



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

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL COYOL (*Acrocomia aculeata*)**

**José Guillermo Villafuerte Díaz**

Asesorado por el M.A. Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL COYOL (*Acrocomia aculeata*)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ GUILLERMO VILLAFUERTE DÍAZ**

ASESORADO POR EL M.A. ING. RENATO GIOVANNI PONCIANO  
SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**


DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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:

### **CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL COYOL (*Acrocomia aculeata*)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2013.



**José Guillermo Villafuerte Díaz**



Guatemala, 14 de julio de 2014

Ingeniero  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director de la Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Monzón:

Reciba por medio de la presente un cordial saludo de mi parte. El motivo por el que me dirijo a usted es para hacer de su conocimiento que he evaluado y revisado el informe final de tesis del estudiante **José Guillermo Villafuerte Díaz** carné universitario No. 201020510, titulado, **CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL COYOL (*Acrocomia aculeata*)** y luego de hacer las observaciones y correcciones pertinentes, **he aprobado** la versión que presenta a la Dirección de Escuela el día de hoy. Por lo que solicito a usted que autorice que siga el trámite correspondiente, a efecto de que el estudiante pueda culminar su proceso de graduación.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted con todo respeto.

Atentamente,  
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Renato Giovanni Popciano Sandoval  
INGENIERO QUÍMICO

Profesor Titular 6. Colegiado No. 826



Guatemala, 13 de agosto de 2014  
Ref. EIQ.TG-IF.026.2014

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **158-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por el estudiante universitario: **José Guillermo Villafuerte Díaz**.  
Identificado con número de carné: **2010-20510**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DE COYOL (*Acrocomia aculeata*)**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Renato Giovanni Ponciano Sandoval**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. **Jorge Emilio Godínez Lemus**  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Guatemala, 02 de septiembre de 2014  
Ref. EIQ.TG.161.2014

Señores  
Área de Lingüística  
Facultad de Ingeniería  
Presente,

Estimados Señores

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **158-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **José Guillermo Villafuerte Díaz**.  
Identificado con número de carné: **2010-20510**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

#### CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DE COYOL (*Acrocomia aculeata*)

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Renato Giovanni Ponciano Sandoval**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



C.c.: archivo





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL COYOL (*Acrocomia aculeata*)**, presentado por el estudiante universitario: **José Guillermo Villafuerte Díaz** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, octubre de 2014





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por brindarme fortaleza, perseverancia y un camino lleno de oportunidades.
<b>Mis padres</b>	Ejemplo de amor, humildad, responsabilidad y apoyo incondicional. Ustedes pudieron inspirarme y darme la fuerza para luchar y alcanzar esta meta.
<b>Mis abuelos</b>	Viva fuente de amor y sabiduría. Gracias, por sus enseñanzas y sus infinitas muestras de cariño.
<b>Mis hermanos</b>	Por siempre exigirme y desearme lo mejor. Son un modelo a seguir, gracias por su guía y apoyo.
<b>Mis cuñadas y sobrina</b>	Mujeres excepcionales, que con su amor y amistad le han brindado muchas alegrías a mi familia.
<b>Mis familiares</b>	Por su cariño, amistad y siempre estar pendientes de mí.
<b>Mis amigos</b>	Compañeros de vida. Gracias por su cariño y alegrías a lo largo de estos años.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios y haberme dado una gran oportunidad de crecimiento personal y profesional.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Qco. Renato Giovanni Ponciano Sandoval. Su tiempo, experiencia y extensos conocimientos fueron pieza fundamental en este trabajo de graduación. Gracias por sus enseñanzas, su amistad y por ser un catedrático íntegro de la Facultad de Ingeniería.
<b>Ingenieros</b>	Óscar Pérez, Carlos Mérida, América González, Wolffan Rodríguez y Juan Carlos Valdez, por su apoyo y guía incondicional en el planteamiento del trabajo de investigación y su desarrollo.
<b>Laboratorio ProVerde</b>	Técnicos de laboratorio y en especial al Lic. Sergio Santos, por su guía y asesoría en la parte experimental analítica del presente trabajo.



2.2.2.	Rendimientos potenciales.....	14
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
3.1.	Variables .....	17
3.1.1.1.	ISO 17225-1 – Variables sugeridas de evaluación energética .....	17
3.1.1.2.	ASTM D7544 – Variables sugeridas de evaluación energética .....	18
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	19
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	20
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	20
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa .....	21
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	21
3.6.1.	Método de obtención de las distintas partes del coyol.....	22
3.6.1.1.	Método de obtención de aceite del mesocarpio y endocarpio.....	23
3.6.2.	Método de evaluación de propiedades físicas y químicas.....	24
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	25
3.7.1.	Tabulación de la información.....	25
3.8.	Análisis estadístico.....	25
3.8.1.	Plan de muestreo .....	26
3.8.1.1.	Selección de frutos: muestreo bietápico .....	26
3.8.1.2.	Análisis de laboratorio: número de repeticiones .....	28
3.8.2.	Tratamiento estadístico de datos.....	29

3.8.2.1.	Cálculos estadísticos.....	29
4.	RESULTADOS.....	31
4.1.	Resultado No. 1. Porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol.....	31
4.2.	Resultado No. 2. Porcentaje de extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio por medio de una prensa extrusora .....	32
4.3.	Resultado No. 3. Porcentaje en peso promedio de los distintos subproductos del coyol .....	33
4.4.	Resultado No. 4. Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos sólidos .....	34
4.5.	Resultado No. 5. Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos líquidos .....	35
4.6.	Resultado No. 6. Matriz energética comparativa: subproductos del coyol versus combustibles fósiles y otros biocombustibles .....	35
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	37
	CONCLUSIONES .....	43
	RECOMENDACIONES.....	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47
	APÉNDICES.....	49
	ANEXOS .....	71



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fuentes y procesos de producción de biocombustibles.....	10
2.	Planta de <i>Acrocomia aculeata</i> .....	12
3.	Partes del coyol: fruto y vista transversal .....	14
4.	Delimitación del campo de estudio .....	19
5.	Obtención de las distintas partes del coyol.....	22
6.	Obtención de aceite del mesocarpio y endocarpio .....	23
7.	Evaluación de propiedades físicas/químicas .....	24
8.	Localización de plantas de <i>Acrocomia aculeata</i> .....	27
9.	Frutos de <i>Acrocomia aculeata</i> .....	27
10.	Porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol .....	31
11.	Porcentaje en peso promedio de los subproductos del coyol .....	33
12.	Matriz energética comparativa: subproductos del coyol <i>versus</i> combustibles fósiles y otros biocombustibles .....	36

### TABLAS

I.	Principales energías renovables y no renovables .....	4
II.	Principales biocombustibles .....	8
III.	Comparación de palma aceitera, <i>Acrocomia</i> y <i>Jatropha</i> .....	15
IV.	ISO 17225-1 - Variables de especificación.....	17
V.	ASTM D7544 - Variables de especificación.....	18
VI.	Resultados de poder calorífico preliminares.....	28

VII.	Rendimiento de extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio por medio de una prensa extrusora .....	32
VIII.	Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos sólidos .....	34
IX.	Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos líquidos .....	35



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>AE</b>	Aceite de endocarpio
<b>AM</b>	Aceite de mesocarpio
<b>S</b>	Azufre
<b>C</b>	Carbono
<b>A</b>	Ceniza
<b>Cl</b>	Cloro
<b>W</b>	Contenido de humedad
<b>DB</b>	Densidad aparente
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>Ex</b>	Exocarpio
<b>EE</b>	Expeller de endocarpio
<b>EM</b>	Expeller de mesocarpio
<b>FP</b>	<i>Flash point</i>
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>M</b>	Humedad
<b>kJ/kg</b>	Kilo joule por kilogramo
<b>mm<sup>2</sup>/s</b>	Milímetro cuadrado sobre segundo
<b>Pe</b>	Pericarpio
<b>Q</b>	Poder calorífico bruto
<b>w - %</b>	Porcentaje en peso
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>Vc</b>	Viscosidad cinemática a 40 °C



## GLOSARIO

<b>ASTM</b>	American Section of the International Association for Testing Materials. Organismo de normalización de los Estados Unidos de América.
<b>Coyol</b>	Fruto esférico de la <i>Acrocomia aculeata</i> .
<b>Densidad aparente</b>	Relación entre masa y el volumen que cierta masa no uniforme ocupa. No es una propiedad intrínseca y depende de su compactación.
<b>Desarrollo Sostenible</b>	Crecimiento socioeconómico que satisface necesidad de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro.
<b>Expeller</b>	Residuo sólido de la extracción del aceite, también conocido como torta.
<b><i>Flash point</i></b>	Conjunto de condiciones físicas donde ocurre el punto de inflamación de una materia combustible.
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización. Organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales.

<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno. Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución.
<b>Poder calorífico</b>	Describe la energía liberada durante la combustión completa en relación con la cantidad de combustible aportada.
<b>Prensa extrusora</b>	Maquinaria equipada que prensa el material con un tornillo continuo y sirve para recuperar el aceite contenido y obtener expeller de alta calidad.
<b>Viscosidad cinemática</b>	Es la razón entre la viscosidad dinámica respecto la densidad del fluido. Se emplea, generalmente, para medir la fluidez de un líquido en una tubería.

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación, a nivel de trabajo de graduación, consistió en la caracterización y evaluación del potencial de aprovechamiento energético de los subproductos del coyol (*Acrocomia aculeata*).

Inicialmente se realizó la segregación de las distintas partes del fruto del coyol: pericarpio, mesocarpio, exocarpio y endocarpio. Luego se extrajo el aceite del mesocarpio y endocarpio por medio de una prensa extrusora. Obteniendo así los subproductos del coyol: pericarpio, expeller y aceite de mesocarpio, exocarpio y el expeller y aceite de endocarpio. Con el rendimiento extractivo de los aceites se determinó el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos respecto el peso total del fruto.

Seguidamente se realizó la caracterización energética de los subproductos sólidos con base en las variables sugeridas por la Norma ISO 17225-1. Dichas variables representan el poder calorífico bruto, humedad, ceniza, densidad aparente, cloro, carbono y azufre. Los subproductos líquidos se caracterizaron con base en las variables sugeridas por la Norma ASTM D7544; evaluando así el poder calorífico bruto, contenido de humedad, viscosidad cinemática a 40 grados centígrados, densidad, cenizas, pH y *flash point*.

Los poderes caloríficos de los subproductos del coyol se asemejan a los poderes caloríficos de maderas, residuos agrícolas y ciertos combustibles líquidos, oscilando en el orden de 16 000,00 a 23 000,00 kilo joule por kilogramo. Dentro del marco del desarrollo sostenible energético es factible hablar de plantaciones energéticas de *Acrocomia aculeata*, donde se puedan

tener producciones de 373 882 mega joule por hectárea anuales, tomando en cuenta que dichas producciones se darán durante el ciclo de vida útil de la palmera de, aproximadamente, 50 años.

Fundamentando y comprobando así, que el coyol (*Acrocomia aculeata*) posee un potencial competitivo de aprovechamiento energético contra combustibles fósiles, siendo este una fuente emergente de energía renovable y amigable con el medio ambiente.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar las propiedades energéticas de los subproductos del coyol, fruto de la *Acrocomia aculeata*, con el fin de caracterizarlo como biocombustible, y así determinar la factibilidad técnica de su aprovechamiento energético.

### Específicos

1. Determinar el porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol.
2. Extraer el aceite del mesocarpio y del endocarpio por medio de una prensa extrusora y evaluar los rendimientos de extracción por medio mecánico.
3. Caracterizar las propiedades energéticas de los subproductos sólidos con base a lo sugerido por la ISO 17225-1.
4. Caracterizar las propiedades energéticas de los subproductos líquidos con base en las variables sugeridas por la Norma ASTM D7544.
5. Realizar una matriz comparativa de los subproductos evaluados versus combustibles fósiles y otros biocombustibles, en función de sus propiedades energéticas.

## **Hipótesis**

Las propiedades energéticas de los distintos subproductos del coyol tendrán un rendimiento calorífico comparable a combustibles fósiles y biocombustibles.

### **Hipótesis alterna**

Según las propiedades físicas y químicas evaluadas de los subproductos del coyol; estos podrán ser utilizados como biocombustibles.

### **Hipótesis nula**

Según las propiedades físicas y químicas evaluadas de los subproductos del coyol; estos no podrán ser utilizados como biocombustibles.



## INTRODUCCIÓN

Dentro del marco del desarrollo sostenible energético se están buscando nuevas fuentes de energía renovable, que logren disminuir el consumo de combustibles fósiles; y asimismo, satisfacer las necesidades energéticas crecientes de la sociedad moderna.

Guatemala es un país rico en recursos naturales de los cuales, muchos no han sido estudiados para su aprovechamiento sostenible; siendo este el caso de la *Acrocomia aculeata*. Esta es una palmera nativa de zonas tropicales y subtropicales del continente americano. El fruto de la *Acrocomia*, denominado corrientemente coyol, es un fruto oleaginoso subutilizado habitualmente en Guatemala como materia prima para la realización de dulces típicos artesanales.

Sin embargo, con base en el cuestionamiento de los potenciales usos del fruto que puedan proveerle un valor agregado; surge el problema de investigación del presente trabajo: evaluar el potencial de aprovechamiento energético del coyol, fruto de la *Acrocomia aculeata*.

La presente investigación caracterizó, desde un enfoque energético, los distintos subproductos sólidos y líquidos que pueden ser obtenidos del coyol en su punto de madurez. Para dicha caracterización se empleó frutos propios de la región, obtenidos en finca San Miguel, localizada en el municipio de Sanarate, departamento de El Progreso.

