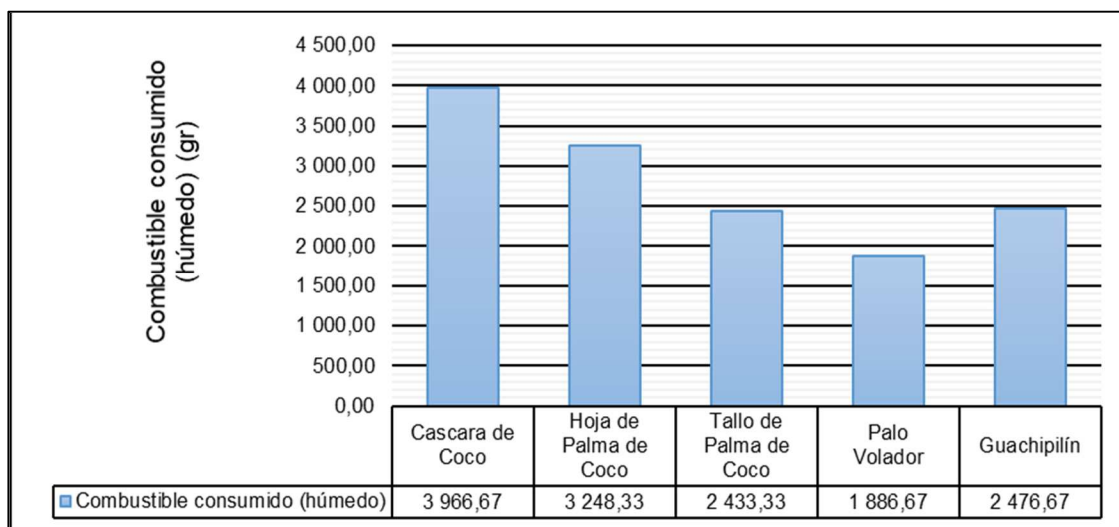
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 12. **Comparación de humedad de combustible**



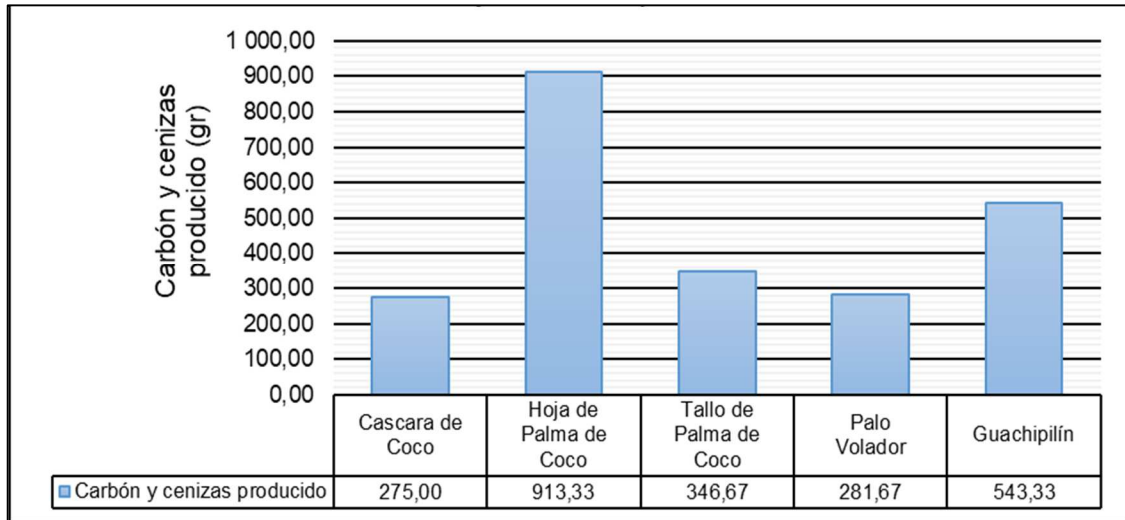
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 13. **Comparación de combustible consumido (húmedo)**



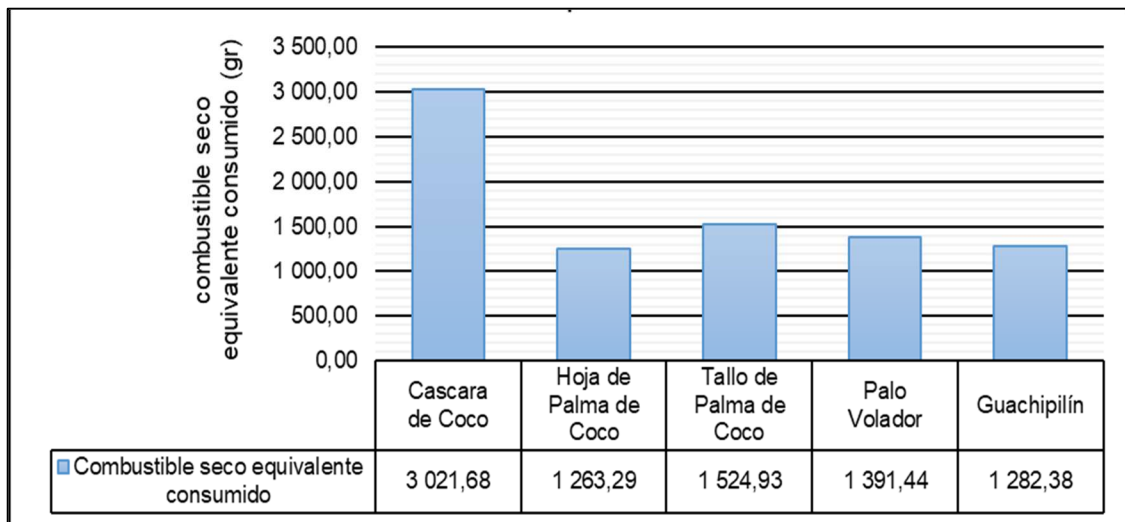
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 14. **Comparación de carbón y cenizas producido**



Fuente: elaboración propia, 2018.

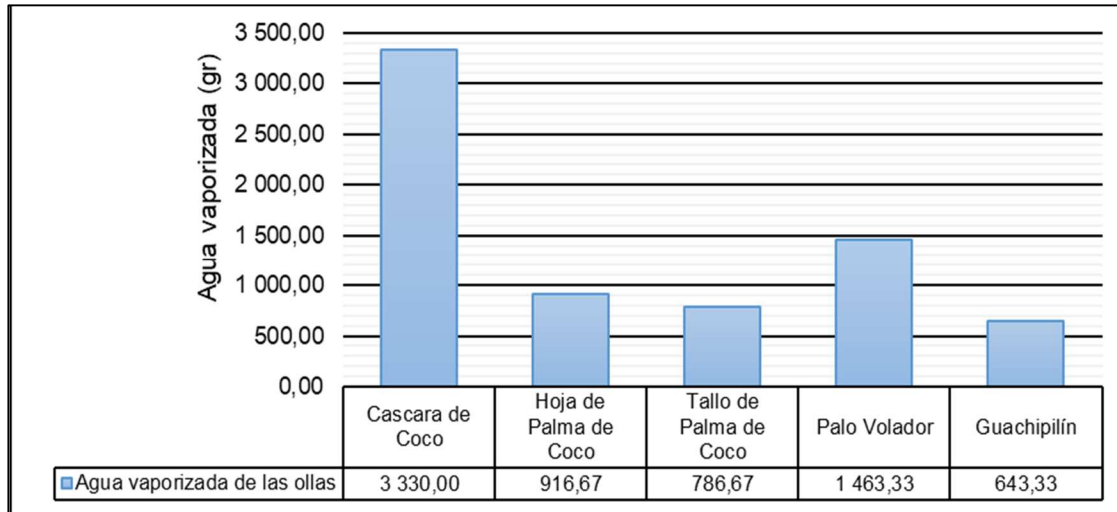
Figura 15. **Comparación de combustible seco equivalente consumido**



Fuente: elaboración propia, 2018.

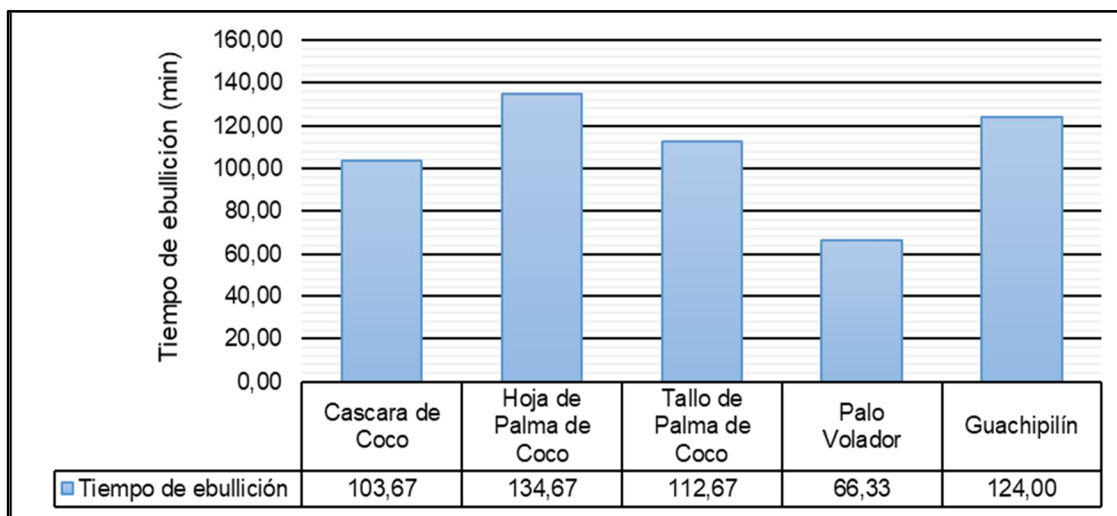


Figura 16. **Comparación de agua vaporizada de las ollas**



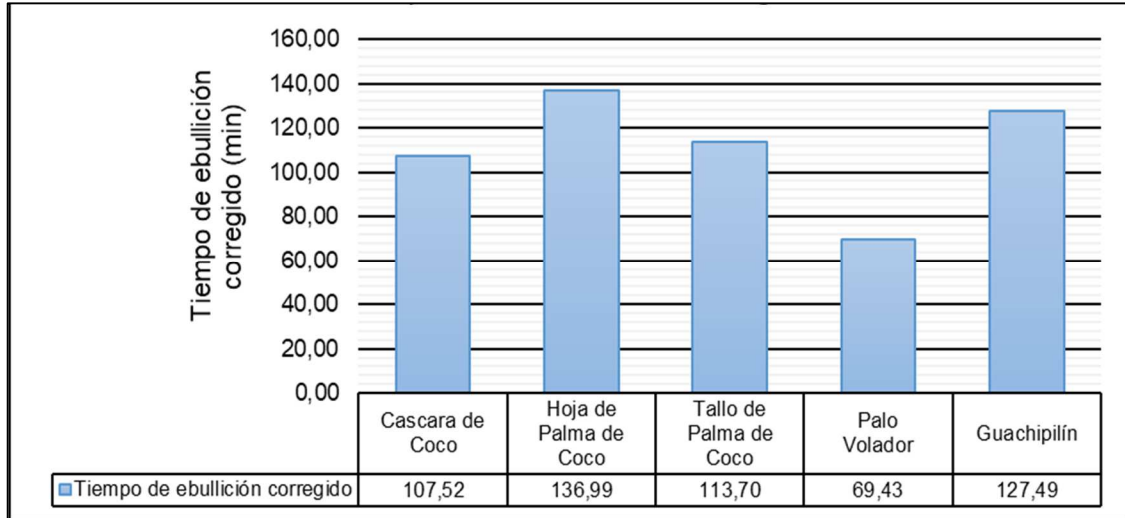
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 17. **Comparación de tiempo de ebullición**