Esta investigación busca abrir brecha en estudios no realizados anteriormente en Guatemala, al promover un uso alternativo a los subproductos del coyol. De esta manera, con la caracterización energética realizada en la presente investigación, se insta a su explotación y aprovechamiento como cultivo energético.

## 1. ANTECEDENTES

Hasta la fecha, en Guatemala no se han desarrollado investigaciones respecto al aprovechamiento energético del fruto de la *Acrocomia aculeata*. Sin embargo, en países como Paraguay y Brasil a partir del 2007 se han efectuado estudios de la capacidad energética y usos potenciales de este fruto.

En 1955, Klare S. Markley del Instituto de Asuntos Inter-Americanos, Río de Janeiro, Brasil; escribió en el *Journal of the American Oil Chemists Society* el artículo: *The mbocayá palm: An economic oil plant of Paraguay*. Este es el primer informe completo de la palma *Acrocomia* y de su importancia económica debido a la explotación de la pulpa y de la nuez del fruto.

En 1968 se publicó en el *Journal of the American Oil Chemists Society* el artículo: *Fatty acid composition of mbocayá palm kernel and pulp oils*. En este se presentó evaluaciones preliminares de los compuestos que conforman el aceite de la pulpa y de la almendra del fruto de la *Acrocomia*.

En el 2007, el Ing. Eduardo Bohn de Paraguay publicó el estudio: *Investigaciones en biomasa de la Acrocomia Aculeata*. En el cual planteó el enfoque de producir energía a partir de biomasa vinculándolo con el uso de agro tecnología. Proyectó el escenario del uso del fruto como biocombustible donde se evalúa el uso alimenticio del fruto y como biocombustible.

En el 2008, el Ing. Eduardo Bohn y D. Oberlaender publicaron el estudio *Acrocomia aculeata: Su potencial como cultivo para múltiples propósitos*. En este realizaron comparaciones de los usos actuales que se le dan a las distintas

partes del fruto y con base en evaluaciones de las propiedades fisicoquímicas propusieron usos potenciales para los subproductos obtenidos.

En el 2009 se realizó un estudio de aprovechamiento calorífico de biomasa en la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual fue elaborado por Cristóbal Francisco Traña Sánchez, como trabajo de graduación titulado: *Aprovechamiento de la biomasa (raquis) como combustible para incrementar la producción de energía térmica (vapor) en la caldera*. El objetivo principal fue evaluar el uso del raquis como combustible orgánico para incrementar la producción de energía térmica. Se concluyó que, al utilizar la biomasa como combustible orgánico disminuyó la contaminación del medio ambiente en la finca Palmas del Horizonte, S. A., ya que el raquis vacío solía ser tirado al patio donde se descomponía y provocaba la proliferación de moscas, roedores, e insectos varios.

Finalmente, en el 2011, la Sociedad Sylphium SAS Agroenergías SRL publicó un estudio completo denominado: *Propuesta de desarrollo integral con Acrocomia aculeata*. Con dicho estudio buscaban proveer información valiosa respecto al aprovechamiento como alimento, combustible renovable y materia prima industrial de la palmera *Acrocomia* y de los subproductos de su fruto.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. La energía**

El hombre desde la antigüedad ha necesitado fuentes de energía. El sol es la principal fuente de energía que proporciona, al hombre y a la naturaleza, luz y calor. En sus orígenes, el hombre tuvo que combatir el frío a través de fuego (leña) que siguió utilizando para preparar alimentos, fundir metales, elaborar utensilios, entre otros.

A medida que el hombre ha ido evolucionando y desarrollándose ha necesitado de más energía, llegando al momento actual, en el que el aprovisionamiento de energías es un problema a nivel de todos los países de la Tierra.

La resolución del abastecimiento de energía es un problema de compleja solución. Investigadores buscan energías alternativas de las fósiles convencionales que sean menos contaminantes y no se agoten como sucede con las principales energías que actualmente se utilizan, como: el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear.

#### **2.1.1. Fuentes de energía**

La tabla I recoge las principales fuentes de energía utilizadas actualmente. El porcentaje mayor corresponde a las energías no renovables.

Tabla I. **Principales energías renovables y no renovables**

<b>Energías renovables</b>	<b>Energías no renovables</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía solar térmica</li> <li>- Energía solar luminosa (fotosíntesis)</li> <li>- Energía hidráulica</li> <li>- Energía eólica</li> <li>- Energía fotovoltaica</li> <li>- Energía geotérmica</li> <li>- Energías procedentes de la biomasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustibles de origen fósil</li> <li>- Petróleo</li> <li>- Carbón</li> <li>- Gas natural</li> <li>- Energía nuclear</li> </ul>

Fuente: GONZÁLEZ, Jaime. *Energías renovables: lo que hay que saber*. p. 18.

Las energías no renovables mencionadas anteriormente son también, catalogadas como energías contaminantes, ya que provocan una contaminación mucho mayor a las energías renovables. En primer lugar está el carbón, seguido del petróleo y en tercer lugar el gas natural.<sup>1</sup>

La energía nuclear tiene otros niveles de contaminación que pueden ser debidos a escapes radioactivos, accidentes durante su utilización y a la larga vida que tienen los desechos radioactivos antes de perder la radioactividad.

### **2.1.2. Energías no renovables**

Son denominadas de esta forma dado que provienen de recursos finitos. Estos no pueden ser producidos, regenerados o reutilizados a una razón tal que su consumo sea sostenible.

---

<sup>1</sup> GONZÁLEZ VELASCO, Jaime. *Energías renovables*. p. 195.

Los combustibles fósiles provienen de biomasa obtenida hace millones de años y, que ha sufrido grandes procesos de transformación hasta la formación de sustancias de gran contenido energético.

Con la crisis del petróleo de los años 70 y 80, la energía nuclear se volvió competitiva con fuentes convencionales y esto provocó el incremento en la investigación y desarrollo de muchas centrales nucleares que todavía están en servicio. Los combustibles nucleares pueden ser: el uranio, el plutonio y, en general, todos los elementos químicos fisibles o fusionables adecuados para la operación de reactores.<sup>2</sup>

### **2.1.3. Energías renovables**

Son aquellas que se pueden reutilizar de nuevo y son inagotables. Estas se clasifican atendiendo a las características principales, como: su grado o nivel de contaminación que ocasionan en su lugar de procedencia, obtención y utilización.

Los tipos de energías renovables se encuentran en la tabla I; sin embargo, la biomasa se describirá a continuación a detalle debido al alcance de esta investigación.

#### **2.1.3.1. Biomasa**

Es cualquier materia orgánica obtenida a partir de vegetales, animales o residuos. La tecnología actual permite aprovechar y transformar muchos de estos productos como energía.

---

<sup>2</sup> CASTRO DÍAZ-BALART, Fidel. *Energía nuclear y desarrollo*. p. 43.

La biomasa es una fuente importante de producción de energía renovable y se puede clasificar en:

- Natural: que produce la naturaleza de forma espontánea
- Residual seca: que procede de actividades agrícolas forestales
- Residual húmeda: que procede de vertidos biodegradables
- Biomasa procedente de cultivos energéticos forestales y agrícolas

La biomasa puede transformarse en energía por métodos termoquímicos y métodos bioquímicos.<sup>3</sup>

- Métodos termoquímicos
  - Por combustión: consiste en quemar biomasa con abundante oxígeno, para producir energía calorífica aprovechable.
  - Por pirólisis: consiste en quemar biomasa en una combustión incompleta, con poco oxígeno a una temperatura entorno a los 500 °C.
  - Por gasificación: variante del método anterior y consiste en una combustión incompleta de biomasa a elevada temperatura y poco oxígeno. Según se le aplique aire u oxígeno puro se consiguen dos productos diferentes:

---

<sup>3</sup> GONZÁLEZ VELASCO, Jaime. *Energías renovables*. p. 251 – 253.



- Gasógeno: se obtiene al alimentar aire.
- Gas de síntesis: al alimentar oxígeno puro y se puede transformar en combustible líquido.
- Métodos bioquímicos
  - Fermentación alcohólica para producir etanol
  - Digestión anaerobia para producir metano

### **2.1.3.2. Biocombustibles**

La combustión es un proceso que permite la liberación rápida de energía en forma de calor. Los productos finales son dióxido de carbono y agua. Tradicionalmente, a la reacción entre el oxígeno y las sustancias de origen orgánico se le ha llamado combustión; al compuesto orgánico, combustible; y al oxígeno, comburente. Por esta razón, a los recursos alternativos de energía derivados de material biológico se les llama biocombustibles.

El principal objetivo de los biocombustibles es de sustituir los carburantes fósiles tradicionales y reducir la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero.

Los biocombustibles pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos. El estado de agregación del combustible influye directamente en sus usos potenciales y forma de aprovechamiento. La tabla II presenta los principales tipos de biocombustibles derivados de biomasa.

Tabla II. **Principales biocombustibles**

<b>Sólidos</b>	<b>Líquidos</b>	<b>Gaseosos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paja</li> <li>- Leña</li> <li>- Astillas</li> <li>- Briquetas</li> <li>- Carbón vegetal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcoholes</li> <li>- Biohidrocarburos</li> <li>- Aceites vegetales y ésteres derivados</li> <li>- Aceites de pirólisis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gas de gasógeno</li> <li>- Biogás</li> <li>- Hidrógeno</li> </ul>

Fuente: GONZÁLEZ, Jaime. *Energías renovables*. p. 242 – 279.

La elaboración de combustibles empleando biomasa vegetal alcanzaría beneficiar la realidad energética mundial con resultados significativos en el medio ambiente y en la sociedad. Esto se lograría de las siguientes formas:<sup>4</sup>

- Contribuiría en la reducción del uso de combustibles fósiles, responsables de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Se producen a partir de cultivos agrícolas propios de una región, permitiendo la producción local.
- Facilitan la disponibilidad de combustible independientemente de las políticas de importación y fluctuaciones en el precio del petróleo.
- Disminuiría las emisiones nocivas para los seres vivos, el agua y el aire.

<sup>4</sup> HERNÁNDEZ, Marco Antonio. *Verdades y mitos de los biocombustibles*. (Revista Elementos, 2008). p.15.

### **2.1.3.2.1. Etapas de desarrollo de los biocombustibles**

Según la etapa de desarrollo de los biocombustibles, estos se dividen en primera, segunda y tercera generación. Los biocombustibles actualmente usados y producidos en grandes cantidades corresponden a la primera generación. Los de segunda generación son producidos, pero aún poseen altos costos y dificultades técnicas; por lo cual aún no se han aplicado a gran escala. Finalmente, la tercera generación aún se encuentra en una fase de investigación y desarrollo.<sup>5</sup>

En la figura 1 se presentan distintas fuentes y procesos de producción de biocombustibles divididos dentro de las tres distintas generaciones. En este diagrama no se presenta la biomasa, debido que, generalmente es aprovechado dentro de la combustión y no requiere de algún proceso intermedio.

La primera generación de biocombustibles son producidos de cultivos energéticos que, también poseen la cualidad de ser alimenticios; como: la caña de azúcar, remolacha, maíz, trigo, semillas soya y girasol. Esta primera generación se ve limitada, debido a la competencia de tierras entre cultivos energéticos y cultivos alimenticios. Sin embargo, siendo esta una limitación, también provocó la necesidad del desarrollo de las siguientes generaciones.

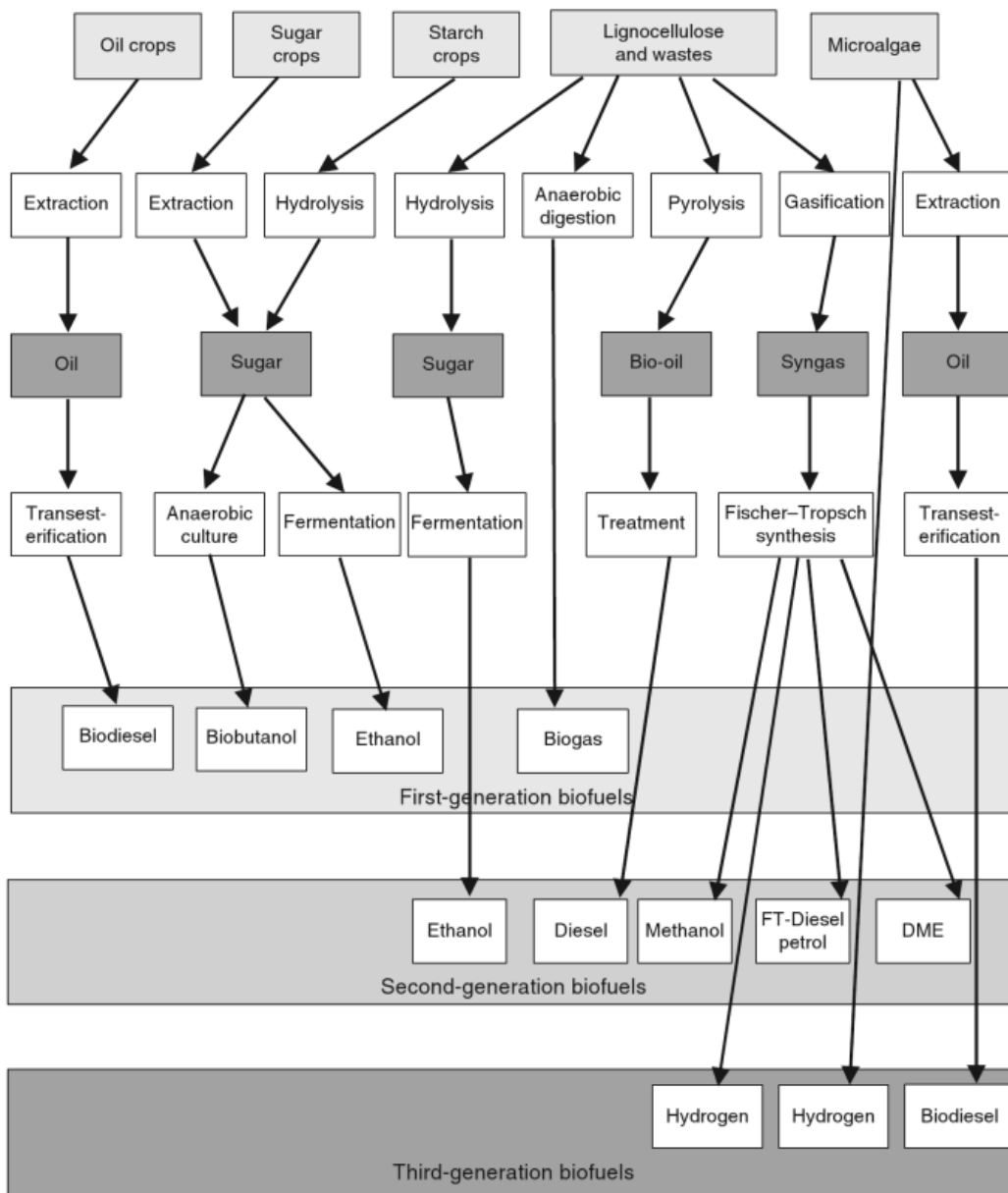
La segunda generación de biocombustibles se produce de biomasa de lignocelulosa y desechos orgánicos de otro tipo. Se obtiene un mayor rendimiento por hectárea incluyendo el aprovechamiento primario de la

---

<sup>5</sup> SCRAGG, Alan H. *Biofuels: production, application and development*. (Inglaterra: CAB International). p. 62 – 64.

cosecha, del cultivo de donde proviene. Esto significa que el mayor rendimiento implica aversión de la competencia de los biocombustibles con los cultivos alimenticios.

Figura 1. **Fuentes y procesos de producción de biocombustibles**



Fuente: *Biofuels: Production, application and development*. p. 63.

La tercera generación de biocombustibles proviene del aprovechamiento de microalgas para la obtención de hidrógeno y aceite; dando así una nula competitividad con cultivos alimenticios.

## **2.2. *Acrocomia aculeata***

También conocida como coyol, mbocayá, palma de vino, o nuez de Paraguay. La *Acrocomia aculeata* pertenece a la familia de las *arecaceas* y es una palmera silvestre productora de aceite nativa de ciertas zonas tropicales de América. Crecen de forma silvestre desde México y las Antillas hasta Argentina, aislada o en palmerales densos.

Se caracteriza por su gran rusticidad debido a su adaptabilidad a diferentes condiciones ecológicas, climáticas y edafológicas. También se le suma su resistencia a enfermedades y plagas, al fuego y a los agroquímicos modernos. Debido a esto la *Acrocomia* ha sido identificada como una materia prima prometedora para biocombustibles sólidos y líquidos.<sup>6</sup>

### **2.2.1. Morfología de la *Acrocomia*<sup>7</sup>**

La estructura de la *Acrocomia* posee semejanza a las palmeras de la región; en cambio el fruto posee una constitución única que lo hace especial. A continuación se dará detalle de la morfología de la *Acrocomia aculeata*.

---

<sup>6</sup> Acrocomiasolutions S.R.L. ¿Qué es *Acrocomia aculeata*? <http://acrocomiasolutions.com/es/acrocomia/descripcion-botanica>. Consulta: 21 de octubre de 2013.

<sup>7</sup> Ibid.

### 2.2.1.1. Forma

Es una palmera mediana de 6 - 15 metros de altura y una copa que posee un diámetro de 3 - 5 metros y está compuesto de 20 - 25 hojas. El tronco posee un diámetro de 0,20 - 0,40 metros, es recto, cilíndrico, de color gris claro, con superficie lisa o tortuosa. Casi siempre el tronco tiene espinas agudas largas y aplanadas, negras de hasta 15 centímetros de longitud dispuestas en hileras horizontales.

Figura 2. **Planta de *Acrocomia aculeata***



Fuente: finca San Miguel, municipio de Sanarate, El Progreso.

### **2.2.1.2. Hojas**

Las hojas son pinnadas, alternas y extendidas al ápice del tronco. Poseen un color característico verde y miden de 2 a 4 metros de largo. El raquis está provisto de numerosas espinas castaño oscuras de 2 a 6 centímetros de longitud.

### **2.2.1.3. Flores y frutos**

Consiste en una panícula, racimo ramificado, de 50 - 150 centímetros de largo, inserta entre las bases de las hojas. Está cubierta por una espata espinosa de 1 – 1,7 metros de largo por 20 – 40 centímetros de ancho.

El coyol, nombre que comúnmente se le da al fruto, es redondeado, carnosofibroso, de 25 - 50 milímetros de diámetro, de color verde oliváceo o amarillo acaramelado. Posee agradable fragancia, cáscara lisa, brillante y frágil.

Los frutos aparecen en racimos desde 200 hasta 700 frutos por racimo; una palmera adulta bien desarrollada produce de 4 hasta 13 racimos anuales, dependiendo de la diversidad genética y las condiciones de la región.

La figura 3 ilustra las distintas partes que componen el fruto. Se pueden observar las siguientes partes:

- Pericarpio: cascarilla, parte exterior del fruto de la planta.
- Mesocarpio: capa media carnososa y muy aceitosa.

- Exocarpio: capa que protege la almendra del fruto. También es llamado coco.
- Endocarpio: almendra interior que también es aceitosa.

Figura 3. Partes del coyol: fruto y vista transversal



Fuente: *Acrocomiasolutions - partes del fruto*. (Internet, <http://acrocomiasolutions.com/es/acrocomia/descripcion-botanica>. Consulta: 21 de octubre de 2013.)

### 2.2.2. Rendimientos potenciales

La *Acrocomia* comparte con la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) la peculiaridad de proporcionar dos tipos de aceites. Debido a esto, no debe sorprender que la productividad por unidad de superficie sea mucho mayor que los cultivos tradicionales de los trópicos y subtrópicos.

Estudios realizados por Agroenergías SRL<sup>8</sup> han demostrado que la *Acrocomia aculeata* posee cualidades altamente competitivas respecto otros

<sup>8</sup> BOHN, Eduardo. *La palmera mbocayá o coquito (Acrocomia aculeata) como nuevo cultivo oleaginoso*. Consulta: 21 de octubre de 2013)



cultivos oleaginosos (tabla III) y es un componente potencial para una economía sostenible futura para casi todos los países latinoamericanos.

Tabla III. **Comparación de palma aceitera, *Acrocomia* y *Jatropha***

	<b>Palma aceitera</b>	<b>Acrocomia</b>	<b>Jatropha</b>
<b>Localización</b>			
<b>Regiones adecuadas de crecimiento</b>	Tierras bajas tropicales	Trópicos y subtropicos	Trópicos y subtropicos
<b>Temperaturas promedio</b>	22 - 32 °C	18 - 32 °C	20 - 28 °C
<b>Resistencia al frío</b>	No crece bajo 15 °C	Hasta -3 °C	No tolera heladas
<b>Resistencia a sequía</b>	Ninguna	Sí, hasta 6 meses	Sí, semiárido posible
<b>Demanda de agua para producción</b>	2 000 – 30 00 mm	> 800 mm	900 – 1 500 mm
<b>Suelo</b>	Bien drenado	Bien drenado - marginal	Bien drenado – marginal
<b>Propagación</b>			
<b>Propagación</b>	Hibridación, cultivo de tejidos	Semillas	Semillas, vegetativa (estacas)
<b>Agronomía</b>			
<b>Rendimiento de aceites</b>	4 000 – 10 000 kg/ha	1 500 – 5 000 kg/ha	400 – 1 500 kg/ha
<b>Nivel de intensidad (fertilizantes, cuidados culturales)</b>	Muy alto	Bajo a medio	Bajo a medio alto
<b>Presión de plagas y enfermedades</b>	Alta	Baja a mediana	Mediana a alta
<b>Ciclo de vida</b>	10 – 20 años	Hasta 70 años	No reportado
<b>Desventajas</b>	Crecimiento rápido en altura, poca adaptación a otras condiciones.	Madurez dispar de frutas, dormencia de semillas.	Toxicidad, excesiva mano de obra requerida, bajos rendimientos comparativos.
<b>Utilización de frutos</b>	Comida, combustibles, oleoquímica.	Comida, combustibles, oleoquímica.	Combustible y fertilizante.

Fuente: BOHN, Eduardo. *La palmera mbocayá o coquito (Acrocomia aculeata) como nuevo cultivo oleaginoso*. (Internet, [www. engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/palmera- mbocaya-coquito-acrocomia.htm](http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/palmera-mbocaya-coquito-acrocomia.htm), Consulta: 21 de octubre de 2013)



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Las variables de caracterización energética de los distintos subproductos del coyol se realizarán con base en lo sugerido por las normas:

- ISO 17225-1: Biocombustibles sólidos. Clases y especificaciones de los combustibles – Parte 1: requisitos generales.
- ASTM D7544: Especificación estándar para biocombustibles líquidos de pirólisis.

##### 3.1.1.1. ISO 17225-1 – Variables sugeridas de evaluación energética

A continuación se listan las variables sugeridas para la evaluación energética de los subproductos sólidos del fruto.

Tabla IV. ISO 17225-1 - Variables de especificación

<b>Variables</b>	<b>Unidades</b>
Poder calorífico bruto [Q]	<i><b>kJ/kg</b></i>
Humedad [M]	<i><b>w – %</b></i>
Cenizas [A]	<i><b>w – %</b></i>

Continuación de la tabla IV.

Densidad aparente [BD]	<i>kg/m<sup>3</sup></i>
Cloro [Cl]	<i>w – %</i>
Carbón [C]	<i>w – %</i>
Azufre [S]	<i>w – %</i>

Fuente: elaboración propia, con base en la ISO 17225-1 – parte 1.

### 3.1.1.2. ASTM D7544 – Variables sugeridas de evaluación energética

A continuación se listan las variables sugeridas para la evaluación energética de los subproductos líquidos del fruto.

Tabla V. **ASTM D7544 - Variables de especificación**

<b>Variables</b>	<b>Unidades</b>
Poder calorífico bruto [Q]	<i>kJ/kg</i>
Contenido de humedad [W]	<i>w – %</i>
Viscosidad cinemática a 40°C [Vc]	<i>mm<sup>2</sup>/s</i>
Densidad [D]	<i>w – %</i>
Cenizas [A]	<i>w – %</i>
pH [pH]	–
Flash Point [FP]	<i>°C</i>

Fuente: elaboración propia, con base en la ASTM D7544

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

La caracterización energética de los distintos subproductos del coyol consiste en una investigación de tipo experimental cuantitativo; debido que, con base en la hipótesis planteada, se evaluarán las variables obtenidas con un tratamiento estadístico.

Figura 4. **Delimitación del campo de estudio**



Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: José Guillermo Villafuerte Díaz
- Asesor: Ing. Qco. M.A. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
- Técnicos laboratoristas del Laboratorio Proverde.
- Jornaleros de empresa Alto Pino

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Insumos y equipo requerido para la obtención de los distintos subproductos del coyol y su posterior almacenamiento.

- Frutos de *Acrocomia aculeata*
- Prensa de mesa
- Sierra manual con marco
- Prensa extrusora marca Piteba
- Bolsas grandes Ziploc® (para subproductos sólidos)
- Botella de PET de 100 mL (para subproductos líquidos)

Equipos empleados para caracterización energética de los subproductos, así como la evaluación de las propiedades físicas y químicas.

- Mortero de diamonita, disminución de tamaño del exocarpio.
- Molino RETSCH, disminución de tamaño de partícula.
- Mufla Thermolyne, determinación de porcentaje en peso de ceniza.
- Calorímetro IkaWerke, determinación del poder calorífico.
- Leco SC-144DR, determinación de azufre y carbono.
- Sartorius MA 150, determinación de porcentaje de humedad (sólidos).

- Titulador Karl Fischer 841 - Metrohm, determinación de agua (humedad) en aceites.
- pH/Ion Meter Metrohm, determinación de pH y cloro.
- Petrotest PMA 4, determinador de *flash point*.
- Picnómetro de 100 mL, determinación de densidad.
- SVM 3000, viscosidad cinemática.

Equipos e instrumentos que siempre acompañarán al investigador para documentar y evidenciar los procedimientos y resultados.

- Balanza analítica
- Computadora
- Reloj
- Cámara fotográfica

### **3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa**

Durante la investigación, ambos enfoques serán muy valiosos para la obtención de información. El enfoque cualitativo estará ligado con la obtención y selección de frutos en campo. Esto debido que los frutos a evaluar deberán estar en el punto de madurez deseado. Por otro lado, se empleará un enfoque cuantitativo para la evaluación de las propiedades físicas y químicas; y así, lograr la caracterización energética de los coyoles de la *Acrocomia aculeata*.