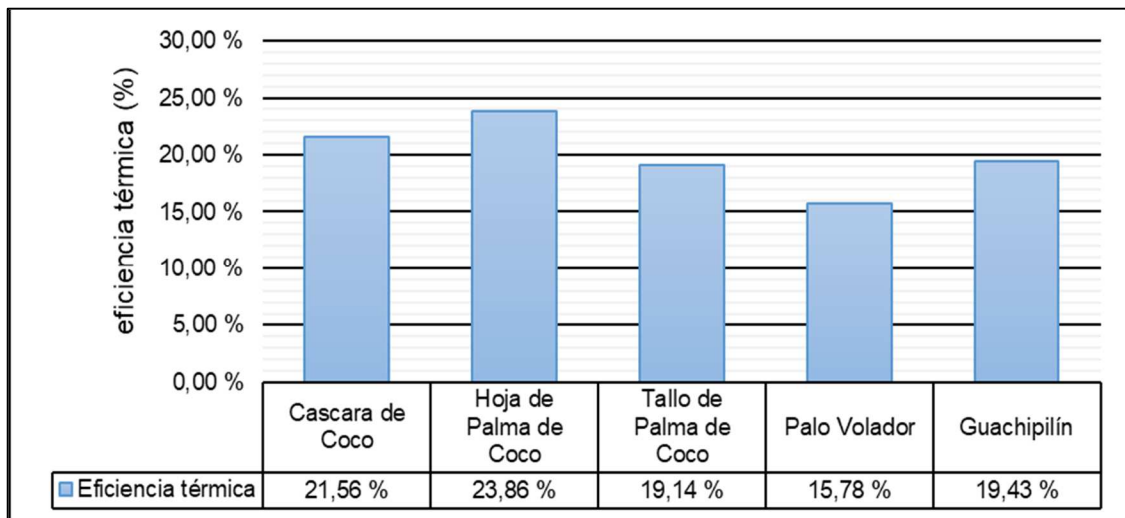
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 18. **Comparación de tiempo de ebullición corregido**



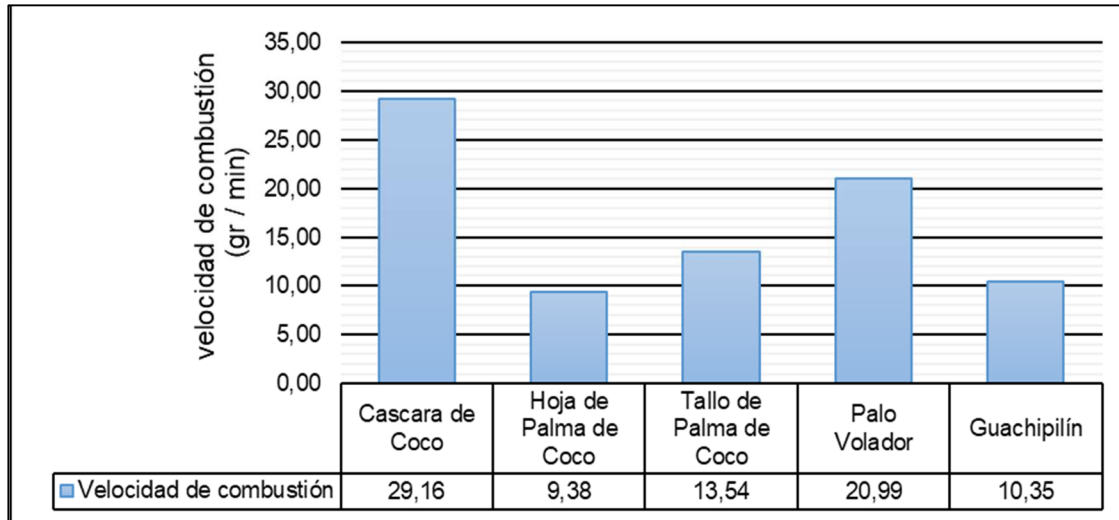
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 19. **Comparación de eficiencia térmica**



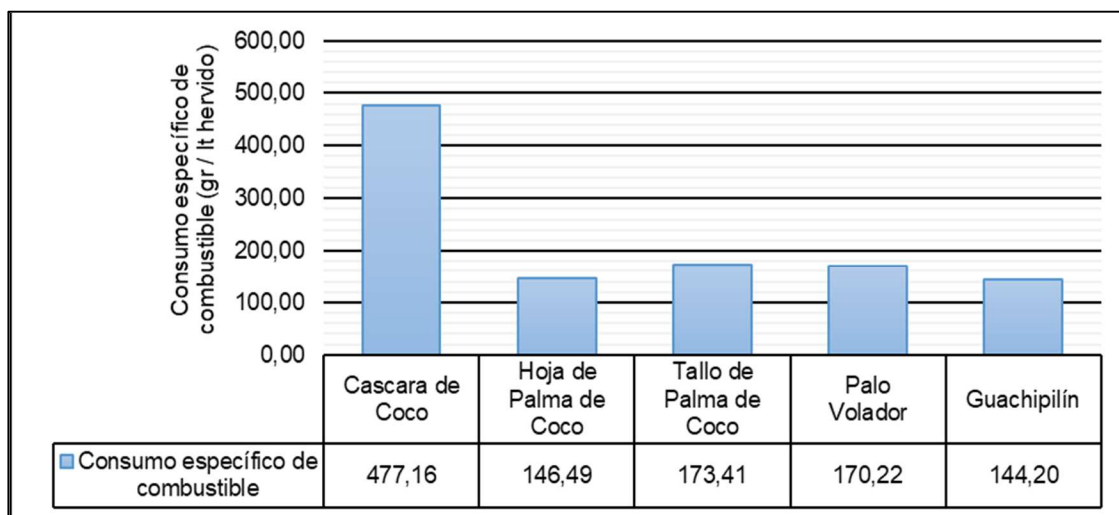
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 20. **Comparación de velocidad de combustión**



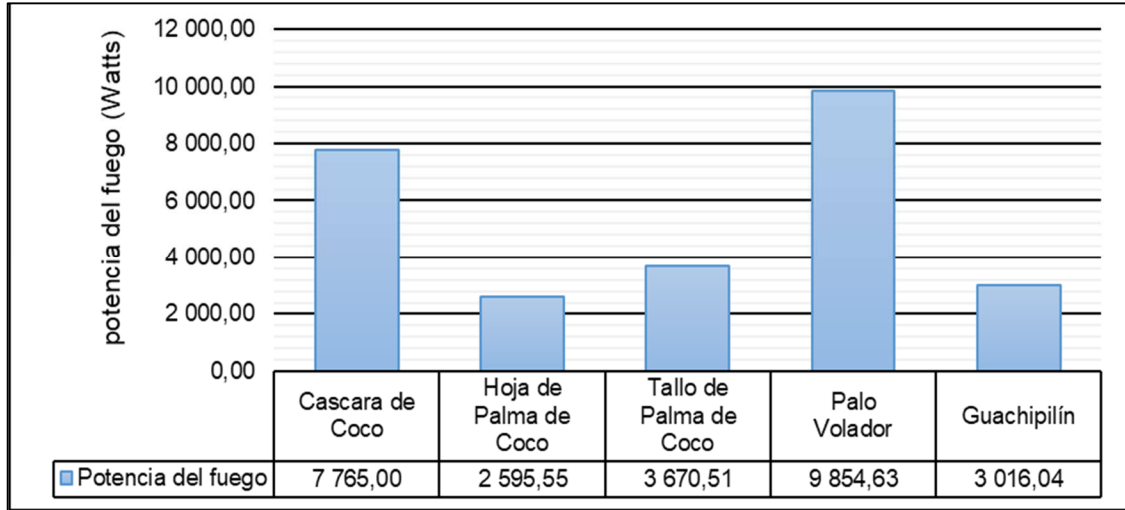
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 21. **Comparación de consumo específico de combustible**



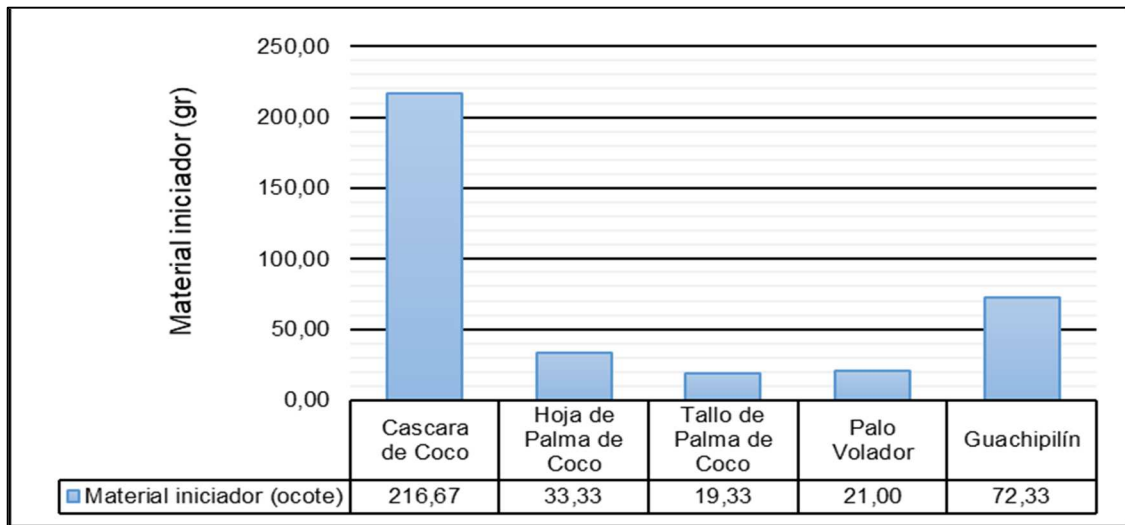
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 22. **Comparación de potencia de fuego**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 23. **Comparación de material iniciador utilizado**



Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.6. Prueba de emisiones

Los datos arrojados por el medidor de contaminación del aire interior (IAP) son los siguientes:

Tabla XXII. **Emisiones producidas por el proceso de combustión de cáscara de coco**

Descripción	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
CO	ppm/min	1,51	1,55	1,57	<b>1,54</b>
PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup> /min	104,37	104,51	104,40	<b>104,43</b>

Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por el IAP, 2018.

Tabla XXIII. **Emisiones producidas por el proceso de combustión de hoja de palma de coco**

Descripción	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
CO	ppm/min	1,87	1,81	1,85	<b>1,84</b>
PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup> /min	114,40	114,38	114,30	<b>114,36</b>

Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por el IAP, 2018.

Tabla XXIV. **Emisiones producidas por el proceso de combustión de tallo de palma de coco**

Descripción	Unidad	Resultados por minuto			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
CO	ppm/min	1,45	1,47	1,45	<b>1,46</b>
PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup> /min	61,08	61,12	61,02	<b>61,07</b>

Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por el IAP, 2018.

Tabla XXV. **Emisiones producidas por el proceso de combustión de palo volador (*Terminalia oblonga*)**

Descripción	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
CO	ppm/min	1,29	1,25	1,31	<b>1,28</b>
PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup> /min	45,02	45,00	45,05	<b>45,02</b>

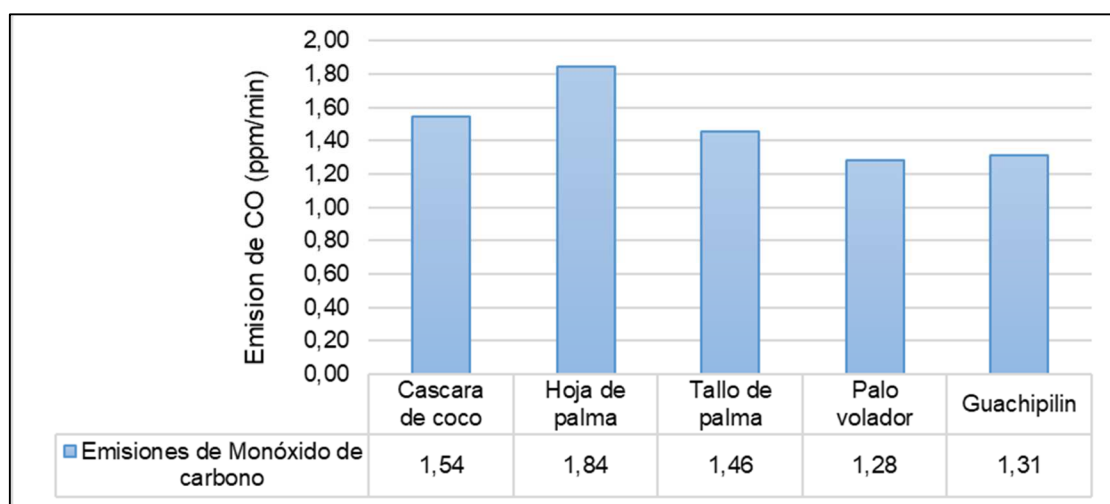
Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por el IAP, 2018.