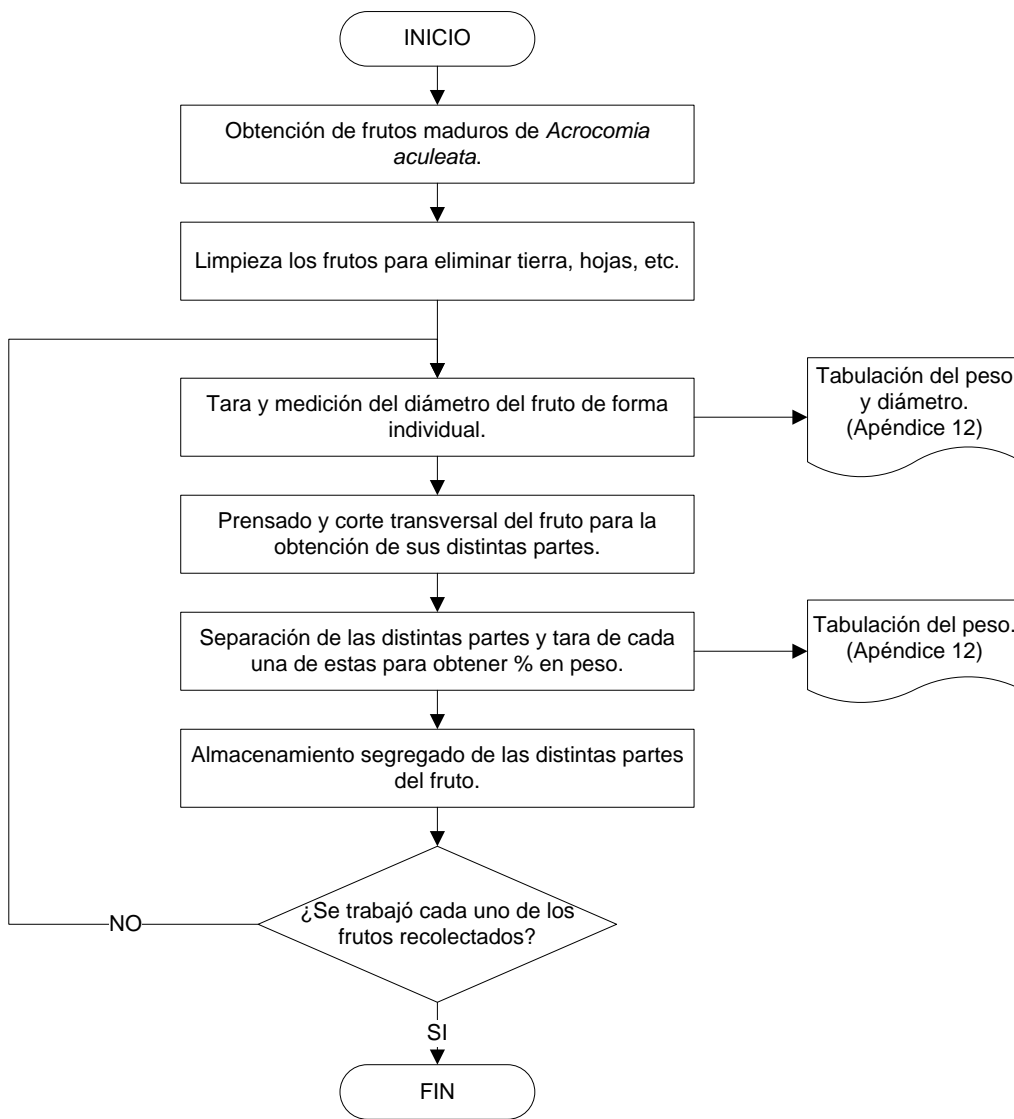
### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

A continuación se detalla el procedimiento seguido para cada uno de los procesos de obtención de partes del coyol, de aceites y evaluación de las propiedades físicas y químicas de los subproductos obtenidos.

### 3.6.1. Método de obtención de las distintas partes del coyol

El diagrama de flujo a continuación detalla el método de obtención de las distintas partes del coyol.

Figura 5. Obtención de las distintas partes del coyol



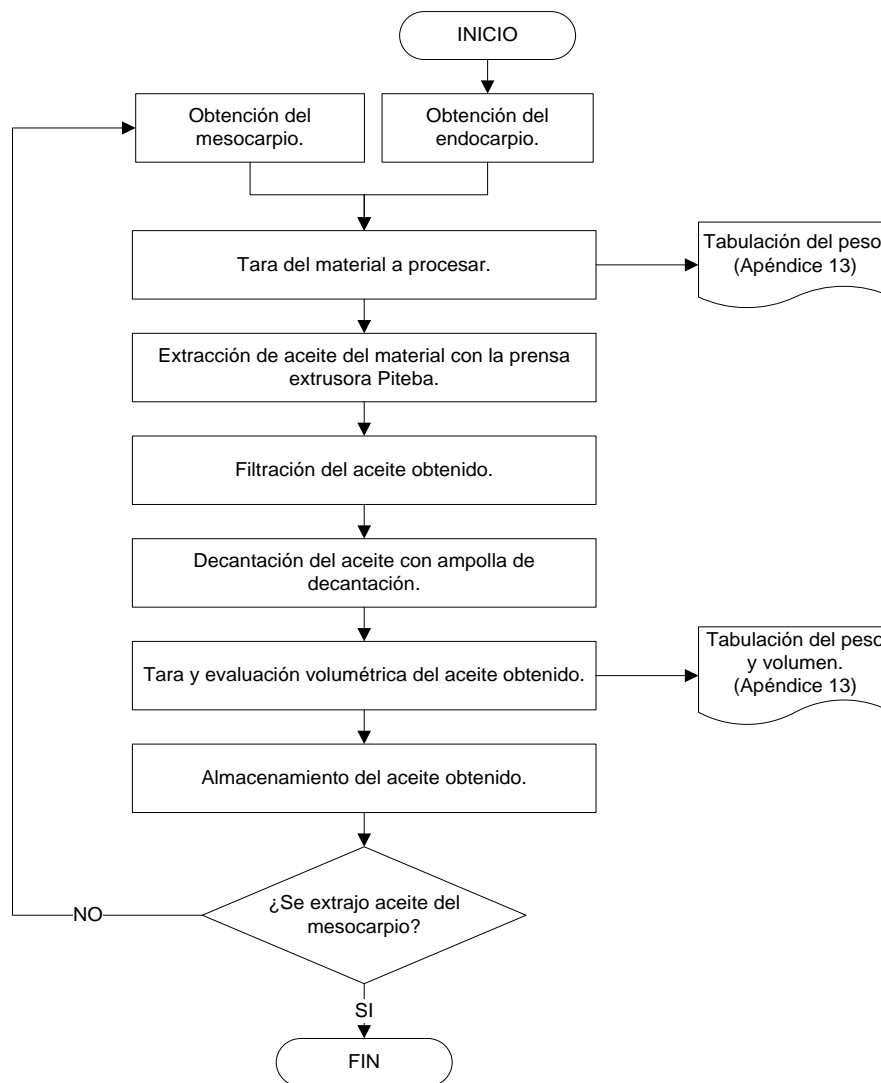
Fuente: elaboración propia.



### 3.6.1.1. Método de obtención de aceite del mesocarpio y endocarpio

El diagrama de flujo a continuación detalla el método de obtención del aceite las distintas partes oleaginosas del coyol.

Figura 6. Obtención de aceite del mesocarpio y endocarpio

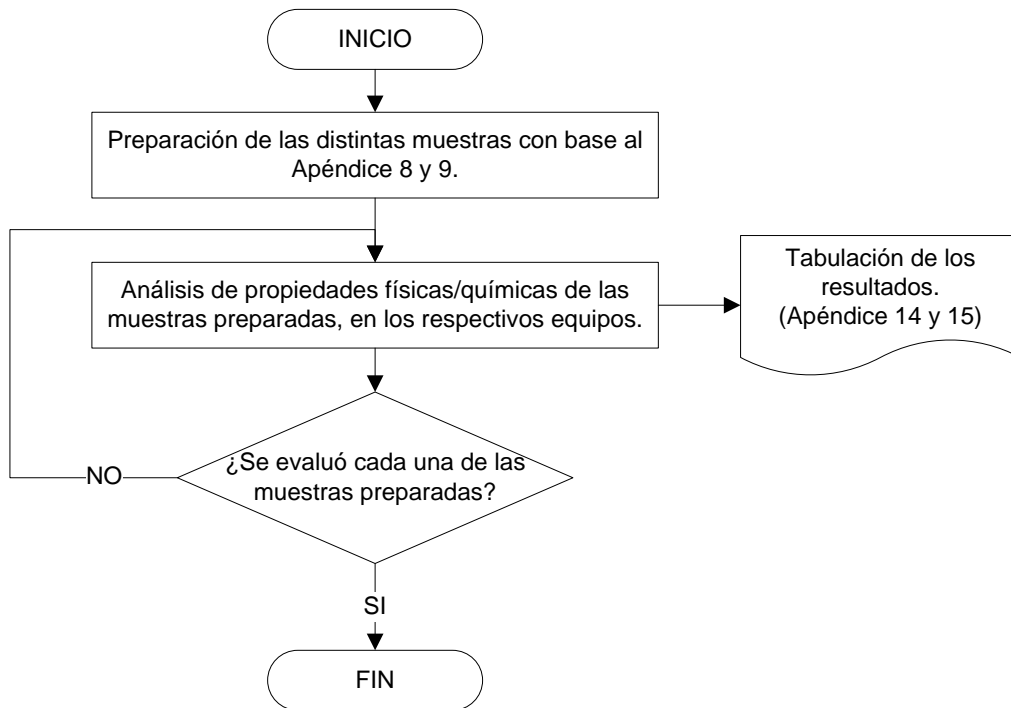


Fuente: elaboración propia.

### 3.6.2. Método de evaluación de propiedades físicas y químicas

A continuación se detalla el proceso de evaluación de las propiedades físicas y químicas de los distintos subproductos del coyol.

Figura 7. Evaluación de propiedades físicas/químicas



Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

La información recabada será tabulada y analizada con base en los requerimientos planteados en la metodología del presente trabajo de investigación.

#### **3.7.1. Tabulación de la información**

Las tablas para la tabulación de la información obtenida en la investigación se encuentran en el apéndice 12. A continuación se mencionan las tablas disponibles para la tabulación de resultados.

- Resultados de pesajes al segregar las partes del coyol: apéndice 1.
- Resultados de pesajes y volúmenes en la extracción de aceite: apéndice 2.
- Resultados de evaluación de propiedades físicas/químicas a los subproductos sólidos: anexo 1.
- Resultados de evaluación de propiedades físicas/químicas a los subproductos líquidos: anexo 1.

### **3.8. Análisis estadístico**

En búsqueda de poseer representatividad estadística, deseada en el presente trabajo de investigación, se realizaron los siguientes análisis estadísticos.

### **3.8.1. Plan de muestreo**

El plan de muestreo realizado tiene como objetivo suministrar información significativa y representativa sobre las características energéticas de la población de frutos de *Acrocomia aculeata* existentes de forma silvestre en la finca San Miguel.

#### **3.8.1.1. Selección de frutos: muestreo bietápico**

Este tipo de muestreo se realizó de forma aleatoria y consiste en tomar en una primera etapa conglomerados (unidades primarias, psu), en este caso plantas de *Acrocomia*, y a continuación tomar un número específico de unidades de cada conglomerado seleccionado (unidades secundarias, ssu). Debido a esto se le denomina muestreo bietápico o en dos etapas.

Los conglomerados corresponden al conjunto de individuos de la muestra que pertenecen a una misma unidad primaria.

- Unidades psu: 20 plantas de *Acrocomia aculeata*. Estas fueron seleccionadas en un recorrido realizado el 1 de octubre del 2013 en la finca San Miguel, por medio de un muestreo aleatorio simple de 35 plantas que poseían racimos de frutos. En total se localizaron 47 plantas de *Acrocomia* en el recorrido. En la Figura 8 se muestra el esquema de las 35 plantas empleadas.
- Unidades ssu: 20 frutos. Los frutos se obtuvieron a partir de un muestreo aleatorio simple de los racimos, los cuales se cortaron completos de las plantas. Luego se depuraron los frutos en malas condiciones; y a partir

de los remanentes, se seleccionaron aleatoriamente los frutos. La figura 9 muestra los frutos provenientes de un racimo de *Acrocomia aculeata*.

Figura 8. **Localización de plantas de *Acrocomia aculeata***



Fuente: elaboración propia con Google Earth®

Figura 9. **Frutos de *Acrocomia aculeata***



Fuente: finca San Miguel, municipio de Sanarate, El Progreso.

### 3.8.1.2. Análisis de laboratorio: número de repeticiones

Para que los resultados obtenidos en la caracterización energética de los subproductos de la *Acrocomia* sean significativos, se calculó el número de repeticiones de los análisis de laboratorio. Debido al costo de las pruebas de laboratorio, se definió un nivel de confianza del 80 por ciento para cumplir con la significancia de los resultados y simultáneamente no comprometer la factibilidad técnica del proyecto de investigación.

Con el nivel de confianza del 80 por ciento se realizó una corrida prueba de poder calorífico a tres cáscaras (pericarpio) a distintos frutos de coyol. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla VI.

Tabla VI. **Resultados de poder calorífico preliminares**

<b>N</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Poder calorífico [kJ/kg]</b>	14 910	17 151	17 204

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, con esos tres resultados preliminares, se prosiguió a calcular el tamaño de muestra a un nivel de confianza del 80 por ciento. Con base en los cálculos detallados en el anexo II, se obtuvo que el tamaño de muestras requeridas es de 3.