Tabla XXVI. **Emisiones producidas por el proceso de combustión de guachipilín (*Diphysa robinoides*)**

Descripción	Unidad	Resultados			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
CO	ppm/min	1,36	1,31	1,27	<b>1,31</b>
PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup> /min	52,78	52,80	52,77	<b>52,78</b>

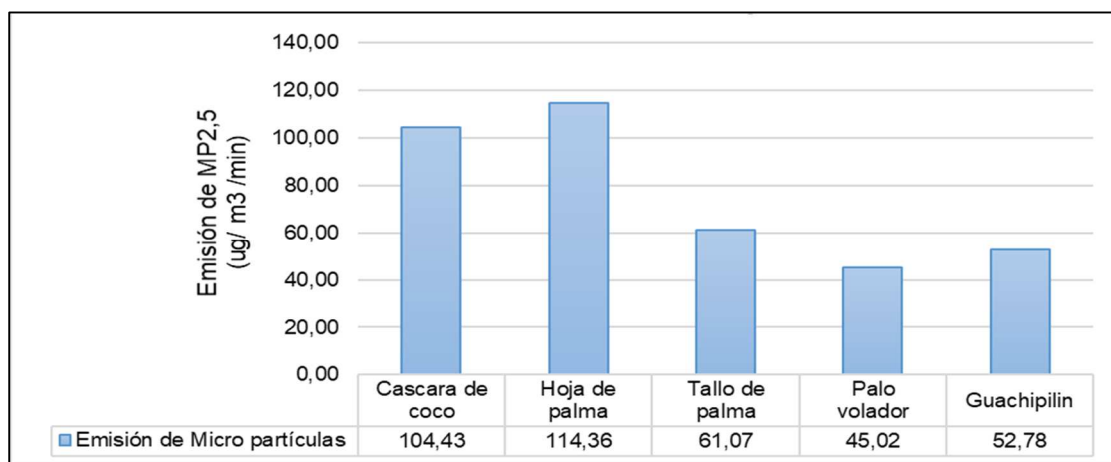
Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por el IAP, 2018.

Figura 24. **Comparación de emisiones de Monóxido de Carbono (CO)**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 25. **Comparación de emisiones de material particulado menor a 2,50 micras (PM<sub>2,5</sub>)**



Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.7. Comparación de precios

A continuación se presenta el costo del proceso de recolección, transporte y secado de la cáscara de coco; el transporte va desde la finca Cocalas hasta el centro del municipio de Patulul, Suchitepéquez. Los precios indicados fueron previamente consultados con personas dedicadas a la realización de viajes y que se ubican en la terminal de autobuses del municipio en estudio.

Tabla XXVII. **Costo del proceso de recolección, transporte y secado de una tonelada de cáscara de coco**

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Recolección	2	Jornal	Q 20,00	Q 40,00
Transporte	1	Global	Q 150,00	Q 150,00
Secado	35	Jornal	Q 20,00	Q 700,00
Área de secado (2 m x 3 m)	1	Global	Q 150,00	Q 150,00
<b>TOTAL</b>				<b>Q 1 040,00</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XXVIII. **Costo del proceso de compra, rajado y almacenado de una tarea de leña**

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Leña	1	Tarea	Q 180,00	Q 180,00
Rajado de leña	1	Tarea	Q 70,00	Q 70,00
Almacenado	3	Jornal	Q 20,00	Q 60,00
Área de almacenado (3 m x 3 m)	1	Global	Q 200,00	Q 200,00
<b>TOTAL</b>				<b>Q 510,00</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XXIX. **Energía contenida en una tarea de leña de las especies arbóreas más utilizadas en Patulul**

Descripción	Equivalencia en peso		Energía equivalente (MJ)
	Ton	Kg	
1 tarea de leña	0,49	492,91	11 903,78

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XXX. **Cáscara de coco seca necesaria para suplir la energía contenida en una tarea de leña**

Descripción	Energía necesaria (MJ)	Cantidad de cáscara necesaria para suplir esa energía (ton)
Cáscara de coco seco	11 903,78	0,70

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tabla XXXI. **Comparación de precios entre una tarea de leña y su equivalente energético en cáscara de coco**

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Tarea de leña	1	Tarea	Q 510,00	Q 510,00
Cáscara de coco	0,70	Tonelada	Q 1 040,00	Q 728,00

Fuente: elaboración propia, 2018.



Tabla XXXII. **Diferencia entre el precio de una tarea de leña y su equivalente energético en cáscara de coco**

Diferencia de precios	Q	218,00
-----------------------	---	--------

Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.8. Análisis estadístico

A continuación se presentan los resultados arrojados por el programa InfoStat®.

Donde:

Alfa ( $\alpha$ ) = nivel de significancia

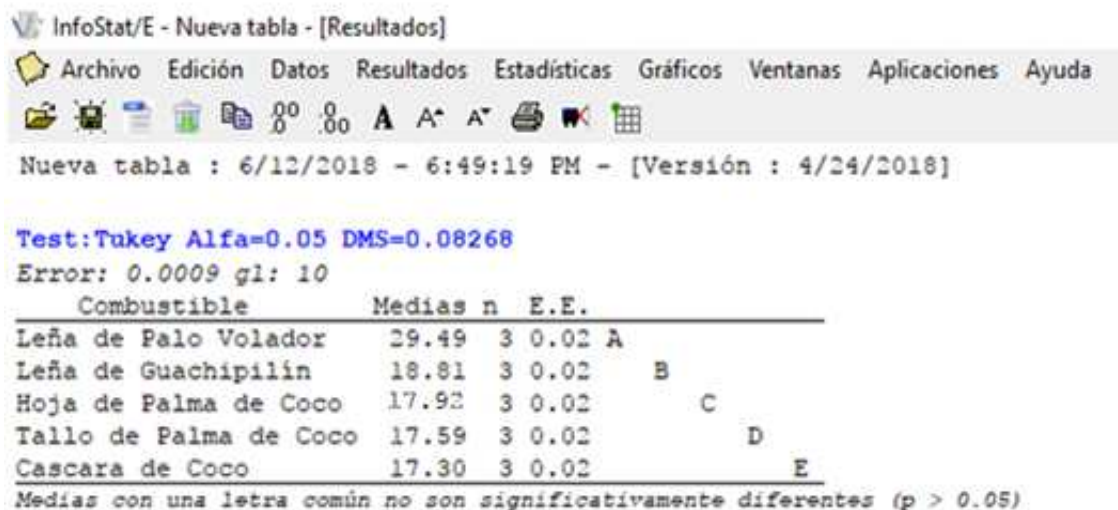
DMS = diferencia mínima significativa

E.E. = error estándar

gl = grados de libertad

n = número de repeticiones

Figura 26. **Resultados para el análisis estadístico del poder calorífico**



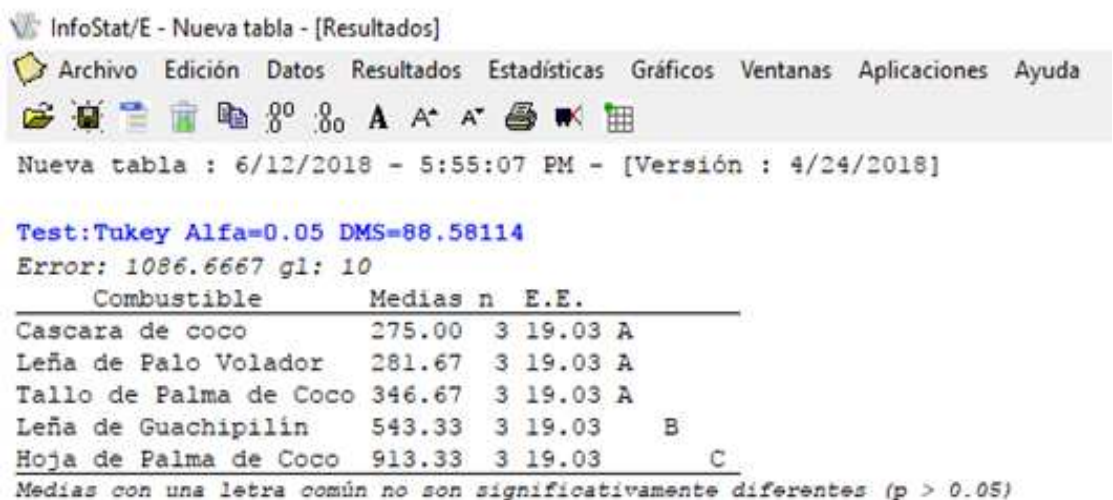
Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.

Figura 27. **Resultados para el análisis estadístico del consumo de combustible (húmedo)**



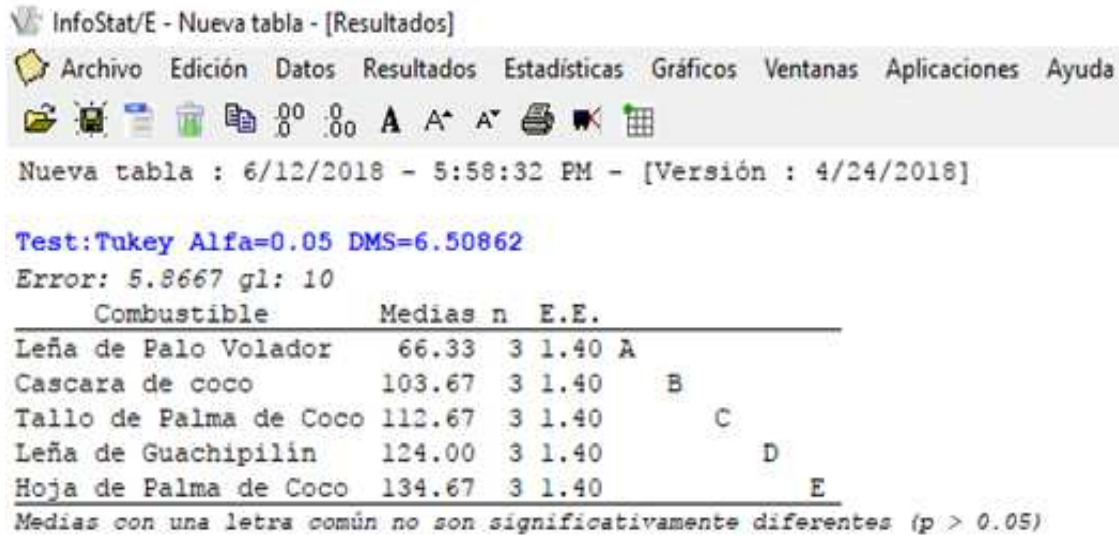
Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.

Figura 28. **Resultados para el análisis estadístico del carbón y cenizas producido**



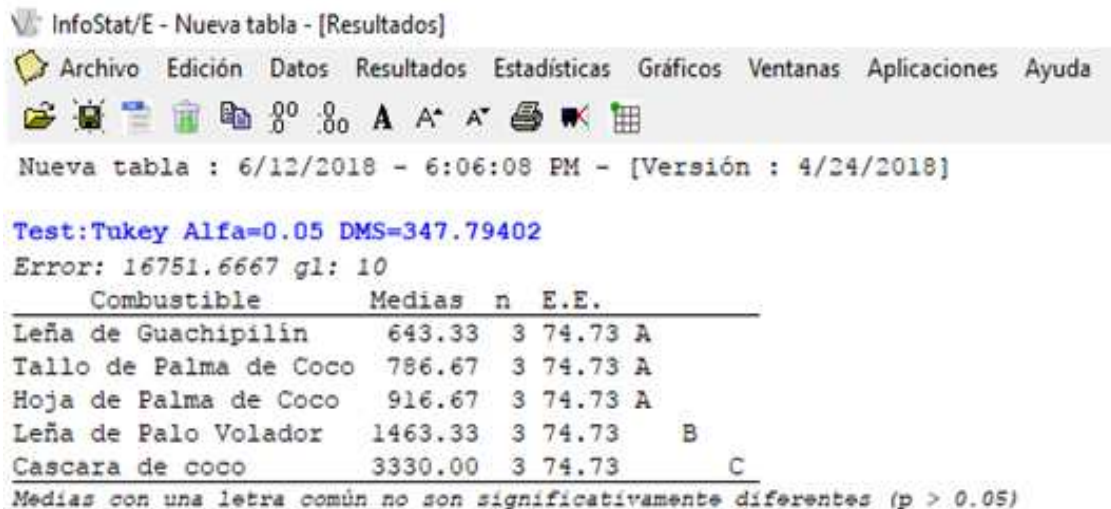
Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.