### 3.8.2. Tratamiento estadístico de datos

Los datos obtenidos a lo largo del proceso de obtención de las distintas partes y subproductos del coyol de los análisis de las propiedades físicas y químicas; fueron tratados de la siguiente manera:

#### 3.8.2.1. Cálculos estadísticos

- Cálculo de la media muestral

$$\text{Media muestral: } \bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- $\bar{X}$  media muestral
- $X_i$  valor de la repetición  $i$
- $N$  número total de datos  $x_i$

- Cálculo de la desviación estándar muestral

$$\text{Desviación estándar muestral: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- $\sigma$  desviación estándar muestral
- $X_i$  valor de la repetición  $i$

- Cálculo del error típico de la media

Error típico de la media:  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$  (Ecuación 3)

Donde:

$\sigma_{\bar{x}}$  error típico de la media

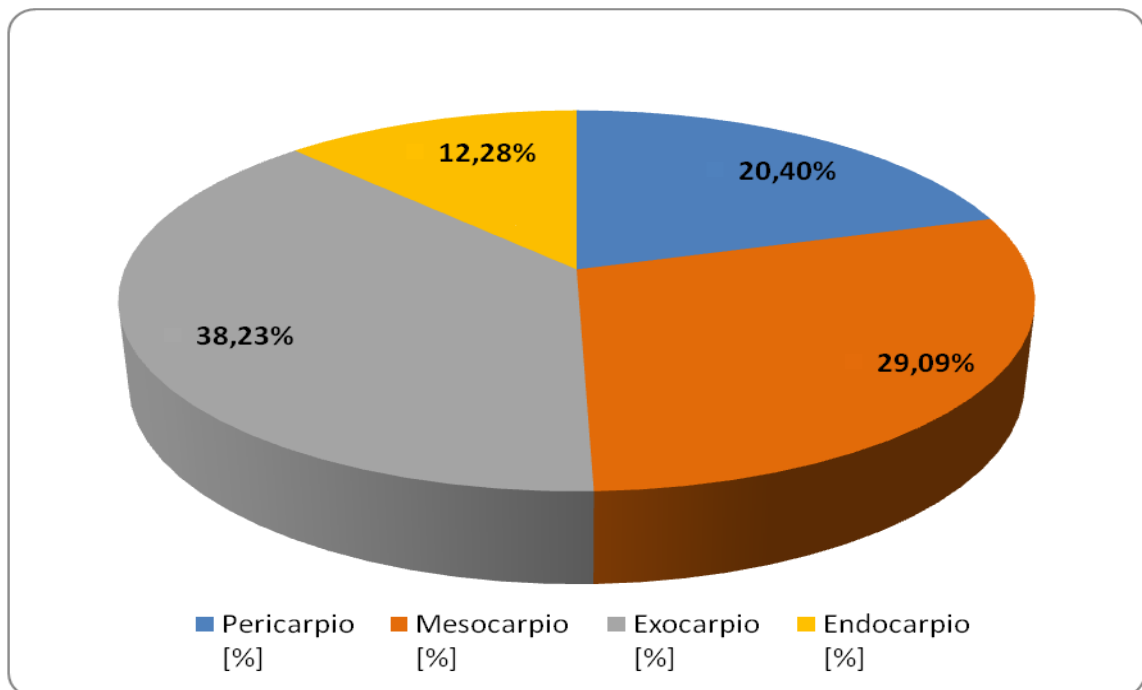


## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultado No. 1. Porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol

Con base al objetivo 1 se presenta en la figura 10, el porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol.

Figura 10. **Porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol**



Fuente: elaboración propia, con base en datos del apéndice 3.

#### 4.2. Resultado No. 2. Porcentaje de extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio por medio de una prensa extrusora

Con base al objetivo 2 se presenta a continuación el porcentaje de extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio.

Tabla VII. Rendimiento de extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio por medio de una prensa extrusora

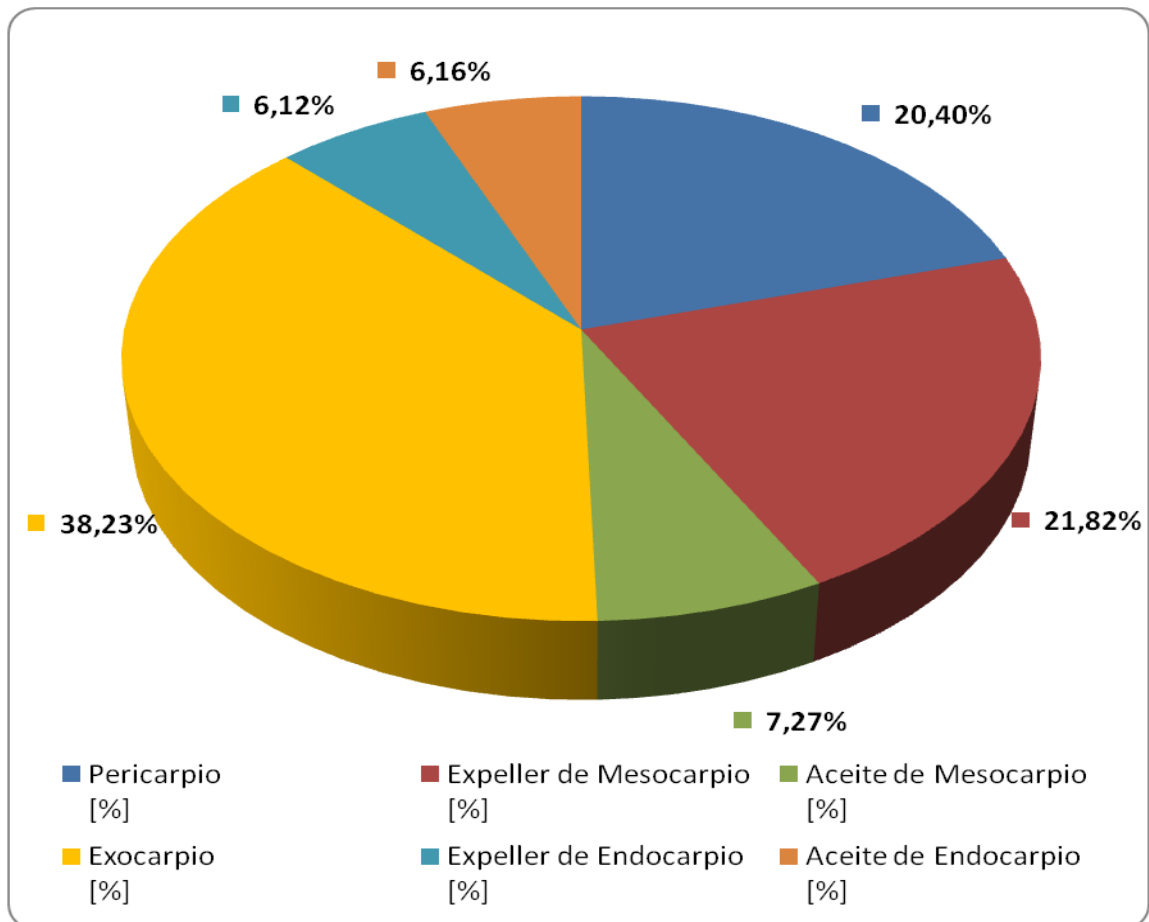
Parte	% de extracción		
	% m/m		
Mesocarpio	24,998	±	0,362
Endocarpio	50,140	±	1,652

Fuente: elaboración propia, con base en datos del apéndice 2.

#### 4.3. Resultado No. 3. Porcentaje en peso promedio de los distintos subproductos del coyol

Con base a los objetivos 1 y 2 se presenta a continuación el porcentaje peso promedio de los distintos subproductos del coyol.

Figura 11. Porcentaje en peso promedio de los distintos subproductos del coyol



Fuente: elaboración propia, con base en datos del apéndice 5.

#### 4.4. Resultado No. 4. Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos sólidos

Con base al objetivo 3 se presenta a continuación la caracterización energética de los subproductos sólidos del fruto.

Tabla VIII. Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos sólidos

Subproducto \Propiedad	Poder calorífico bruto	Humedad	Ceniza	Densidad aparente	Cloro	Carbono	Azufre
	kJ/kg	w - %	w - %	kg/m <sup>3</sup>	w - %	w - %	w - %
<b>Pericarpio</b>	16 781 ± 128,97	12,57 ± 0,30	1,55 ± 0,1	338,79 ± 3,81	0,10 ± 0	57,87 ± 0,16	0,16 ± 0,02
<b>Expeller de mesocarpio</b>	17 448 ± 251,73	4,43 ± 0,07	3,52 ± 0,06	160,88 ± 9,35	0,14 ± 0	53,51 ± 1,18	0,19 ± 0,03
<b>Exocarpio</b>	18 868,67 ± 215,5	6,32 ± 0,24	1,36 ± 0,05	752,35 ± 25,84	0,07 ± 0	64,88 ± 0,46	0,15 ± 0,01
<b>Expeller de endocarpio</b>	23 041,33 ± 222,39	20,05 ± 0,05	0,86 ± 0,05	125,37 ± 3,61	0,08 ± 0,01	71,6 ± 2,61	0,12 ± 0,02

Fuente: elaboración propia, con base al anexo 1.

#### 4.5. Resultado No. 5. Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos líquidos

Con base al objetivo 4 se presenta a continuación la caracterización energética de los subproductos líquidos del fruto.

Tabla IX. Caracterización de propiedades energéticas de los subproductos líquidos

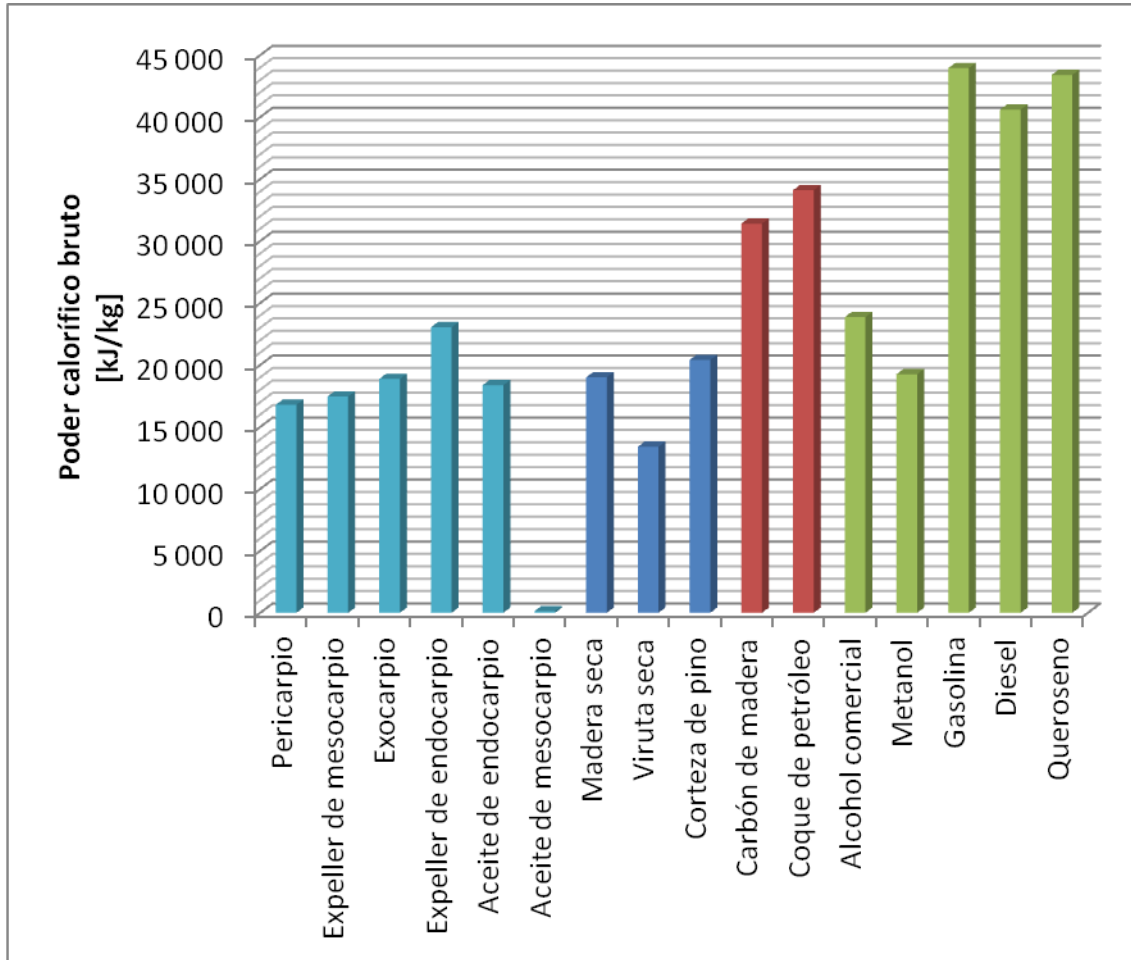
Subproducto \Propiedad	Poder calorífico bruto	Humedad	Viscosidad cinemática a 40°C	Densidad	Ceniza	pH	Flash Point
	kJ/kg	w - %	mm <sup>2</sup> /s	kg/m <sup>3</sup>	w - %	-	°C
Aceite de endocarpio	18 366 ± 48,77	89,53 ± 0,47	0,18 ± 0,01	1 043,33 ± 1,34	1,08 ± 0,01	3 ± 0	-
Aceite de mesocarpio	126,33 ± 12,86	95,03 ± 0,51	0,49 ± 0,01	1 152,33 ± 9,03	0,13 ± 0,02	5 ± 0	105,25 ± 2,77

Fuente: elaboración propia, con base al anexo 1.

#### 4.6. Resultado No. 6. Matriz energética comparativa: subproductos del coyol versus combustibles fósiles y otros biocombustibles

Con base al objetivo 5 se presenta una matriz energética comparativa entre los subproductos del coyol versus los combustibles fósiles y otros biocombustibles.

Figura 12. **Matriz energética comparativa: subproductos del coyol versus combustibles fósiles y otros biocombustibles**



Fuente: elaboración propia, con base al apéndice 6 y anexo 6.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente proyecto de investigación, a nivel de trabajo de graduación, consistió en realizar una caracterización y evaluación del potencial de aprovechamiento energético de los subproductos obtenidos del coyol (*Acrocomia aculeata*).