Figura 29. **Resultados para el análisis estadístico del tiempo de ebullición**



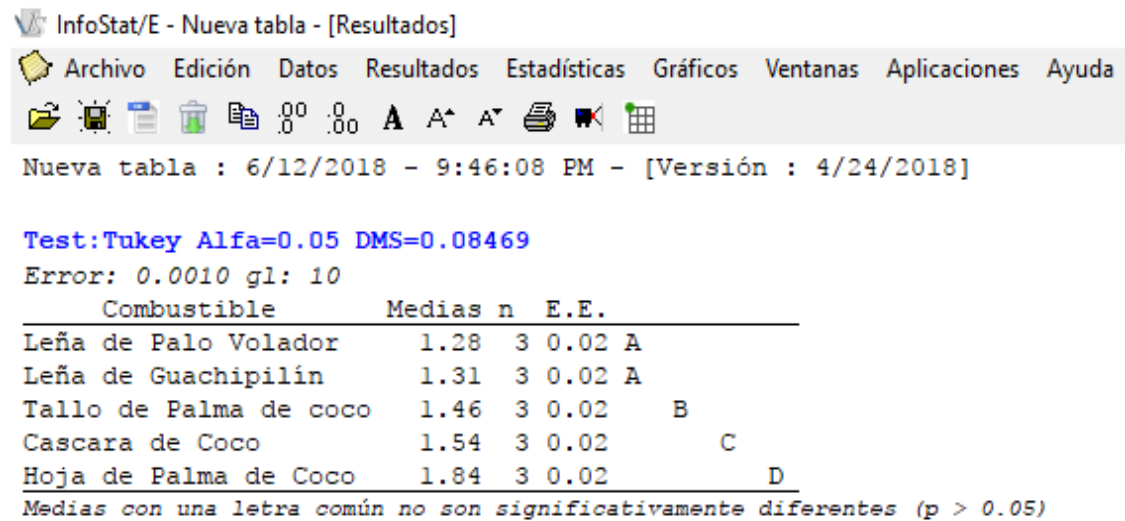
Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.

Figura 30. **Resultados para el análisis estadístico de la cantidad de agua evaporada**



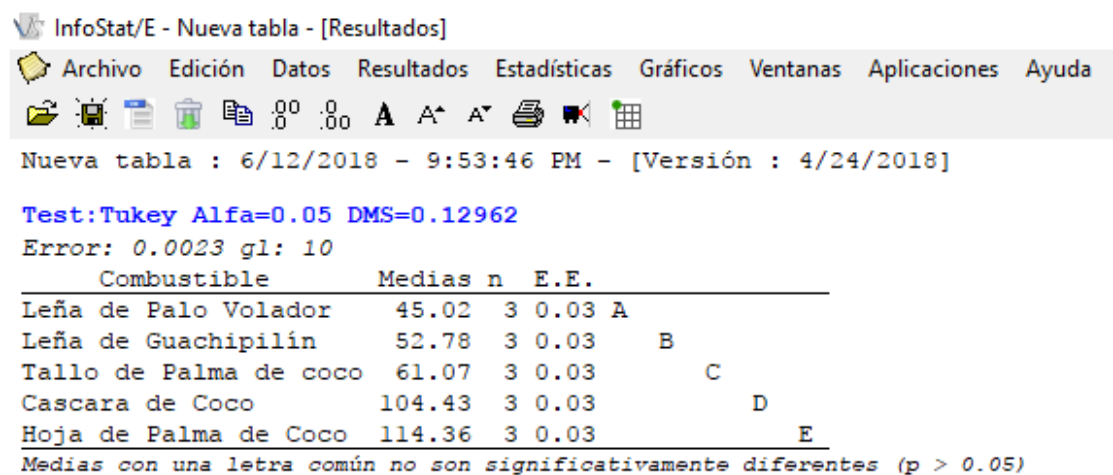
Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.

Figura 31. **Resultados para el análisis estadístico de las emisiones de monóxido de carbono (CO)**



Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.

Figura 32. **Resultados para el análisis estadístico de las emisiones de micro partículas de diámetro menor a 2,5 micras**



Fuente: obtenido con el programa InfoStat®, versión 2018.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Cantidad de cáscara producida

Con base en los datos proporcionados por la Dirección Municipal de Planificación de la municipalidad de Patulul, Suchitepéquez, se determinó que diariamente se produce un promedio de 8 395,81 lb, equivalente a 3,82 toneladas de cáscara de coco húmeda por día, proveniente de 33 ventas de coco, ubicadas en diferentes lugares dentro del municipio: 4 en el mercado municipal, 22 en finca Cocales, 1 comunidad Las Marías, 1 comunidad La Paz, 1 comunidad El Esfuerzo y 4 en el Barrio La Esperanza.

Así mismo, se determinó que la cáscara de coco contiene un promedio de 82,90 % de humedad, lo que significa que la mayor parte del peso de la cáscara de coco es agua, por lo tanto, la cantidad de cáscara de coco seca (0 % de humedad) producida diariamente es de 1 427,02 lb, o 0,65 toneladas por día; lo que equivale a 237,25 toneladas anuales.

### 4.2. Poder calorífico y demanda de energía obtenida de la leña anual

La cáscara fibrosa (epicarpio y mesocarpio) de coco, posee un poder calorífico de 17,10 MJ/kg, equivalente a un 57,99 % del poder calorífico del palo volador (*Terminalia oblonga*) (29,49 MJ/kg). Comparado con la especie guachipilín (*Diphysa robinoides*), posee un poder calorífico equivalente al 90,91 % del poder calorífico del mismo (18,81 MJ/kg).

La cáscara dura (endocarpio) de coco, posee un poder calorífico de 18,19 MJ/kg, equivalente a un 61,68 % del poder calorífico del palo volador (*Terminalia oblonga*) (29,49 MJ/kg). Comparado con la especie guachipilín (*Diphysa*

*robinoides*), posee un poder calorífico equivalente al 96,70 % del poder calorífico del mismo (18,81 MJ/kg).

El total producido de cáscara de coco (epicarpio, mesocarpio y endocarpio combinados), posee un poder calorífico de 17,30 MJ/kg, equivalente a un 58,66 % del poder calorífico del palo polador (*Terminalia oblonga*) (29,49 MJ/kg). Comparado con la especie guachipilín (*Diphysa robinoides*), posee un poder calorífico equivalente al 91,97 % del poder calorífico del mismo (18,81 MJ/kg).

La hoja de palma de coco, posee un poder calorífico de 17,92 MJ/kg, equivalente a un 60,77 % del poder calorífico del palo volador (*Terminalia oblonga*) (29,49 MJ/kg). Comparado con la especie guachipilín (*Diphysa robinoides*), posee un poder calorífico equivalente al 95,27 % del poder calorífico del mismo (18,81 MJ/kg).

El tallo de palma de coco, posee un poder calorífico de 17,59 MJ/kg, equivalente a un 59,65 % del poder calorífico del palo volador (*Terminalia oblonga*) (29,49 MJ/kg). Comparado con la especie guachipilín (*Diphysa robinoides*), posee un poder calorífico equivalente al 93,51 % del poder calorífico del mismo (18,81 MJ/kg).

Si solo se evalúa el poder calorífico de la biomasa generada por la palma de coco y se compara con el de dos de las especies arbóreas más utilizadas dentro de la región en estudio, se puede observar que, si es una buena opción para utilizarla como sustituto de la leña, puesto que la biomasa evaluada, generada por la palma, representa alrededor del 60 % del poder calorífico del palo volador y al rededor del 90 % del poder calorífico de guachipilín.

Puede observarse que en endocarpio del fruto del coco es el que posee mayor poder calorífico puesto que es la parte más dura del mismo, por lo tanto, su contenido de lignina es mayor que la demás biomasa generada por la palma de coco. El poder calorífico es mayor si el contenido de lignina es alto, puesto

que este contiene menos oxígeno que los polisacáridos presentes en la celulosa (Quiniro, Waldir F., et al., 2005).

Lo contrario ocurre con la cáscara fibrosa del coco, al ser más porosa y suave, su contenido de lignina es menor, lo que la convierte en la biomasa (generada por la palma de coco) con menor poder calorífico. Sin embargo, al combinarla con el endocarpio su poder calorífico incrementa (0,20 MJ/kg más que la cáscara fibrosa), pero este es menor que si solo se utilizara la cáscara dura (0,89 MJ/kg), lo anterior se debe a que proporcionalmente el coco posee más cáscara fibrosa que dura.

De la biomasa generada por la palma de coco, el segundo mayor poder calorífico es el de las hojas de la palma, las cuales poseen un poder calorífico mayor que el tallo (0,33 MJ/kg más que el tallo), esto se debe a que las hojas poseen foliolos con centros bastante leñosos (comúnmente conocidos como varillas para elaborar barriletes), así mismo, las fibras del peciolo de la hoja están más unidas que las fibras del tronco, el cual posee mayor porosidad, debido a que es el encargado de transportar savia, a través de toda la planta.

Al transformar la demanda de leña anual del municipio a demanda energética anual, se determinó que se necesitan 105 921,76 ton de epicarpio y mesocarpio, 99 574,61 ton de endocarpio, 104 697,23 ton de cáscara de coco (epicarpio, mesocarpio y endocarpio), 101 074,89 ton de hoja de palma o 102 971,12 ton de tallo de palma.

Así mismo, se determinó que con el total de cáscara de coco producida al año, se cubre únicamente el 0,23 % de la demanda energética anual del municipio de Patulul, Suchitepéquez. Con base en lo anterior se puede decir que la producción de cáscara de coco no es suficiente y que no alcanza para cubrir la demanda de energía primaria; sin embargo, si puede considerarse para reducir la dependencia que se tiene sobre la utilización de leña y puede significar la conservación del área boscosa del lugar en cuestión.



### **4.3. Ensayo WBT**

A continuación se presenta la discusión de los resultados obtenidos de las pruebas WBT, realizadas con diferentes tipos de combustibles, de los cuales tres de ellos son derivados de la palma de coco, y dos de ellos de especies arbóreas.

#### **4.3.1. Consumo de combustible húmedo**

Con base en los datos de la figura 22, la cual representa la comparación del combustible húmedo utilizado durante la prueba, se puede observar que para hervir 5 kg de agua (5 litros de agua), se utilizaron 3 966,67 g de cáscara de coco, 3 248,33 g de hoja de palma, 2 476,67 g de leña de guachipilín, 2 433,33 g de leña del tallo de palma y 1 886,67 g de leña de palo volador; siendo la cáscara de coco el combustible que más se consumió y la leña de palo volador fue el que menos consumo tuvo.

#### **4.3.2. Carbón y ceniza**

Con base en la figura 23, se puede observar que la hoja de la palma produjo 913,33 g de carbón y ceniza, representa el 28,12 % del total de combustible utilizado para hervir los 5 litros de agua. La leña de guachipilín produjo 543,33 g de carbón y ceniza, lo que representa el 21,94 % del material utilizado. El tallo de la palma de coco, produjo 346,67 g de carbón y ceniza, es decir el 14,25 % del combustible utilizado en el ensayo. La leña de palo volador produjo 281,67 g de carbón y ceniza, que constituye el 14,93 %. La cáscara de coco produjo 275,00 g de carbón y ceniza, que constituye el 6,93 %.

La producción de carbón depende del flujo de aire durante el proceso de combustión, mientras más pequeños sean los leños utilizados, mayor es el flujo de aire, lo que ocasiona que el combustible se queme más rápido sin dejar carbón. (Alianza Mundial para Cocinas Limpias, 2014). Lo anterior se ve reflejado en el hecho de que la cáscara de coco fue la que generó menos carbón ya que

el tamaño de un trozo de cáscara es mucho menor que el de un leño de madera. Así mismo, la hoja de la palma de coco fue la que mayor cantidad de carbón produjo, lo que significa que el proceso de combustión de la misma no es eficiente ya que gran cantidad de la energía aprovechable queda contenida en el carbón y las cenizas.

Otro factor que debe tomarse en cuenta, es la forma en la que se acomodan los leños dentro de la estufa y la manipulación de los mismos por los usuarios, ya que de ello depende la cantidad de flujo de aire que ingresa. Cuando hay poco flujo de aire, el proceso de combustión o pirolisis es inadecuado, lo que hace que el combustible no se quemara bien generando más carbón.

#### **4.3.3. Combustible seco equivalente consumido**

Con base en la figura 24, la cual representa el consumo de combustible seco equivalente, se puede observar que se consumieron 3 021,68 g de cáscara de coco, la cual tenía una humedad promedio del 9,51 %, 1 525,93 g de leña de tallo de palma, con una humedad promedio de 9,94 %; 1 391,44 g de leña de palo volador, con una humedad de 9,74 %; 1 282,38 g de leña de guachipilín, con una humedad de 9,80 %; y 1 263,29 g de hoja de palma con una humedad de 9,66 %.

Este dato toma en cuenta la cantidad de energía que fue necesaria para eliminar la humedad del combustible, así como la energía que quedo contenida en el carbón y que no fue aprovechada; es decir que este dato refleja la cantidad de combustible que fue aprovechado para llevar el agua a punto de ebullición.

Al comparar todos los combustibles se determinó que el consumo de cáscara de coco fue el mayor de todos, y que el de menor consumo fue la hoja de la palma de coco; sin embargo, este último combustible fue el que mayor cantidad de carbón produjo, lo que significa que gran parte de la energía

contenida en el combustible no fue aprovechada en su totalidad y que del total de material utilizado en estado húmedo, únicamente se aprovechó el 38,89 %.

#### **4.3.4. Agua vaporizada**

Este dato representa la cantidad de agua que se perdió, en forma de vapor, durante el desarrollo de la prueba de laboratorio. Lo anterior significa que, al momento de preparar alimento, las cantidades estipuladas por quien las prepara no rendirán lo que se tenía previsto.

Con base en la figura 25, el combustible que mayor cantidad de agua evaporó fue la cáscara de coco (3 330,00 g); seguido del palo volador (1 463,33 g); el tercer combustible que más agua evaporó fue la hoja de palma de coco (916,67 g); seguidamente el tallo de la palma de coco (786,67 g), el combustible que menor cantidad de agua evaporó fue el guachipilín (643,33 g).

Por ende, el combustible que logró que hirviera la mayor cantidad de agua fue el guachipilín y el que menor cantidad de agua hizo que hirviera es la cáscara de coco.

#### **4.3.5. Tiempo de ebullición**

Constituye el tiempo que paso desde el inicio de la prueba hasta que el agua alcanzó el punto de ebullición. Con base en la figura 26, la leña del palo volador es el combustible que más rápido hizo hervir el agua (66,33 min), sin embargo, fue el segundo combustible que más agua evaporó. La cáscara de coco fue el segundo combustible que menos tiempo tardó en hacer que el agua alcanzara el punto de ebullición con 103,67 min; sin embargo, es el combustible que de mayor consumo.

Al utilizar tallo de la palma de coco como combustible, se obtuvo un tiempo de ebullición de 112,67 min. Al utilizar leña de guachipilín fue necesario que transcurrieran 124 min. El combustible que tardó más tiempo en llevar el agua

desde su temperatura inicial a la temperatura de ebullición fue la hoja de Palma con 134,67 min.

#### **4.3.6. Tiempo de ebullición corregido**

Representa el tiempo que tarda el combustible en producirle al agua, un cambio de temperatura de 75 °C. este dato permite realizar una mejor comparación de tiempos de ebullición, ya que estandariza la temperatura inicial del agua, la cual por efectos del medio ambiente varía.

Con base en la figura 26, el combustible al que le tomó menos tiempo producir un cambio de temperatura de 75 °C desde el inicio hasta ebullición, fue la leña de palo volador, logrando este cambio en 69,43 min. A la cáscara de coco, le tomó 107,52 minutos producir este mismo cambio de temperatura. A la leña de tallo de Palma le tomó 113,70 min; a la leña de guachipilín le tomó 127,49 min y a la hoja de Palma le tomó 136,99 min producir dicha variación en la temperatura del agua.

#### **4.3.7. Eficiencia térmica**

Este término se refiere a la proporción del total de energía contenida en el combustible, que fue empleado para calentar el agua contenida en la olla.

Con base en la figura 27, el combustible que presentó mejor eficiencia térmica fue la hoja de palma de coco, con una eficiencia de 23,86 %; la cáscara de coco presentó una eficiencia del 21,56 %; la leña de guachipilín presentó una eficiencia del 19,43 %, la leña de tallo de palma presentó una eficiencia del 19,14 % y la leña del palo volador una eficiencia del 15,78 %.

Puede observarse con base en los datos anteriores que la diferencia entre la mejor y la peor eficiencia térmica de los combustibles es de 8,08 %. Sin embargo, debe tomarse en cuenta también la cantidad de combustible utilizado, la cantidad de agua evaporada y el tiempo que tardo el agua en alcanzar el punto

de ebullición. Un combustible que tarda en llevar el agua a ebullición puede tener una alta eficiencia térmica puesto que hay mayor evaporación de agua, lo que conlleva a un posible consumo de combustible (húmedo) alto.

La hoja de palma fue la que mejor eficiencia presentó, sin embargo, fue el combustible al que le tomo más tiempo en llevar el agua al punto de ebullición, fue el tercer combustible que más agua evaporó y la cantidad de combustible húmedo que utilizó fue la segunda mayor de las cinco especies evaluadas, ubicándose por debajo de la cáscara de coco.

La leña del palo volador fue la que menor eficiencia térmica tuvo, sin embargo, fue el que menor tiempo tardó en llevar al agua a punto de ebullición, fue el combustible de menos consumo en estado húmedo, pero fue el segundo combustible que más agua evaporó.

Con base en lo anterior, se puede decir que la eficiencia térmica no es un factor determinante para concluir que biomasa es mejor para ser utilizada como combustible.

#### **4.3.8. Velocidad de combustión**

Este factor indica la velocidad a la que se quema el combustible. Cabe mencionar que este indicador tiene una relación inversa con respecto al tiempo de ebullición, puesto que, a menor tiempo de ebullición, mayor velocidad de combustión. Así mismo, depende de la cantidad de combustible utilizado, si se utiliza bastante combustible y el tiempo de ebullición es bajo, la velocidad de combustión será alta.

Con base en la figura 28, el combustible que se quemó con mayor rapidez fue la cáscara de coco, con una velocidad de combustión de 29,16 g/min. La leña de palo volador presentó una velocidad de combustión de 20,99 g/min. La velocidad de combustión resultante para la leña de tallo de palma es de 13,54,

para la leña de guachipilín es de 10,35 g/min y para la hoja de palma es de 9,38 g/min.

La cáscara de coco fue la que mayor velocidad de combustión presentó, su tiempo de ebullición fue el segundo más bajo de todas las biomásas evaluadas y fue la que presentó el mayor consumo de combustible en estado húmedo

La hoja de Palma registro la menor velocidad de combustión, sin embargo, fue el segundo combustible (en estado húmedo) de mayor consumo, y también fue el que más tiempo tardo en llevar al agua al punto de ebullición.

#### **4.3.9. Consumo específico de combustible**

Este indicador representa la cantidad de combustible en estado seco necesario para hervir un litro de agua.

Con base en la figura 29, para hervir un litro de agua, fue necesario utilizar en promedio 1 263,29 g/l de hoja de Palma, 1 282,38 g/l de leña de guachipilín, 1 391,44 g/l de leña de palo volador, 1 524,93 g/l de leña de tallo de Palma y 3 021,68 g/l de cáscara de coco.

Al evaluar los datos anteriores, se puede observar que para hervir un litro de agua se necesita menor cantidad de hoja de Palma en estado seco comparado con los demás combustibles, sin embargo, si se observa la figura 22, se puede ver que fue la segunda biomasa de mayor consumo en estado húmedo y que fue la que más carbón generó (véase figura 23) lo que significa que no se aprovechó toda la energía contenida en la misma.

Al utilizar leña de guachipilín la cantidad de agua que alcanzó el punto de ebullición fue mayor comparada con el agua que hirvió al utilizar las otras biomásas y su consumo fue el tercero mayor de los combustibles utilizados. Lo contrario ocurrió al utilizar cáscara de coco puesto que fue el combustible que mayor cantidad de agua evaporó y la cantidad de biomasa utilizada fue la mayor de las cinco biomásas comparadas. Lo anterior significa que el consumo

especifico de combustible es inversamente proporcional a la cantidad efectiva de agua hervida; a mayor cantidad de agua hervida efectiva, menor consumo especifico de combustible.

#### **4.3.10. Potencia de fuego**

Indica la cantidad de energía liberada por el combustible durante el tiempo que tardo el agua en alcanzar el punto de ebullición. Este dato depende directamente del poder calorífico, de la cantidad de combustible seco utilizado y del tiempo que le tomó al agua hervir.

Con base en la figura 31, al utilizar leña del palo volador se obtuvo una potencia de 9 854,63 watts, esto debido principalmente a que es la biomasa con mayor poder calorífico (ver figura 20), y aunque no fue el combustible (seco) de mayor consumo, fue el combustible que menor tiempo tardo en llevar el agua a punto de ebullición.

El fuego producido por la cáscara de coco presentó la segunda mayor potencia, 7 765,00 watts. Cabe mencionar que todas las biomásas utilizadas en la realización del WBT, es esta la que presenta menor poder calorífico (ver figura 20); sin embargo, es el combustible (seco) de mayor consumo y el segundo en llevar más pronto el agua a ebullición.

La tercer mayor potencia fue la del fuego producido al utilizar tallo de palma de coco, 3 670,51 watts. Su poder calorífico es el segundo menor comparado con las demás biomásas, su consumo (combustible seco) fue el segundo mayor de todos, sin embargo, fue el que presentó el tercer menor tiempo de ebullición.

La cuarta mayor potencia fue la resultante al usar leña de guachipilín, 3 016,04 watts. Esta biomasa presentó el segundo mayor poder calorífico (ver figura 20) y el segundo menor consumo de combustible seco, sin embargo, registró el segundo mayor tiempo de ebullición.

La menor potencia presentada se dio al utilizar hoja de palma de coco como combustible, 2 595,55 watts. Esta biomasa presenta el tercer mayor poder calorífico de todas las biomásas evaluadas; a pesar de que es el combustible (seco) de menor consumo, es al que más tiempo de ebullición registró.

#### **4.3.11. Material iniciador utilizado**

Representa el material que fue utilizado para iniciar el fuego. Para las pruebas WBT llevadas a cabo, fue utilizado ocote como iniciador.

Con base en la figura 32, para iniciar el fuego utilizando cáscara de Coco como combustible fue necesario utilizar 216,67 g de iniciador; esta biomasa se comportó durante la prueba como carbón, es decir que el fuego no se mantuvo constantemente encendido, por lo que era necesario utilizar más material iniciador para encenderlo.

Al utilizar guachipilín como combustible, se utilizaron 72,33 g de iniciador; al utilizar hoja de palma de coco se utilizaron 33,33 g de iniciador; al utilizar leña de palo volador se utilizaron 21,00 g de iniciador y al utilizar tallo de palma de coco se utilizaron 19,33 g de material iniciador.

Las biomásas utilizadas, a excepción de la cáscara de coco, generaron llama que se mantuvo constantemente encendida y el consumo de material iniciador dependió principalmente del usuario que realizó la prueba y del flujo de aire que ingresaba a la cámara de la estufa.

#### **4.3.12. Análisis comparativo de la biomasa de la palma de coco**

Los parámetros de mayor importancia a ser evaluados son la cantidad de combustible consumido, el tiempo de ebullición y la cantidad de agua evaporada, la cual representa el rendimiento de alimentos. Lo anterior debido a que son los



factores que más influyen en la elección de un combustible para la cocción de alimentos por parte de las amas de casa.

La hoja de la palma fue el segundo combustible de mayor consumo en estado húmedo, fue el que genero más carbón lo que significa que no se aprovecha completamente la energía contenida en el mismo, generando más residuos, y que su proceso de combustión es más ineficiente, así mismo fue el que más tiempo tardo en llevar el agua a punto de ebullición lo que significa que es más tardado cocinar con este combustible, cabe mencionar que evaporó menor cantidad de agua que la leña de palo volador lo que significa que no se tiene mucha pérdida en raciones de comida.

La cáscara de coco presentó el mayor consumo de todos los combustibles, obtuvo el segundo mejor tiempo de ebullición de todos los combustibles evaluados, fue el que menor cantidad de carbón formo lo que significa que su combustión es eficiente, sin embargo, fue el combustible que mayor cantidad de agua evaporó lo que afecta el rendimiento de alimentos.

El tallo de la palma, de los tres componentes de palma de coco evaluados, fue el de menor consumo, el cual además estuvo por debajo de uno de los tipos de leña de especie arbórea evaluadas (guachipilín) y su tiempo de ebullición fue el tercero más bajo de todas las biomásas evaluadas, estando también por debajo del tiempo de ebullición de la leña de guachipilín, así mismo fue la segunda biomasa que menor cantidad de agua evaporó.

#### **4.4. Emisiones**

A continuación se analizan los resultados obtenidos de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) y micro partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>), resultantes del proceso de combustión de las diferentes biomásas evaluadas.

#### **4.4.1. Monóxido de Carbono**

Con base en la figura 33, se puede observar que el combustible que más monóxido de carbono (CO) emitió durante el proceso de combustión fue la hoja de palma de coco, con una emisión promedio de 1,84 ppm/min. La cáscara de coco emitió 1,54 ppm/min de CO; el tallo de palma emitió 1,46 ppm/min; la leña de guachipilín tuvo una emisión de 1,31 ppm/min y la leña de palo volador una emisión de 1,28 ppm/min.

La diferencia entre el combustible que mayor emisión de CO tuvo y el que menos emisión registro es de 0,56 ppm/min, lo que indica que no hay mucha diferencia entre la cantidad de CO emitido al ambiente, debido al proceso de combustión de las biomásas utilizadas.

En Guatemala no existe legislación o normas que regulen la calidad del aire, por lo tanto, no existen parámetros sobre los límites de emisión permisibles. El Programa de Calidad del Aire del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), utiliza como referencia los límites de calidad del aire establecidos en la legislación de Estados Unidos de Norte América, a través de la Agencia de Protección Ambiental (*EPA*, por sus siglas en inglés). El límite de emisión para monóxido de carbono es de 35 ppm en un tiempo de exposición de una hora.

De los combustibles evaluados, el que mayor emisión registro fue la hoja de la palma de coco, emitiendo 110,40 ppm en una hora. El que menor emisiones de CO registro fue la leña de palo volador, emitiendo 76,80 ppm en un periodo de tiempo de una hora, lo que representa poco más del doble del límite de exposición permitida. Lo anterior significa que todos los combustibles evaluados son dañinos para la salud, sin embargo, si se utiliza un buen sistema de extracción de humo a través del uso de estufas mejoradas, su uso puede ser factible.

#### **4.4.2. Micro partículas de diámetro menor a 2,5 micras**

La EPA establece que el límite de calidad del aire para  $PM_{2,5}$  es de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un período de exposición de 24 horas, es decir,  $2,71 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{hora}$ .

El combustible que más emitió  $PM_{2,5}$  fue la hoja de palma de coco, con una emisión de  $114,36 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{minuto}$ . La cáscara de Coco registró una emisión de  $104,43 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{minuto}$ . El tallo de palma de coco registró una emisión de  $61,07 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{minuto}$ . La leña de guachipilín registró una emisión de  $52,78 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{minuto}$ , y la leña de palo volador registró una emisión de  $45,02 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{minuto}$ .

En este indicador si se puede observar que la biomasa generada por la palma de coco, a excepción del tallo, emite más del doble de las emisiones registradas por la leña del palo volador que fue la que menos emisiones de  $PM_{2,5}$  registró. Lo anterior se atribuye a que las fibras de la cáscara del coco y de las hojas de la Palma están más separadas que las de la leña de las especies arbóreas utilizadas.

Cabe mencionar que las emisiones de  $PM_{2,5}$  de ninguna de las biomásas comparadas, cumple con los límites de emisión establecidos por la EPA, la menor emisión registrada fue la de la leña de palo volador, la cual es de  $2\ 701,20 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{hora}$ , lo que representa casi 42 veces más que el límite de exposición permitido para una persona durante 24 horas.

Lo anterior pone en evidencia lo dañino que es para la salud el utilizar energía obtenida a través de la combustión de biomásas en los hogares. Sin embargo, si se utiliza un buen sistema de extracción de gases, la exposición a las emisiones se puede reducir, disminuyendo también los riesgos que estas representan para la salud de los usuarios que dependen completamente de la quema de cualquier tipo de biomasa, para la cocción de sus alimentos.

#### **4.5. Comparación de precios**

Se determinó que el costo del proceso de recolección, transporte y secado de una tonelada de cáscara de coco, la cual es trasladada desde la finca Cocalas hasta el centro del municipio, es de Q 1040,00. Así mismo, el precio de la obtención, rajado y almacenado de una tarea de leña es de Q 510,00.

El poder calorífico estimado contenido en una tarea de leña que contiene una combinación de varias especies arbóreas es de 11 903,78 MJ. La cáscara de coco necesaria para suplir el potencial energético contenida en esa tarea de leña es de 0,70 toneladas.

Al hacer una comparación entre el precio de una tarea de leña y de las 0,70 toneladas de cáscara de coco, donde ambas contienen el mismo potencial energético, se determinó que el costo del proceso de recolección, transporte y secado de la cáscara de coco es Q 218,00 más caro que comprar una tonelada de leña; es decir que su costo es 42,75 % más alto.

La relación beneficio/costo (B/C) no se llevó a cabo, ya que no se tiene ningún beneficio económico al utilizar la cáscara de coco en lugar de la leña.

#### **4.6. Análisis estadístico**

A continuación se presenta el análisis de los datos arrojados por en análisis de varianza:

- Poder calorífico

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que existe diferencia significativa entre las medias de poder calorífico de los combustibles utilizados, siendo el mejor la leña de palo volador, seguido de la leña de guachipilín, en tercer lugar, está la hoja de palma de coco, seguida del tallo de la palma de coco, el combustible con peor poder calorífico es la cáscara de coco.

- Consumo de combustible (húmedo)

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que existe diferencia significativa entre las medias de consumo de combustible, se logró determinar que el mejor combustible es la leña de palo volador puesto que representa la menor cantidad de combustible consumido. Así mismo, se determinó que no existe diferencia significativa entre el consumo de tallo de palma de coco y la leña de guachipilín, ubicándolos como la segunda mejor opción de combustible. La tercera mejor opción de combustible es la hoja de palma de coco, por consiguiente, la peor opción de los combustibles evaluados es la cáscara de coco.

- Carbón y cenizas producido

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que no existe diferencia significativa entre las medias de producción de carbón y ceniza de los siguientes combustibles: cáscara de coco, leña de palo volador y tallo de palma de coco, si se evaluara únicamente este indicador, estas serían las mejores opciones. En segunda posición se encuentra la leña de guachipilín, y como la peor opción, es decir, el combustible que mayor cantidad de carbón y cenizas produce, es la hoja de palma de coco.

- Tiempo de ebullición

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que existe diferencia significativa entre las medias de tiempo de ebullición de los combustibles utilizados. El combustible que menos tiempo tarda en llevar el agua a ebullición es la leña de palo volador, seguida de la cáscara de coco; el tercer mejor combustible con base en este indicador es el tallo de la palma de coco, seguido de la leña de guachipilín. El combustible que más tardo en llevar el agua a ebullición fue la hoja de palma de coco.

- Agua evaporada

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que no existe diferencia significativa entre las medias de la cantidad de agua de los siguientes combustibles: leña de guachipilín, tallo de palma de coco y hoja de palma de coco; lo que significa que se obtiene un buen rendimiento al cocinar los alimentos con estos tipos de biomasa. En segunda posición se encuentra la leña del palo volador y en tercera posición se encuentra la cáscara de coco.

Lo anterior significa que, si por ejemplo, utilizamos cáscara de coco para la cocción de arroz, el cual depende de la cantidad de agua que se utilice, se evaporará gran cantidad de agua antes que el mismo alcance su punto de cocción, dejándolo crudo y si el ama de casa lo dejara en la estufa sin vigilar éste se quemaría, lo anterior representa pérdidas económicas y constituye una molestia para quien prepara los alimentos.

- Emisión de monóxido de carbono (CO)

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que no existe diferencia significativa entre las medias de emisiones de CO producidas a través del proceso de combustión de la leña de palo volador y de la Leña de guachipilín, siendo estos combustibles los que menos CO emitieron. El segundo combustible con menor emisión fue el tallo de la palma de coco, seguido de la cáscara de Coco. El combustible que más CO emitió fue la hoja de la palma de coco.

- Emisión de PM<sub>2,5</sub>

Con base en la prueba de Tukey realizada, se logró determinar que existe diferencia significativa entre las medias de emisión de PM<sub>2,5</sub>, producidas a través del proceso de combustión de las biomásas evaluadas. El combustible que menos emisión presento fue la leña del palo volador, seguido de la leña de guachipilín. En tercera posición se encuentra el tallo de la palma de coco, seguida

de la cáscara de coco. El combustible con mayores emisiones de  $MP_{2,5}$  fue la hoja de palma de coco.

## CONCLUSIONES

1. La biomasa generada por la palma de coco (hojas, tallo y cáscara del fruto) representa una buena opción para la reducción del consumo y dependencia de la leña como fuente de energía primaria para la cocción de alimentos, lo que contribuye con el medio ambiente del municipio en cuestión, reduciendo en gran medida los desechos generados por la comercialización de coco y ayudando a conservar los bosques de la región.
2. Se acepta la hipótesis nula; la biomasa generada por la palma de coco es una buena alternativa para la reducción del consumo de leña.
3. La biomasa que se puede obtener de la palma de coco (tallo, hojas y residuos del fruto), presentan un alto potencial en cuanto a poder calorífico. La cáscara dura del fruto de la palma presenta un poder calorífico de 18,19 MJ/kg; la cáscara fibrosa del fruto presenta un poder calorífico de 17,10 MJ/kg; la combinación de ambos tipos de cáscara (tal y como se encuentra naturalmente), presenta un poder calorífico de 17,30 MJ/kg; la hoja de la palma presenta un poder calorífico de 17,92 MJ/kg y el tallo presenta un poder calorífico de 17,59 MJ/kg.
4. Utilizar la cáscara de coco como sustituto de la leña no es económicamente factible, ya que la cantidad de cáscara de coco necesaria para suplir el contenido energético de una tarea de leña es Q 218,00 más caro.



5. La producción de hojas y tallo de Palma no es significativa dentro del municipio, y la producción de cáscara de coco cubre únicamente el 0,23 % de la demanda energética del lugar en estudio, sin embargo, se puede considerar como una alternativa para reducir la dependencia que se tiene sobre la utilización de la leña como energía primaria además de representar la conservación de las especies forestales del lugar.
  
6. Con base en la determinación de las emisiones generadas por el proceso de combustión, se determinó que el uso de cualquier tipo de biomasa para la obtención de energía primaria para cocción de alimentos, es sumamente dañino para la salud.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar la biomasa generada por la palma de coco como fuente de energía primaria, siempre y cuando se cuente con un buen sistema de extracción de humo y con una estufa eficiente.
2. Evaluar la eficiencia y rendimiento de la cáscara de coco combinada con un tipo de combustible que sea más eficiente, por ejemplo, leña de palo volador combinado con cáscara de Coco; lo anterior debido a que la cáscara no es capaz de mantener una llama encendida por si misma generando la mayor parte del tiempo únicamente una especie de carbón.
3. Evaluar el potencial energético de briquetas elaboradas con la biomasa generada por la palma de coco.
4. Crear un programa que incentive a los comercializadores del fruto de coco y a la población en general, a aprovechar la biomasa generada de la venta del mismo, realizando capacitaciones que muestren que este residuo puede ser aprovechado de muchas maneras como por ejemplo, en la elaboración de abonos, artesanías, entre otros.
5. A las autoridades del municipio de Patulul, Suchitepéquez, realizar un plan de manejo de los residuos generados de la venta de coco, ya que los mismos poseen un gran potencial energético que está siendo completamente desperdiciado y que puede ser aprovechado por comunidades que tienen un déficit en la oferta de leña.

6. Utilizar la cascara de coco como combustible para la obtención de energía primaria, en los comedores que se encuentran dentro del área donde se comercializa el fruto del coco, con el fin de reducir los costos que representa su utilización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alianza Mundial para Cocinas Limpias. (2014). *Prueba de Ebullición de Agua (4.2.3)*. Fundación de las Naciones Unidas, Washington. Recuperado el 13 de agosto de 2017, de <http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/testing/protocols.html>
2. Banzon, J. A. (1984). *The Coconut Palm as a source of firewood*. Trans. National Academy of Science & technology, 155-162. Recuperado el 21 de enero de 2018, de [www.nast.ph/images/pdf%2520files/Publications](http://www.nast.ph/images/pdf%2520files/Publications)
3. Barraga, F. (2011). *Implicaciones ambientales del uso de la leña como combustible doméstico en la zona rural de Usme*. Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas, Bogotá.
4. Canales, J. C. (2012). *Diseño, construcción y evaluación de un modelo experimental de filtro percolador utilizando estopa de coco como medio filtrante, para la reducción de nitrógeno y fósforo total de las aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento aurora II* "Ing. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, USAC.
5. Cengel, Y.A.; boles, M.A. (1996). *Termodinámica*. Mc Graw-Hill.

6. Donaciano Luna, A. G. (2007). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. *ContactoS* 64, 39-48.
7. Fernández, J. F. (2010). *Máquinas térmicas. Poder calorífico*. Universidad Tecnológica Nacional.
8. Forero Nuñez, C., et. al. (2012). *Estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cáscara de coco en Colombia*. *Ingeniería Solidaria*, 8(14), 7.
9. INAB, IARNA/URL, FAO/GFP. (2012). *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala*. Guatemala: FAO/GFP/Facility.
10. Instituto Nacional de Bosques. (2013). *Informe de labores*. Guatemala.
11. Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2010). *Programa de calidad del aire de INSIVUMEH para la República de Guatemala*. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de INSIVUMEH: [www.insivumeh.gob.gt:8080/calidadaire/regulaciones.htm](http://www.insivumeh.gob.gt:8080/calidadaire/regulaciones.htm)
12. Lizano, M. (s.f.). *Guía técnica del cultivo de coco*. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
13. López de Barrios, G. E. (2009). *Elaboración de la monografía del municipio de Patulul, Suchitepéquez*. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades, Guatemala.

14. Martínez, I. R. (2007). Esperanza energética. *Semanario de Prensa Libre* núm. 133, s.f.
15. Narciso, R., et al. (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2013*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Obtenido de <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/06/03/OX6AAFPjaBJEjjCOiK2jz8YQ8djtLyub.pdf>
16. Padilla, A. (2014 de abril de 2013). *Prezi*. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de <https://prezi.com/qsrsubiiodgvl/produccion-de-carbon-activado-a-partir-de-cáscara-de-coco/>
17. Quirino, W. F., et al. (2005, abril). *Poder calorífico de la madera y de materiales lignocelulósicos*. *Revista da Madeira* (89), 100-106.
18. Rosales, L. (2013). *Plan estratégico nacional para el uso sostenible de la leña*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
19. Salvador, A. R. (2010). *Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*. (D. d. Química, Ed.) Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 104(2), 331-345.
20. Santos Ferreira, J. M.; Nunes Warwick, D.R.; y Siqueira, L. A. (1998). *A Cultura do Coqueiro no Brasil*. 2ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Tabuleiros Costeiros. Brasilia, Brasil. 292 p.

21. Schweizer, K. (27 de 02 de 2012). *Deutsche Welle*. Obtenido de Made for minds: <http://www.dw.com/es/carb%C3%B3n-ecol%C3%B3gico-a-partir-de-restos-de-coco/a-15841201>
22. SEGEPLAN (2010). *Plan de desarrollo municipal Patulul, Suchitepéquez 2012-2025*. Recuperado el 11 de agosto de 2016, de <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/municipio-de-patulul>
23. Solarízate, O. (s.f.). *Solarízate*. Recuperado el 12 de octubre de 2016, de [www.solarizate.org/pdf/castellano/fichasalumnos/ficha11.pdf](http://www.solarizate.org/pdf/castellano/fichasalumnos/ficha11.pdf)
24. Suarez, J., et al. (1999). *Evaluación del poder calorífico superior en biomasa*. Investigación agrícola: sistema de recursos forestales, 8, 129-137.
25. Tení, H. (2015). *Uso sostenible de la leña y combustibles limpios*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala.
26. Zambrano Bohórquez, D. L. (2017). *Concentración de material particulado por combustión de leña en la zona rural del municipio de Santa Sofía, Boyaca*. Tesis de Posgrado, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

## **ANEXOS**





- **Equipo utilizado para la molienda**

A continuación se presentan las fotografías de los molinos utilizados para la molienda de la biomasa generada por la palma de coco.

Figura 1. **Molino de martillo**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 2. **Molino de muelas**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 3. Tamizadora



Fuente: elaboración propia, 2018.

- **Ensayo *Water Boiling Test* (WBT)**

A continuación, se presentan fotografías del procedimiento llevado a cabo durante la realización del ensayo WBT.

Figura 4. **Cáscara de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 5. **Leña de palo volador (*Terminalia oblonga*)**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 6. **Leña de tallo de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 7. **Leña de hoja de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 8. **Leña de guachipilín (*Diphysa robinoides*)**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 9. **Material iniciador (ocote)**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 10. **Peso del agua utilizada para la prueba**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 11. **Llama y carbón generado durante el proceso de combustión de cáscara de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 12. **Llama generada durante el proceso de combustión la leña de palo volador**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 13. **Llama generada durante el proceso de combustión de la hoja de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.



Figura 14. **Llama generada durante el proceso de combustión de leña de tallo de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 15. **Llama generada durante el proceso de combustión de leña de guachipilín**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 16. **Carbón generado por la combustión de cáscara de Coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 17. **Carbón generado por la combustión de leña de palo volador**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 18. **Carbón generado por la combustión de leña de tallo de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 19. **Carbón generado por la combustión de la hoja de palma de coco**



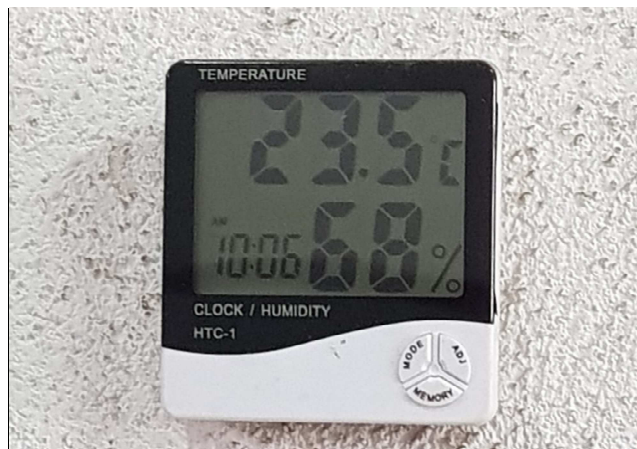
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 20. **Carbón generado por la combustión de la leña de guachipilín**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 21. **Medidor de temperatura y humedad del ambiente ubicado en el laboratorio de tecnología de la madera, Facultad de Ingeniería, USAC**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 22. **Calibración del instrumento utilizado para la medición de emisiones de CO y PM<sub>2,5</sub>**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 23. **Termómetro digital utilizado para la medición de la temperatura del agua**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 24. **Fotografía tomada durante el proceso de realización del ensayo WBT**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 25. **Horno de secado utilizado para la determinación de la humedad de la cáscara de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 26. **Recolección de biomasa de palma de coco**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 27. **Vista desde un vehículo que se conduce sobre la carretera CA-2 específicamente en la finca Cocalles, Patulul, Suchitepéquez**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 28. **Camión cargado de cocos para la venta, tomada en comunidad Las Marías, Patulul, Such.**



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 29. **Basureros de cáscara de coco clandestinos situados en la orilla de la carretera C-A 2**



Fuente: elaboración propia, 2018.



Figura30. **Basureros de cáscara de coco clandestinos situado en comunidad Las Marías, Patulul, Suchitepéquez.**



Fuente: elaboración propia, 2018.

## **APÉNDICE**



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Cáscara Dura de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Roderico Zapeta

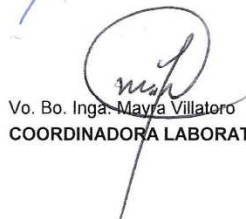
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 18.16

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 18.16 MJ/Kg es equivalente a 4339 Kcal/Kg y a 7809 Btu/Lb.



  
 Ing. Julio Villacinda  
 ÁREA DE HIDROCARBUROS

  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS




Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**


MUESTRA: **Cáscara Dura de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Roderico Zapeta

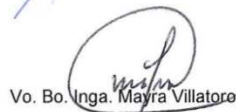
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 18.14

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 18.14 MJ/Kg es equivalente a 4332 Kcal/Kg y a 7798 Btu/Lb.



  
 Ing. Julio Villacinda  
 ÁREA DE HIDROCARBUROS

  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt



**RESULTADOS DE ANALISIS**

MUESTRA: **Cáscara Dura de Coco**  
PRESENTADA POR: Débora Calderón  
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
LOCALIZACIÓN: Suchitupéquez  
FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
ANALISTA: Roderico Zapeta

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MUKg	ASTM D-240	—————	(c) 19.26

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 19.26 MUKg es equivalente a 4362 Kcal/Kg y a 7851 Btu/Lb.



  
Ing. Julio Villacinta  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

  
Vc. Bc. Inga Gisela Villegas  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464





**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: Cáscara Dura+Fibrosa del Fruto de Palma de Coco

PRESENTADA POR: Débora Calderón

RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón

PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul

LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez

FECHA DE MUESTREO: 07-06-17

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17

FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17

PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00

ANALISTA: Jhonatan Ríos

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJKg	ASTM D-240	—————	(c) 17.28

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 288-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.28 MJKg es equivalente a 4127 Kcal/Kg y a 7426 Btu/Lb.



*[Signature]*  
Ing. Julio Villacinda  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
Vc. Bc. Inga Mayra Villatoro  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jrg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Cáscara Dura+Fibrosa del Fruto de Palma de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTAS: Jhonatan Ríos y Julio Villacinda

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.34

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.34 MJ/Kg es equivalente a 4141 Kcal/Kg y a 7454 Btu/Lb.



  
 Ing. Julio Villacinda  
 ÁREA DE HIDROCARBUROS

  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt





**LABORATORIOS  
TÉCNICOS**

PÁGINA 1 DE (1)

LAB-REP-0897-17

ORDEN No. L-0375-17

GUATEMALA, 14-06-17

**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Cáscara Dura+Fibrosa del Fruto de Palma de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Jhonatan Ríos

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.29

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.29 MJ/Kg es equivalente a 4130 Kcal/Kg y a 7434 Btu/Lb.



*[Signature]*  
Ing. Julio Villacinda  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

@MEMguatemala

/MEMguatemala

www.mem.gob.gt



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Tallo de Palma de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Roderico Zapeta

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.59

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.59 MJ/Kg es equivalente a 4202 Kcal/Kg y a 7563 Btu/Lb.



*[Signature]*  
 Ing. Julio Villacinda  
 ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt





**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Tallo de Palma de Coco**  
PRESENTADA POR: Débora Calderón  
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
ANALISTA: Roderico Zapeta

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.62

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.62 MJ/Kg es equivalente a 4210 Kcal/Kg y a 7577 Btu/Lb.



*[Signature]*  
Ing. Julio Villacinda  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Tallo de Palma de Coco**  
PRESENTADA POR: Débora Calderón  
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
ANALISTA: Roderico Zapeta

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.56

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.56 MJ/Kg es equivalente a 4198 Kcal/Kg y a 7551 Btu/Lb.



*[Signature]*  
Ing. Julio Villacinda  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS




Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt





**LABORATORIOS  
TÉCNICOS**

PÁGINA 1 DE (1)  
LAB-REP-0899-17  
ORDEN No. L-0375-17  
GUATEMALA, 14-06-17

**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Hoja de Palma de Coco**  
PRESENTADA POR: Débora Calderón  
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
ANALISTA: Jhonatan Ríos

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.92

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.92 MJ/Kg es equivalente a 4281 Kcal/Kg y a 7705 Btu/Lb.



*[Signature]*  
Ing. Julio Villacinda  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

@MEMguatemala  
 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt





**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Hoja de Palma de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Roderico Zapeta

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.94

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.94 MJ/Kg es equivalente a 4288 Kcal/Kg y a 7714 Btu/Lb.



*[Signature]*  
 Ing. Julio Villacinda  
 ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt







**LABORATORIOS  
TÉCNICOS**

PÁGINA 1 DE (1)  
LAB-REP- 0903-17  
ORDEN No. L-0375-17  
GUATEMALA, 14-06-17

**RESULTADOS DE ANALISIS**

MUESTRA: Hoja de Palma de Coco  
PRESENTADA POR: Débora Calderón  
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
LOCALIZACIÓN: Suchitupéquez  
FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 14-06-17  
PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
ANALISTA: Rodrigo Zapeta

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR MJ/kg	ASTM D 240	—————	(c) 17.90

**OBSERVACIONES:**

a) En el Acuerdo Ministerial No. 363-2015 no existen especificaciones para este producto.  
 b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.  
 c) El valor de 17.94 MJ/kg es equivalente a 4100 Kcal/Kg y a 7671 Btu/lb.



*[Signature]*  
Ing. Rodrigo Zapeta  
ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
Vo. So. Inga. Mayra Velasco  
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente formato no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico  
 Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 2 976, Zona 11 Las Charcas / PBX: 24196464



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Cáscara Fibrosa del Fruto de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 15-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Hever Pérez

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 16.98

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 16.98 MJ/Kg es equivalente a 4056 Kcal/Kg y a 7301 Btu/Lb.



  
 Ing. Julio Villacinda  
**ÁREA DE HIDROCARBUROS**

  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
**COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS**




Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

**MUESTRA: Cáscara Fibrosa del Fruto de Coco**  
PRESENTADA POR: Débora Calderón  
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patuluz  
LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 15-06-17  
PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
ANALISTA: Hever Pérez

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.19

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.19 MJ/Kg es equivalente a 4105 Kcal/Kg y a 7389 Btu/Lb.



  
Ing. Julio Villacinda  
**ÁREA DE HIDROCARBUROS**

  
Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
**COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS**



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MUESTRA: **Cáscara Fibrosa del Fruto de Coco**  
 PRESENTADA POR: Débora Calderón  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Débora Calderón  
 PROCEDENCIA: Débora Calderón. Referencia de la muestra: Patulul  
 LOCALIZACIÓN: Suchitepéquez  
 FECHA DE MUESTREO: 07-06-17  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 08-06-17  
 FECHA DE ANÁLISIS: Del 12 al 15-06-17  
 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 20.00  
 ANALISTA: Hever Pérez

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADO (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.14

**OBSERVACIONES:**

- a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto.
- b) El resultado es válido solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
- c) El valor de 17.14 MJ/Kg es equivalente a 4093 Kcal/Kg y a 7368 Btu/Lb.



*[Signature]*  
 Ing. Julio Villacón  
 ÁREA DE HIDROCARBUROS

*[Signature]*  
 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro  
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



Jvg

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt





Tabla 1. Tabla de Excel utilizada para el análisis de resultados obtenidos de la prueba WBT

WATER BOILING TEST - VERSION 4.2.4 - TEST #1										
DATA AND CALCULATION FORM (for one to four pots)										
Shaded cells and arrows require user input; unshaded cells automatically display outputs										
<b>Qualitative data</b>										
Name(s) of Tester(s)								gray: efficiency		
Test Number								blue: emissions		
Date								pink: error, missing input		
Location										
Stove type/model										
Type of fuel	Hoja de palma de coco (Cocos nucifera)									
<b>Initial Test Conditions</b>										
Data	value	units	label	Data	value	units	label			
Air temperature		°C		Dry weight of Pot # 1 (grams)		g	P1			
Wind conditions				Dry weight of Pot # 2 (grams)		g	P2			
Fuel dimensions	<input type="text" value="Select from list"/>			Dry weight of Pot # 3 (grams)		g	P3			
Fuel moisture content (wet basis)		%	MC	Dry weight of Pot # 4 (grams)		g	P4			
Gross calorific value (dry fuel)		kJ/kg	HHV	Weight of container for char (grams)		g	k			
Net calorific value (dry fuel)		kJ/kg	LHV	Local boiling point		°C	T <sub>b</sub>			
Effective calorific value (accounting for fuel moisture)		kJ/kg	EHV	Background concentrations: CO2		ppm	CO2.b			
Char calorific value		kJ/kg		CO		ppm	CO.b			
				PM		ug/m3	PM.b			
<b>Notes about this test</b>										
<b>BASIC TEST DATA</b>										
<b>TEST #1</b>										
Notes on the High Power - Cold Start Test. Add description only if it differs from "General Information" sheet										

TEST #1	Units	COLD START: HIGH POWER				HOT START: HIGH POWER (OPTIONAL)				SIMMER TEST			
		Start		Finish: when Pot #1 boils		Start		Finish: when Pot #1 boils		Start		Finish: 45 min	
Measurements		data	label	data	label	data	label	data	label	data	label	data	label
Time (in 24 hour form)	hr:min	t <sub>s</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>f</sub>
Weight of fuel	g	f <sub>s</sub>	f <sub>f</sub>	f <sub>s</sub>	f <sub>f</sub>	f <sub>s</sub>	f <sub>f</sub>	f <sub>s</sub>	f <sub>f</sub>	f <sub>s</sub>	f <sub>f</sub>	f <sub>s</sub>	f <sub>f</sub>
Water temperature, Pot # 1	°C	T1 <sub>s</sub>	T1 <sub>f</sub>	T1 <sub>s</sub>	T1 <sub>f</sub>	T1 <sub>s</sub>	T1 <sub>f</sub>	T1 <sub>s</sub>	T1 <sub>f</sub>	T1 <sub>s</sub>	T1 <sub>f</sub>	T1 <sub>s</sub>	T1 <sub>f</sub>
Water temperature, Pot # 2	°C	T2 <sub>s</sub>	T2 <sub>f</sub>	T2 <sub>s</sub>	T2 <sub>f</sub>	T2 <sub>s</sub>	T2 <sub>f</sub>	T2 <sub>s</sub>	T2 <sub>f</sub>	T2 <sub>s</sub>	T2 <sub>f</sub>	T2 <sub>s</sub>	T2 <sub>f</sub>
Water temperature, Pot # 3	°C	T3 <sub>s</sub>	T3 <sub>f</sub>	T3 <sub>s</sub>	T3 <sub>f</sub>	T3 <sub>s</sub>	T3 <sub>f</sub>	T3 <sub>s</sub>	T3 <sub>f</sub>	T3 <sub>s</sub>	T3 <sub>f</sub>	T3 <sub>s</sub>	T3 <sub>f</sub>
Water temperature, Pot # 4	°C	T4 <sub>s</sub>	T4 <sub>f</sub>	T4 <sub>s</sub>	T4 <sub>f</sub>	T4 <sub>s</sub>	T4 <sub>f</sub>	T4 <sub>s</sub>	T4 <sub>f</sub>	T4 <sub>s</sub>	T4 <sub>f</sub>	T4 <sub>s</sub>	T4 <sub>f</sub>
Weight of Pot # 1 with water	g	P1 <sub>s</sub>	P1 <sub>f</sub>	P1 <sub>s</sub>	P1 <sub>f</sub>	P1 <sub>s</sub>	P1 <sub>f</sub>	P1 <sub>s</sub>	P1 <sub>f</sub>	P1 <sub>s</sub>	P1 <sub>f</sub>	P1 <sub>s</sub>	P1 <sub>f</sub>
Weight of Pot # 2 with water	g	P2 <sub>s</sub>	P2 <sub>f</sub>	P2 <sub>s</sub>	P2 <sub>f</sub>	P2 <sub>s</sub>	P2 <sub>f</sub>	P2 <sub>s</sub>	P2 <sub>f</sub>	P2 <sub>s</sub>	P2 <sub>f</sub>	P2 <sub>s</sub>	P2 <sub>f</sub>
Weight of Pot # 3 with water	g	P3 <sub>s</sub>	P3 <sub>f</sub>	P3 <sub>s</sub>	P3 <sub>f</sub>	P3 <sub>s</sub>	P3 <sub>f</sub>	P3 <sub>s</sub>	P3 <sub>f</sub>	P3 <sub>s</sub>	P3 <sub>f</sub>	P3 <sub>s</sub>	P3 <sub>f</sub>
Weight of Pot # 4 with water	g	P4 <sub>s</sub>	P4 <sub>f</sub>	P4 <sub>s</sub>	P4 <sub>f</sub>	P4 <sub>s</sub>	P4 <sub>f</sub>	P4 <sub>s</sub>	P4 <sub>f</sub>	P4 <sub>s</sub>	P4 <sub>f</sub>	P4 <sub>s</sub>	P4 <sub>f</sub>
Fire-starting materials (if any)	--												
Weight of charcoal-container	g		c <sub>s</sub>		c <sub>f</sub>		c <sub>s</sub>		c <sub>f</sub>		c <sub>s</sub>		c <sub>f</sub>
Average CO2	ppm		CO2 <sub>s</sub>		CO2 <sub>f</sub>		CO2 <sub>s</sub>		CO2 <sub>f</sub>		CO2 <sub>s</sub>		CO2 <sub>f</sub>
Average CO	ppm		CO <sub>s</sub>		CO <sub>f</sub>		CO <sub>s</sub>		CO <sub>f</sub>		CO <sub>s</sub>		CO <sub>f</sub>
Average PM	ug/m3		PM <sub>s</sub>		PM <sub>f</sub>		PM <sub>s</sub>		PM <sub>f</sub>		PM <sub>s</sub>		PM <sub>f</sub>
Average Duct Temperature	°C		T <sub>d</sub>		T <sub>d</sub>		T <sub>d</sub>		T <sub>d</sub>		T <sub>d</sub>		T <sub>d</sub>
Total CO2 (if available)	g		M <sub>CO2,c</sub>		M <sub>CO2,f</sub>		M <sub>CO2,c</sub>		M <sub>CO2,f</sub>		M <sub>CO2,c</sub>		M <sub>CO2,f</sub>
Total CO (if available)	g		M <sub>CO,c</sub>		M <sub>CO,f</sub>		M <sub>CO,c</sub>		M <sub>CO,f</sub>		M <sub>CO,c</sub>		M <sub>CO,f</sub>
Total PM (if available)	g		M <sub>PM,c</sub>		M <sub>PM,f</sub>		M <sub>PM,c</sub>		M <sub>PM,f</sub>		M <sub>PM,c</sub>		M <sub>PM,f</sub>

Calculations/Results	Units	COLD START		HOT START		SIMMER TEST (CALCULATIONS DIFFER FROM HIGH POWER TEST)			
		data	label	data	label	Units	data	label	label
Fuel consumed (moist)	g	-	f <sub>m</sub>	-	f <sub>m</sub>	Fuel consumed during the simmer phase (n	g	-	f <sub>m</sub>
Net change in char during test	g	-	Δc <sub>c</sub>	-	Δc <sub>h</sub>	Net change in char during test phase	g	-	Δc <sub>c</sub>
Equivalent dry fuel consumed	g		f <sub>sd</sub>		f <sub>sd</sub>	Equivalent dry fuel consumed	g		f <sub>sd</sub>
Water vaporized from all pots	g	-	w <sub>v</sub>	-	w <sub>v</sub>	Water vaporized	g	-	w <sub>v</sub>
Effective mass of water boiled	g		w <sub>w</sub>		w <sub>w</sub>	Water remaining at end - All Pots	g	-	w <sub>w</sub>
Time to boil Pot # 1	min	-	Δt <sub>c</sub>	-	Δt <sub>h</sub>	Time of simmer (should be ~45 minutes)	min	-	Δt <sub>s</sub>
Temp-corr time to boil Pot # 1	min		Δt <sub>c</sub>		Δt <sub>h</sub>	Thermal efficiency	%		h <sub>h</sub>
Thermal efficiency	%		h <sub>c</sub>		h <sub>h</sub>	Burning rate	g/min		r <sub>b</sub>
Burning rate	g/min		r <sub>b</sub>		r <sub>h</sub>	Specific fuel consumption	g/iter remain		SC <sub>c</sub>
Specific fuel consumption	g/iter boiled		SC <sub>c</sub>		SC <sub>h</sub>	Firepower	watts		FP <sub>c</sub>
Temp-corr sp consumption	g/iter		SC <sub>c</sub>		SC <sub>h</sub>	Turn down ratio	-		TDR
Temp-corr sp energy consumpt.	kJ/iter		SE <sub>c</sub>		SE <sub>h</sub>	Specific Energy Consumption	kJ/iter		SE <sub>c</sub>
Firepower	watts		FP <sub>c</sub>		FP <sub>h</sub>	Fuel Benchmark to Complete 5L WBT	g		BF
						Energy Benchmark to Complete 5L WBT	kJ		BE

Fuente: <http://www.cleancookstoves.org/our-work/standards-and-testing/learn-about-testing-protocols/>.



# IAP Meter 5000 Series Technical Specifications Sheet

By Aprovecho Research Center  
www.aprovecho.org, (541) 767-0287



**Function: Portable device for logging CO and PM concentration**

## Sensors

### 1. Carbon Monoxide:

Type: Electrochemical cell  
Range: 0 – 1000 ppm  
Repeatability: 2%  
Resolution: 1 ppm  
Response time: T90 = 30 seconds

### 2. Particulate Matter:

Type: Red laser scattering photometer  
Range: 0 – 60,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
Resolution 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
Response time: 1 second

## Features

- RS-232 Serial Port Output (includes Prolific USB adapter)
- LED indicator Light: Five second blink indicates meter is on
- Microprocessor controlled power management for long battery life
- Selection Switch for 3 Sampling Speeds
  - Fast Mode: One sample every 9 seconds
    - 3 day battery life
  - Medium Mode: One sample every 51 seconds
    - 2 week battery life
  - Slow mode: One sample every 9.7 minutes
    - 1 month battery life



- Data Logger
  - Sampling Method: Delta Sigma (exceptional noise filtration)
  - 38 microvolt resolution
- CO over-sampling for additional noise filtration
- Stores calibration constants in memory
  - Data Storage Disk: Removable Secure Digital 256 MB

**Sample Intake:** Microprocessor controlled 1.8 cfm fan

**Weight:** 860 grams

**Size:** 13 x 20 x 8 cm

**Battery:** 7.4V Li-Ion, 5700 mAh

**Software included**

- Microsoft Excel Compatible Data Processing Software
  - Outputs include:
    - Average concentrations
    - Maximum/minimum concentrations
    - Max/min 15 minute average concentrations
    - LiveGraph for graphing real-time output
    - Serial port communication software for Windows, Mac, and Linux

**Accessories included**

- Backpack and sample tube for exposure monitoring
- Battery Charger
- RS-232 serial port connector cord with Prolific USB adapter

**Calibration Requirements**

- Particulate Matter sensor is factory calibrated – requires regular cleaning
- Carbon Monoxide sensor comes factory calibrated – requires calibration once per month during use