La materia prima, frutos del coyol, fue recolectada en finca San Miguel ubicada en el municipio de Sanarate, departamento de El Progreso; perteneciente al nororiente de Guatemala.

Luego de recolectar la materia prima bajo un muestreo bietápico, se procedió a la tabulación del diámetro, con un vernier, y peso del fruto entero, con una balanza analítica. Seguidamente se segregó las distintas partes del fruto: pericarpio, mesocarpio, exocarpio y endocarpio; y se tabuló el peso de cada una. Dicho trabajo se realizó con cada uno de los trescientos frutos seleccionados a partir del muestreo. El apéndice 3 muestra las fotografías de la tabulación y segregación de las partes. También muestra la sección transversal de un coyol y las partes segregadas.

La figura 10 del resultado 1 presenta un gráfico circular que plasma el porcentaje en peso promedio de las distintas partes del fruto. El mayor porcentaje en peso lo posee el exocarpio, también conocido como coco, con un 38,23 por ciento. El exocarpio es una carcasa dura que protege el endocarpio, o la almendra, que le corresponde un 12,28 por ciento, el menor porcentaje en peso. En los porcentajes intermedios está el pericarpio, o la cáscara, que posee un 20,40 por ciento en peso y le sigue el mesocarpio, o la pulpa, que posee un

29,09 por ciento en peso. Se evaluó la representatividad de los promedios a través del análisis del error típico de media de los datos brutos. El apéndice 4 representa dichos errores típicos y se obtuvo que la medias muestrales de las distintas partes del fruto posea una dispersión no mayor del 3,29 por ciento respecto a las medias poblacionales. Siendo esta desviación representativa de la naturalidad estadística de los datos y aceptable para fines del presente trabajo de investigación.

Con el material procesado se realizaron las extracciones de aceite del mesocarpio y endocarpio de forma manual por medio de una prensa extrusora. De dicho proceso extractivo se obtuvo como productos el aceite y el expeller de las partes en cuestión. Se realizó tres distintas extracciones para cada una de las partes y se empleó inicialmente 850 g para el mesocarpio y 350 gramos para el endocarpio. Luego de cada proceso extractivo se tabuló el peso del expeller y el peso y volumen del aceite.

La tabla VIII del resultado 2 presenta el rendimiento de extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio. El mesocarpio obtuvo un rendimiento extractivo de  $24,998 \pm 0,362$  por ciento en peso; mientras el endocarpio obtuvo un mayor rendimiento extractivo,  $50,140 \pm 1,652$  por ciento en peso. Observando que la desviación de los datos no es mayor al 3,29 por ciento de la media.

Habiendo segregado exitosamente los distintos subproductos del coyol por medios exclusivamente mecánicos; se obtuvo el porcentaje en peso promedio de los distintos subproductos del coyol, tal como muestra la figura 11 del resultado 3. Los porcentajes en peso son similares a los obtenidos en la figura 10 con la diferencia que, ahora se detalla el porcentaje en peso, para el endocarpio y mesocarpio, de los aceites y expellers en razón al peso del fruto



total. Obteniendo un 7,27 por ciento en peso del aceite del mesocarpio y 6,12 por ciento en peso del aceite del endocarpio. Dando así un total de 13,39 por ciento en peso de aceite en dicho cultivo oleaginoso.

La tabla IX del resultado 4 presenta la caracterización energética de los subproductos sólidos. La Norma ISO 17225-1 de clases y especificaciones de biocombustibles sólidos sirvió como fundamento para nombrar las variables de especificación empleadas para la caracterización energética. Dichas variables representan el poder calorífico bruto, humedad, ceniza, densidad aparente, cloro, carbono y azufre. Existen ciertas variables cuyo resultado dependería de las condiciones del experimento tal como la humedad y la densidad aparente. El poder calorífico bruto, ceniza, cloro, carbono y azufre dependería directamente de la naturaleza del material evaluado.

Tanto para el pericarpio, expeller de mesocarpio, exocarpio y expeller de endocarpio presentaron un porcentaje en peso de cenizas menor al 3,60 por ciento. El porcentaje en cloro para los subproductos sólidos fue menor al 0,15 por ciento. El porcentaje en azufre fue menor del 0,20 por ciento.

La tabla X del resultado 5 presenta la caracterización energética de los subproductos líquidos. La Norma ASTM D7544 para la especificación estándar para biocombustibles líquidos de pirolisis, también sirvió como fundamento para establecer las variables de especificación empleadas. Dichas variables representan el poder calorífico bruto, contenido de humedad, viscosidad cinemática a 40 grados centígrados, densidad, cenizas, pH y *flash point*.

Los porcentajes de humedad para los aceites del endocarpio y mesocarpio dieron valores de  $89,53 \pm 0,47\%$  y  $95,03 \pm 0,51\%$ , respectivamente. Dichos valores implican que los aceites poseían gran porcentaje en peso de agua la

cual pudo desviar los resultados obtenidos. La densidad de los aceites de endocarpio y mesocarpio fue de  $1\ 043,33 \pm 1,34$  kilogramos por metro cúbico y  $1\ 152,33 \pm 9,03$ , respectivamente; siendo los aceites más densos que el agua. La viscosidad cinemática a 40 grados centígrados, presentó valores menores de 0,50 milímetros cuadrados por segundo siendo estos aceites más fluidos que el agua a dicha temperatura.

El porcentaje de cenizas fue menor al 1,05 por ciento siendo el mayor para el aceite de endocarpio con un  $1,08 \pm 0,01$  por ciento y del mesocarpio de  $0,13 \pm 0,02$  por ciento. Ambos aceites poseían un pH ácido debido que el aceite de mesocarpio obtuvo un pH de 5 y de endocarpio obtuvo un pH de 3.

El *flash point*, el aceite de mesocarpio presentó una temperatura de  $105,25 \pm 2,77$  grados centígrados, lo cual establece que a dicha temperatura el aceite produce vapores que podrían combustionar con el aire. Durante el análisis no fue posible determinar el *flash point* del aceite de endocarpio debido que este no produjo vapores detectables por el equipo.

Respecto los poderes caloríficos brutos de los subproductos del coyol, estos se muestran en las tablas IX y X. Para fines ilustrativos, estos también se presentan en un marco comparativo en la figura 12 del resultado 6. Los poderes caloríficos de los subproductos del coyol oscilan en el rango de 16 700 kilojoule por kilogramo del pericarpio a 23 000 kilojoule por kilogramo del expeller de endocarpio; con excepción del aceite del mesocarpio que presentó un poder calorífico de  $126,33 \pm 12,86$  kilojoule por kilogramo. En el gráfico de barras es posible visualizar la magnitud del poder calorífico bruto de los subproductos del coyol y otros combustibles fósiles y biocombustibles.

Los poderes caloríficos de los subproductos del coyol se asemejan a los poderes caloríficos de maderas y residuos agrícolas, como la madera seca, viruta seca y corteza de pino, que poseen poderes caloríficos de 19 000 kilojoule por kilogramo, 13 400 kilojoule por kilogramo, y 20 400 kilojoule por kilogramo, respectivamente. Dichos valores demuestran la competitividad energética de los subproductos del coyol con fuentes naturales como las mencionadas anteriormente.

Sin embargo, los subproductos del coyol, por su naturaleza, no son del todo competitivos con combustibles fósiles sólidos como el carbón y el coque de petróleo; ya que estos últimos superan los 30 000 kilojoule por kilogramo. De igual forma con combustibles líquidos como la gasolina, diésel y el queroseno, cuyo poder calorífico supera los 40 000 kilojoule por kilogramo. Sin embargo, con el alcohol comercial y el metanol sí resultan competitivos dado que sus poderes caloríficos son de 23 860 kilojoule por kilogramo y 19 250 kilojoule por kilogramo, respectivamente.

Dentro del marco del desarrollo sostenible energético no es posible hablar de la sustitución completa de los combustibles fósiles debido la capacidad de estos de almacenar unidades de energía de forma tan compacta. Sin embargo, es posible sustituir parcialmente el uso de estos con combustibles provenientes de fuentes renovables y así disminuir el impacto ambiental/energético sobre los recursos naturales.

Cabe resaltar que con una plantación energética de *Acrocomia aculeata* es posible estimar un rendimiento anual productivo de 22 toneladas por hectárea al año; que implicaría un aproximado de 373 882 megajoule por hectárea de energía, considerando la suma de los poderes caloríficos de los subproductos del fruto. Dicha energía es equivalente a 19,678 toneladas de

leña. No obstante, cabe mencionar, que el uso de leña implicaría la tala de árboles y una plantación energética de *Acrocomia aculeata* ofrecería producciones anuales a lo largo de su vida útil de 50 años, aproximadamente.

Finalmente, bajo un proyecto de plantación energética, la *Acrocomia aculeata* presenta rendimientos competitivos para su aprovechamiento energético respecto a otros combustibles fósiles y biocombustibles. Una plantación energética en Guatemala promovería la disminución del uso de combustibles fósiles por medio de lotes energéticos renovables anualmente. Promoviendo así el desarrollo sostenible energético del país, con esta fuente emergente de energía amigable con el medio ambiente.

## CONCLUSIONES

1. Los rendimientos extractivos por medio una prensa extrusora del aceite de mesocarpio y endocarpio fueron de  $24,998 \pm 0,362$  por ciento y  $50,140 \pm 1,652$  por ciento, respectivamente.
2. El coyol, fruto oleaginoso, posee en promedio  $13,39$  por ciento en peso de aceite aprovechable por métodos extractivos mecánicos.
3. El subproducto con mayor poder calorífico bruto fue el expeller de endocarpio, siendo este valor de  $23\ 041,33 \pm 222,39$  kilojoule por kilogramo.
4. El subproducto con menor poder calorífico bruto fue el aceite de mesocarpio, siendo este valor de  $126,33 \pm 12,86$  kilojoule por kilogramo.
5. El coyol posee en promedio un poder calorífico bruto total de  $16\ 994,63$  kilojoule por kilogramo.
6. Los poderes caloríficos de los subproductos del coyol son competitivos con maderas, residuos agrícolas y combustibles líquidos como el alcohol comercial y el metanol.
7. Una plantación energética de *Acrocomia aculeata* podría tener una producción de 22 toneladas por hectárea al año; lo cual implicaría un aproximado de 373 882 megajoules por hectárea de energía al año,

equivalente a 19,678 ton de leña. Dando dichos rendimientos a partir del quinto año a lo largo de 50 años sin mayor inversión adicional.

8. La *Acrocomia aculeata* posee un potencial competitivo de aprovechamiento energético como biocombustible respecto otros biocombustibles y combustibles fósiles empleados actualmente.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un trabajo de investigación específico sobre los aceites del mesocarpio y endocarpio con el fin de evaluar métodos óptimos de extracción y tratamiento del aceite. Asimismo, su caracterización por medio de cromatografía gaseosa con espectrometría de masas.
2. Impulsar estudios de evaluación de factibilidad técnica y económica de una plantación de *Acrocomia aculeata* como bosque energético.
3. Continuar estudios de investigación y evaluación de la explotación de las especies presentes dentro de la gran biodiversidad que Guatemala ofrece.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Acrocomiasolutions S.R.L. *Acrocomia*. [en línea]. Paraguay, 2013. <<http://acrocomiasolutions.com/es/>>. [Consulta: 21 de septiembre de 2013].
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Specification for Pyrolysis Liquid Biofuel*. D7544. Estados Unidos de América. 2012.
3. BOHN, Eduardo. *La palmera mbocayá o coquito (Acrocomia aculeata) como nuevo cultivo oleaginoso*. [en línea]. Paraguay, 2011. <<http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/palmera-mbocaya-coquito-acrocomia-t3518/078-p0.htm>> [Consulta: septiembre de 2013].
4. CASTRO DÍAZ-BALART, Fidel. *Energía nuclear y desarrollo*. Buenos Aires: Ediciones Colihué, 1990. 397 p. ISBN: 9789505816613.
5. GONZÁLEZ VELASCO, Jaime. *Energías renovables*. Barcelona: Reverté, 2009. 632 p. ISBN: 9788429179125.
6. HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Marco Antonio. Verdades y mitos de los biocombustibles. *Revista Elementos*: 2008, Vol. 15, núm. 71. 18 p.

7. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II biodiésel*. San José C.R.: IICA, 2010, 331 p. ISBN: 9789292481964.
8. INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. *Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements*. ISO 17225-1. Estados Unidos: abril 2014.
9. ROLDÁN VILORIA, José. *Energías renovables: lo que hay que saber*. Toledano, José Carlos (Coord.). España: Ediciones Paraninfo, 2012. 208 p. ISBN: 9788428333122.
10. VELÁSQUEZ M., Sergio O. *El contexto de la energía renovable en Guatemala y la matriz energética del país. En panel foro estrategia multisectorial para apoyar las microcentrales hidroeléctricas*. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Presentaciones/Contexto%20de%20Energ%C3%ADa%20Renovable%20en%20Guatemala%20y%20Matriz%20Energ%C3%A9tica%20del%20Pa%C3%ADs.pdf>> [Consulta: 21 de septiembre del 2013].
11. WALPOLE, Ronald E. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Roig Vásquez, Pablo Eduardo (Editor). 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. 752 p. ISBN: 9701702646.

## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata***

# Fruto	Diámetro del fruto [mm]	Fruto [g]	Pericarpio [g]	Mesocarpio [g]	Exocarpio [g]	Endocarpio [g]
1	3,965	22,858	4,972	8,002	8,795	1,035
2	4,010	24,660	4,990	8,149	10,103	1,362
3	4,110	24,523	4,750	7,349	11,165	1,201
4	4,240	17,017	3,401	7,105	5,365	1,072
5	4,213	41,179	6,816	13,786	18,230	2,311
6	4,180	35,413	8,364	8,977	13,970	4,068
7	3,666	25,397	6,870	8,361	6,141	4,025
8	4,431	41,715	8,154	15,077	12,436	6,027
9	4,040	35,416	7,875	10,990	15,464	1,022
10	4,044	27,062	5,994	8,226	10,866	1,940
11	4,363	35,078	7,693	11,034	14,250	2,023
12	4,169	31,660	6,791	8,365	13,879	2,586
13	4,050	32,717	5,843	9,077	14,083	3,682
14	4,295	39,762	8,852	11,451	14,290	5,084
15	4,114	34,549	7,746	9,227	14,128	3,378
16	4,255	39,699	7,683	11,561	16,814	3,619
17	4,181	36,725	6,794	10,587	15,921	3,328
18	4,217	39,078	6,902	12,681	14,031	5,407
19	4,354	39,088	6,643	11,787	16,427	4,189
20	3,781	28,832	6,626	7,990	10,021	4,160
21	3,742	23,737	5,287	6,637	8,931	2,792
22	4,194	33,496	6,467	9,332	13,105	4,481
23	3,890	26,968	5,778	7,529	10,063	3,415
24	3,884	26,774	5,525	8,063	10,474	2,693
25	3,666	22,154	5,031	6,738	7,591	2,763
26	4,074	30,936	6,080	8,596	12,186	4,070

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

27	4,081	31,117	6,112	9,389	12,277	3,244
28	4,243	34,643	6,615	10,237	13,338	4,265
29	4,273	35,349	6,832	10,421	14,121	3,943
30	4,171	33,003	6,510	8,974	12,379	5,035
31	3,773	24,354	5,176	6,680	8,882	3,462
32	4,320	36,195	7,175	10,287	14,424	4,281
33	3,759	24,209	5,047	7,259	9,036	2,861
34	3,661	22,084	4,921	5,962	8,124	2,983
35	4,058	30,553	6,259	8,854	11,941	3,393
36	3,906	27,236	5,509	7,678	10,388	3,529
37	4,086	31,238	6,247	9,481	11,647	3,743
38	4,290	35,633	6,866	9,924	14,352	4,446
39	4,002	29,494	5,870	9,000	11,184	3,290
40	3,888	27,017	5,667	7,352	9,703	4,151
41	4,043	30,353	6,183	8,639	11,284	4,190
42	4,033	30,055	5,929	8,928	11,203	3,892
43	4,447	39,038	7,388	11,074	15,719	4,719
44	4,052	30,570	6,219	8,979	11,159	4,101
45	3,878	26,747	5,543	7,471	10,069	3,529
46	4,104	31,678	6,301	9,438	12,342	3,461
47	3,718	23,303	4,948	6,492	7,965	3,827
48	4,012	29,702	6,017	8,559	11,310	3,690
49	4,187	33,389	6,629	9,523	12,800	4,395
50	4,001	29,470	5,820	8,719	10,933	3,837
51	3,840	25,887	5,478	7,585	10,139	2,589
52	3,973	28,786	5,841	8,702	10,832	3,225
53	3,987	29,131	5,808	8,441	10,694	4,101
54	4,311	36,088	6,999	9,993	13,863	5,066
55	3,922	27,596	5,709	8,249	10,126	3,414
56	3,898	27,051	5,703	7,988	9,858	3,321
57	3,850	26,099	5,358	7,853	9,210	3,593
58	4,306	35,929	6,860	10,284	14,087	4,693
59	3,909	27,369	5,689	7,359	10,247	4,020
60	4,087	31,255	6,293	8,503	12,450	3,950
61	4,205	33,851	6,779	9,757	12,925	4,253

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

62	3,878	26,682	5,560	7,946	10,266	2,847
63	3,816	25,292	5,267	7,443	9,153	3,360
64	3,768	24,416	5,239	6,742	8,958	3,460
65	4,118	31,884	6,427	9,272	12,922	3,182
66	3,882	26,885	5,713	7,530	10,320	3,259
67	4,197	33,596	6,611	9,464	13,072	4,376
68	3,914	27,394	5,630	7,599	10,376	3,621
69	4,042	30,272	6,139	8,329	11,236	4,495
70	3,669	22,117	4,974	6,504	7,539	2,952
71	3,784	24,746	5,135	7,076	8,870	3,474
72	4,281	35,393	6,793	10,057	13,815	4,680
73	4,355	36,961	7,160	11,018	14,161	4,564
74	3,924	27,707	5,694	7,647	10,352	3,818
75	4,075	31,016	6,276	8,272	11,535	4,918
76	4,084	31,072	6,135	9,302	12,407	3,225
77	3,977	28,779	6,031	8,173	11,281	3,276
78	4,030	30,084	6,204	8,752	11,823	3,141
79	3,819	25,450	5,525	7,511	9,652	2,565
80	4,223	34,207	6,864	9,546	13,009	4,642
81	3,704	23,015	4,973	7,217	8,811	1,922
82	3,946	28,215	5,764	8,189	10,257	3,930
83	3,734	23,625	5,199	6,808	8,873	2,574
84	3,820	25,376	5,258	7,997	8,933	3,053
85	4,153	32,747	6,562	8,819	12,701	4,599
86	4,176	33,204	6,676	9,690	12,965	3,709
87	3,641	21,584	4,874	6,932	7,968	1,802
88	4,040	30,166	6,013	9,199	11,038	3,847
89	4,277	35,313	6,740	9,814	14,194	4,378
90	3,732	23,473	5,004	6,722	8,472	3,226
91	4,239	34,457	6,772	9,818	13,930	3,819
92	3,873	26,667	5,406	7,915	10,172	3,056
93	4,248	34,807	6,844	9,751	13,219	4,870
94	3,896	27,188	5,669	7,648	9,782	3,925
95	3,561	19,915	4,585	5,575	6,903	2,717
96	3,947	28,278	5,736	8,435	10,209	3,742

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

97	4,065	30,834	6,200	9,223	12,010	3,376
98	3,981	28,985	5,966	8,097	11,316	3,414
99	3,809	25,127	5,451	7,104	9,211	3,284
100	3,665	22,099	4,786	6,765	8,296	2,203
101	3,854	26,247	5,379	7,972	9,607	3,217
102	4,053	30,415	6,243	9,010	11,596	3,389
103	3,943	28,181	5,856	7,890	11,143	3,282
104	4,291	35,718	6,992	9,659	13,984	5,028
105	4,005	29,420	6,084	8,818	11,173	3,280
106	3,611	21,002	4,699	6,179	7,505	2,561
107	4,086	31,155	6,406	8,630	11,780	4,204
108	3,759	24,091	5,243	6,732	9,274	2,743
109	4,086	31,153	6,420	9,017	11,628	3,945
110	4,313	36,133	7,007	10,725	13,693	4,643
111	4,065	30,662	6,192	9,115	12,050	3,224
112	3,894	26,998	5,551	8,328	9,877	3,078
113	4,200	33,764	6,594	10,067	13,524	3,413
114	3,971	28,691	5,927	8,501	10,562	3,635
115	3,832	25,711	5,342	7,570	9,115	3,606
116	4,343	36,783	7,222	10,777	14,548	4,170
117	3,938	28,027	5,709	7,915	10,337	3,936
118	3,870	26,497	5,468	7,800	9,945	3,160
119	3,901	27,191	5,502	7,741	10,737	3,037
120	3,979	28,869	6,018	8,797	10,588	3,326
121	4,198	33,709	6,635	10,160	13,594	3,310
122	4,239	34,521	6,800	9,618	13,245	4,733
123	4,016	29,618	6,072	8,841	11,715	2,802
124	3,901	27,262	5,802	7,437	10,345	3,538
125	4,425	38,496	7,525	11,301	15,413	4,229
126	3,922	27,639	5,833	7,881	10,704	3,139
127	4,165	32,865	6,515	9,901	13,182	3,069
128	4,274	35,339	6,808	10,257	13,321	4,945
129	4,325	36,322	6,909	10,960	14,472	3,922
130	4,000	29,364	6,069	8,383	11,256	3,536
131	4,205	33,727	6,680	9,475	12,747	4,637

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

132	4,414	38,287	7,192	11,029	14,911	4,992
133	3,829	25,632	5,335	7,833	9,498	2,920
134	4,014	29,663	6,003	8,293	10,957	4,220
135	4,442	38,876	7,411	11,328	15,596	4,424
136	3,725	23,338	5,180	6,497	8,103	3,377
137	3,874	26,669	5,413	7,382	9,510	4,219
138	4,002	29,443	5,853	8,760	10,550	4,184
139	3,942	28,007	5,638	7,928	10,711	3,602
140	4,074	30,881	6,338	8,737	11,364	4,358
141	3,890	27,060	5,586	8,151	9,563	3,591
142	3,877	26,652	5,502	7,652	9,402	4,031
143	3,851	26,147	5,625	7,533	9,369	3,447
144	3,931	27,949	5,740	7,507	10,149	4,524
145	3,553	19,754	4,549	5,876	6,680	2,568
146	4,018	29,653	5,895	8,204	11,075	4,358
147	3,996	29,209	6,017	8,081	10,741	4,308
148	4,043	30,356	6,050	8,276	10,948	5,064
149	4,094	31,347	6,247	9,399	11,687	3,830
150	4,227	34,273	6,775	10,005	13,260	4,047
151	3,965	28,650	5,775	8,471	11,171	3,165
152	4,156	32,806	6,541	9,641	12,463	4,096
153	4,373	37,406	7,307	10,516	15,149	4,239
154	3,779	24,520	5,387	6,542	8,500	4,037
155	4,012	29,687	6,025	8,110	11,202	4,276
156	4,053	30,524	6,086	8,795	11,527	4,056
157	4,323	36,432	7,017	10,613	14,093	4,700
158	3,959	28,425	6,000	8,445	11,152	2,796
159	3,678	22,344	5,050	6,852	8,050	2,313
160	4,265	35,082	6,747	10,311	14,167	3,671
161	3,669	22,186	4,925	6,259	8,041	2,763
162	3,940	28,052	5,851	8,395	10,786	2,962
163	3,813	25,378	5,507	7,527	9,309	2,854
164	4,483	39,861	7,618	11,659	15,929	4,502
165	4,232	34,430	6,888	9,598	13,576	4,281
166	3,971	28,664	5,894	7,844	11,265	3,498

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

167	3,924	27,658	5,732	8,276	10,654	2,800
168	3,954	28,265	5,948	8,641	10,576	3,043
169	4,213	33,955	6,748	9,721	13,010	4,314
170	4,211	33,846	6,781	9,758	13,363	3,825
171	3,728	23,417	5,190	6,541	8,421	3,112
172	4,005	29,483	5,885	8,517	10,725	4,230
173	4,021	29,817	5,944	8,993	11,415	3,389
174	3,806	25,151	5,315	7,091	9,745	2,981
175	3,671	22,224	4,774	6,450	8,137	2,668
176	4,247	34,776	6,760	10,336	13,466	4,182
177	4,206	33,778	6,713	9,451	12,876	4,644
178	3,642	21,605	4,818	6,027	7,473	3,281
179	3,918	27,585	5,738	7,726	10,829	3,177
180	3,833	25,811	5,470	7,546	9,174	3,583
181	3,992	29,127	5,872	8,155	11,198	3,708
182	3,639	21,448	4,955	6,512	7,731	2,081
183	4,330	36,584	7,137	10,157	13,898	5,347
184	3,746	23,874	5,242	7,401	8,493	2,681
185	4,067	30,900	6,362	8,547	12,024	3,928
186	3,606	20,904	4,574	6,552	7,158	2,577
187	3,982	28,907	5,919	8,010	10,606	4,283
188	4,204	33,841	6,760	9,169	13,230	4,494
189	4,040	30,167	5,972	8,740	11,287	3,974
190	4,114	31,808	6,285	8,980	12,086	4,403
191	3,926	27,742	5,592	8,257	10,003	3,856
192	4,322	36,352	6,996	10,619	14,023	4,561
193	4,017	29,706	6,015	8,353	11,668	3,536
194	4,153	32,761	6,360	9,463	12,118	4,817
195	4,072	30,951	6,165	9,253	11,878	3,557
196	4,134	32,216	6,455	8,930	12,423	4,338
197	3,985	28,999	6,085	8,623	10,805	3,416
198	3,959	28,378	5,977	8,137	10,709	3,517
199	3,840	25,880	5,543	7,423	9,397	3,410
200	4,113	31,770	6,472	9,615	12,159	3,395
201	3,809	25,107	5,344	6,768	8,807	4,151



Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

202	3,647	21,785	4,853	6,097	8,305	2,374
203	4,177	33,159	6,707	9,974	13,285	3,037
204	4,259	35,008	6,905	9,669	13,706	4,559
205	4,384	37,719	7,107	10,877	14,912	4,805
206	4,286	35,617	7,016	10,144	13,915	4,458
207	3,895	27,007	5,669	7,406	10,541	3,211
208	4,185	33,410	6,602	9,480	13,035	4,239
209	4,066	30,771	6,269	9,321	12,124	3,005
210	3,906	27,356	5,534	7,864	9,818	4,019
211	3,890	27,047	5,606	7,508	9,724	4,090
212	4,406	38,170	7,189	10,515	14,877	5,505
213	3,861	26,434	5,563	7,272	9,367	4,127
214	3,677	22,303	4,789	6,252	8,467	2,772
215	4,260	35,043	6,784	9,604	13,150	5,328
216	3,532	19,271	4,358	6,084	7,086	1,722
217	3,887	26,986	5,473	8,234	10,149	3,114
218	4,054	30,471	6,287	9,032	12,014	3,084
219	4,096	31,391	6,204	9,172	12,021	3,988
220	4,169	33,080	6,578	9,369	12,727	4,378
221	3,964	28,613	5,786	8,702	10,795	3,321
222	3,984	29,103	5,799	7,994	11,088	4,062
223	4,045	30,418	6,195	8,481	12,181	3,533
224	4,017	29,718	5,904	8,171	11,475	3,974
225	3,717	23,190	4,994	6,808	8,804	2,558
226	3,886	26,935	5,736	8,173	10,337	2,603
227	3,834	25,768	5,366	7,971	9,661	2,701
228	3,966	28,555	5,913	8,089	10,461	4,025
229	4,189	33,407	6,758	9,636	12,909	3,913
230	3,903	27,349	5,715	8,018	10,645	2,804
231	3,668	22,161	5,014	6,993	8,159	1,877
232	4,328	36,467	7,011	10,024	14,587	4,778
233	3,648	21,652	4,963	6,108	7,652	2,751
234	4,293	35,659	6,986	9,966	14,311	4,229
235	3,875	26,743	5,575	7,387	10,076	3,560
236	4,280	35,409	7,036	10,245	13,757	4,180

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

237	3,969	28,630	5,854	8,870	11,035	2,696
238	4,321	36,363	6,938	10,233	13,985	5,103
239	3,975	28,781	6,008	8,539	10,977	3,101
240	4,292	35,735	6,910	10,119	13,929	4,775
241	4,164	32,999	6,638	9,342	12,685	4,251
242	4,034	30,083	6,158	8,720	11,398	3,643
243	3,884	26,892	5,498	7,731	10,546	3,024
244	3,611	20,912	4,560	6,570	7,733	1,886
245	4,008	29,461	5,864	8,925	10,966	3,592
246	4,062	30,770	6,173	8,697	12,026	3,718
247	4,010	29,557	5,989	8,903	11,351	3,123
248	4,314	36,160	6,971	9,900	14,525	4,564
249	4,402	38,141	7,401	11,198	14,914	4,563
250	3,946	28,272	5,741	8,727	10,535	3,174
251	3,900	27,274	5,660	7,753	10,338	3,453
252	4,279	35,406	6,942	9,956	13,756	4,705
253	4,061	30,734	6,239	9,183	12,048	3,115
254	3,652	21,785	4,769	6,518	8,106	2,377
255	3,674	22,223	4,925	6,875	7,576	2,698
256	4,045	30,290	5,961	8,614	11,237	4,302
257	4,173	33,067	6,606	9,938	13,004	3,475
258	4,142	32,408	6,510	9,250	12,674	3,946
259	4,103	31,517	6,225	9,029	12,457	3,654
260	4,104	31,580	6,476	9,348	12,487	3,235
261	4,286	35,487	6,943	9,988	13,331	5,218
262	4,041	30,192	5,989	8,937	11,748	3,506
263	3,760	24,056	5,037	7,363	8,895	2,738
264	3,909	27,436	5,590	7,854	10,688	3,164
265	3,848	26,026	5,321	7,787	9,466	3,318
266	4,110	31,666	6,359	9,093	12,373	3,808
267	3,988	29,053	5,889	8,541	11,210	3,395
268	3,952	28,378	5,959	7,846	10,131	4,261
269	4,004	29,529	6,059	7,930	11,465	4,065
270	4,061	30,572	6,291	9,031	11,903	3,171
271	4,001	29,279	5,983	8,213	10,727	4,210

Apéndice 1. **Tara de las distintas partes segregadas de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Continuación)**

272	4,122	31,916	6,363	8,989	12,334	4,112
273	4,158	32,727	6,381	8,968	13,204	4,041
274	4,215	34,112	6,616	9,735	12,891	4,830
275	3,889	26,975	5,637	8,056	10,236	2,881
276	4,019	29,680	5,905	8,691	11,367	3,552
277	3,896	27,187	5,707	8,024	9,612	3,822
278	4,360	37,180	7,084	10,725	14,361	4,968
279	3,958	28,465	5,717	7,753	10,236	4,611
280	3,957	28,370	5,887	7,914	10,429	4,032
281	4,087	31,261	6,271	9,245	11,747	3,990
282	4,169	33,071	6,584	9,590	13,015	3,801
283	4,040	30,166	6,199	8,798	11,233	3,849
284	4,011	29,515	5,977	8,454	11,144	3,927
285	3,924	27,656	5,758	7,970	10,764	3,143
286	3,942	28,062	5,733	8,111	10,921	3,124
287	4,017	29,771	5,921	8,488	11,500	3,826
288	3,852	26,209	5,591	7,771	9,478	3,265
289	4,153	32,754	6,513	9,719	12,736	3,650
290	3,845	25,997	5,410	7,017	9,781	3,740
291	3,878	26,633	5,505	7,914	9,921	3,099
292	3,680	22,389	4,871	6,758	8,291	2,384
293	4,102	31,603	6,311	9,506	11,931	3,772
294	4,241	34,660	6,767	9,747	13,124	5,007
295	3,863	26,308	5,544	7,354	9,524	3,801
296	4,017	29,770	6,190	8,989	10,943	3,539
297	3,960	28,479	5,749	8,625	10,930	3,105
298	4,303	35,893	6,825	10,144	14,277	4,511
299	4,039	30,179	6,220	9,178	11,965	2,793
300	4,210	33,861	6,513	9,128	13,476	4,637

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Resultado de la extracción de aceite del mesocarpio y endocarpio**

	#	Parte del fruto	Expeller	Aceite	Volumen de aceite	% de extracción	% promedio de extracción	% de desviación de extracción
		g	g	g	mL	% m/m	% m/m	% m/m
<b>Mesocarpio</b>	1	850,000	635,396	212,541	130,393	25,005	<b>24,998</b>	<b>0,362</b>
	2	850,000	632,414	215,534	118,425	25,357		
	3	850,000	639,555	209,383	148,498	24,633		
<b>Endocarpio</b>	1	350,000	167,849	182,121	129,163	52,035	<b>50,140</b>	<b>1,652</b>
	2	350,000	178,196	171,504	112,094	49,001		
	3	350,000	176,125	172,850	105,396	49,386		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Porcentaje en peso promedio de las distintas partes del coyol**

	Fruto [%]	Pericarpio [%]	Mesocarpio [%]	Exocarpio [%]	Endocarpio [%]
<b>Promedio [g]</b>	29,779 ± 4,624	6,056 ± 0,751	8,635 ± 1,363	11,347 ± 2,113	3,644 ± 0,823
<b>Porcentaje [%]</b>	100,0%	20,40%	29,09%	38,23%	12,28%

Fuente: elaboración propia, a partir de valores del apéndice 1.

Apéndice 4. **Error típico de media ( $\sigma_{\bar{x}}$ ) – distintas partes del coyol**

A continuación se presentan los errores típicos de la media de los datos obtenidos en la parte práctica de segregación de las distintas partes del fruto dentro del trabajo de investigación.

Parte	Pericarpio	Mesocarpio	Exocarpio	Endocarpio
$\sigma_{\bar{x}}$	0,043	0,079	0,122	0,048

Fuente: elaboración propia, a partir de valores del apéndice 3.

Apéndice 5. **Porcentaje en peso promedio de los subproductos del coyol**

	Fruto [%]	Pericarpio [%]	Expeller de Mesocarpio [%]	Aceite de Mesocarpio [%]	Exocarpio [%]	Expeller de Endocarpio [%]	Aceite de Endocarpio [%]
<b>Promedio [g]</b>	29,779 ± 4,624	6,056 ± 0,751	6,476 ± 0,036	2,159 ± 0,031	11,347 ± 2,113	1,817 ± 0,057	1,827 ± 0,060
<b>Porcentaje [%]</b>	100,0%	20,40%	21,82%	7,27%	38,23%	6,12%	6,16%

Fuente: elaboración propia, a partir de valores de los apéndices 1 y 2.

Apéndice 6. **Matriz energética comparativa: poderes caloríficos de los subproductos del coyol vs combustibles fósiles y otros biocombustibles**

Subproducto \ propiedad	Poder calorífico bruto
	kJ/kg
Pericarpio	16 781,00
Expeller de mesocarpio	17 448,00
Exocarpio	18 868,67
Expeller de endocarpio	23 041,33
Aceite de endocarpio	18 366,00
Aceite de mesocarpio	126,33
Madera seca	19 000,00
Viruta seca	13 400,00
Corteza de pino	20 400,00
Carbón de madera	31 400,00
Coque de petróleo	34 100,00
Alcohol comercial	23 860,00
Metanol	19 250,00
Gasolina	43 950,00
Diésel	40 600,00
Queroseno	43 400,00

Fuente: elaboración propia, a partir de valores del anexo 1.

Apéndice 7. **Costos del proyecto de investigación**

#	Detalle	Unidad	Total
<b>Análisis fisicoquímicos</b>			
18	Análisis de poder calorífico bruto	Q. 72,00	Q. 1 296,00
18	Análisis de humedad	Q. 39,00	Q. 702,00
18	Análisis de ceniza	Q. 39,00	Q. 702,00
12	Análisis de densidad aparente	Q. -	Q. -
12	Análisis de cloro	Q. -	Q. -
12	Análisis de carbón	Q. -	Q. -
12	Análisis de azufre	Q. -	Q. -
6	Análisis de humedad (Karl Fischer)	Q. 200,00	Q. 1 200,00
6	Análisis de viscosidad cinemática	Q. -	Q. -
6	Análisis de pH	Q. -	Q. -
6	Análisis de <i>flash point</i>	Q. 51,00	Q. 306,00
<b>Obtención de materia prima</b>			
100	Jornalero (Costo Horas/Hombre)	Q. 20,00	Q. 2 000,00
<b>Procesamiento de materia prima</b>			
1	Prensa extrusora - piteba	Q. 1 837,96	Q. 1 837,96
1	Sierra con marco	Q. 50,00	Q. 50,00
2	Paquete de bolsas grandes Ziploc®	Q. 40,00	Q. 80,00
6	Botellas de PET de 100 mL	Q. 5,00	Q. 30,00
		<b>TOTAL</b>	<b>Q. 8 203,96</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Fotografías de la recolección de materia prima**



Fuente: finca San Miguel, municipio de Sanarate, El Progreso.



Apéndice 9. **Fotografías de la segregación de las distintas partes del coyol**



Fuente: taller de Agrobosques, finca San Miguel.

Apéndice 10.      **Fotografías de la extracción de aceite de mesocarpio y endocarpio**



Fuente: cuartos de finca San Miguel.

Apéndice 11. Fotografías de los análisis fisicoquímicos de laboratorio



Continuación apéndice 11.



Fuente: laboratorio químico Proverde, municipio de Sanarate, departamento de El Progreso.

Apéndice 12. **Tablas para datos: tabulación de los pesos de las partes del coyol**

# Fruto	Diámetro del fruto	Fruto	Pericarpio	Mesocarpio	Exocarpio	Endocarpio
	mm	g	g	g	g	g
1						
2						
3						
4						
5						
...						
n						

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Tablas para datos: tabulación de los pesos y volumen de extracción de aceite**

	#	Parte del fruto	Expeller	Aceite	Volumen de aceite
		g	g	g	mL
Mesocarpio	1				
	2				
	3				
Endocarpio	1				
	2				
	3				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Tablas para datos: tabulación de las propiedades de subproductos sólidos**

Sub-producto \ Propiedad	Corrida	Poder calorífico bruto	Humedad	Ceniza	Densidad aparente	Cloro	Carbón	Azufre
		kJ/kg	w - %	w - %	kg/m <sup>3</sup>	w - %	w - %	w - %
Pericarpio	1	Pe-Q-1	Pe-M-1	Pe-A-1	Pe-DB-1	Pe-Cl-1	Pe-C-1	Pe-S-1
	2	Pe-Q-2	Pe-M-2	Pe-A-2	Pe-DB-2	Pe-Cl-2	Pe-C-2	Pe-S-2
	3	Pe-Q-3	Pe-M-3	Pe-A-3	Pe-DB-3	Pe-Cl-3	Pe-C-3	Pe-S-3
Expeller de mesocarpio	1	EM-Q-1	EM-M-1	EM-A-1	EM-DB-1	EM-Cl-1	EM-C-1	EM-S-1
	2	EM-Q-2	EM-M-2	EM-A-2	EM-DB-2	EM-Cl-2	EM-C-2	EM-S-2
	3	EM-Q-3	EM-M-3	EM-A-3	EM-DB-3	EM-Cl-3	EM-C-3	EM-S-3
Exocarpio	1	Ex-Q-1	Ex-M-1	Ex-A-1	Ex-DB-1	Ex-Cl-1	Ex-C-1	Ex-S-1
	2	Ex-Q-2	Ex-M-2	Ex-A-2	Ex-DB-2	Ex-Cl-2	Ex-C-2	Ex-S-2
	3	Ex-Q-3	Ex-M-3	Ex-A-3	Ex-DB-3	Ex-Cl-3	Ex-C-3	Ex-S-3
Expeller de endocarpio	1	EE-Q-1	EE-M-1	EE-A-1	EE-DB-1	EE-Cl-1	EE-C-1	EE-S-1
	2	EE-Q-2	EE-M-2	EE-A-2	EE-DB-2	EE-Cl-2	EE-C-2	EE-S-2
	3	EE-Q-3	EE-M-3	EE-A-3	EE-DB-3	EE-Cl-3	EE-C-3	EE-S-3

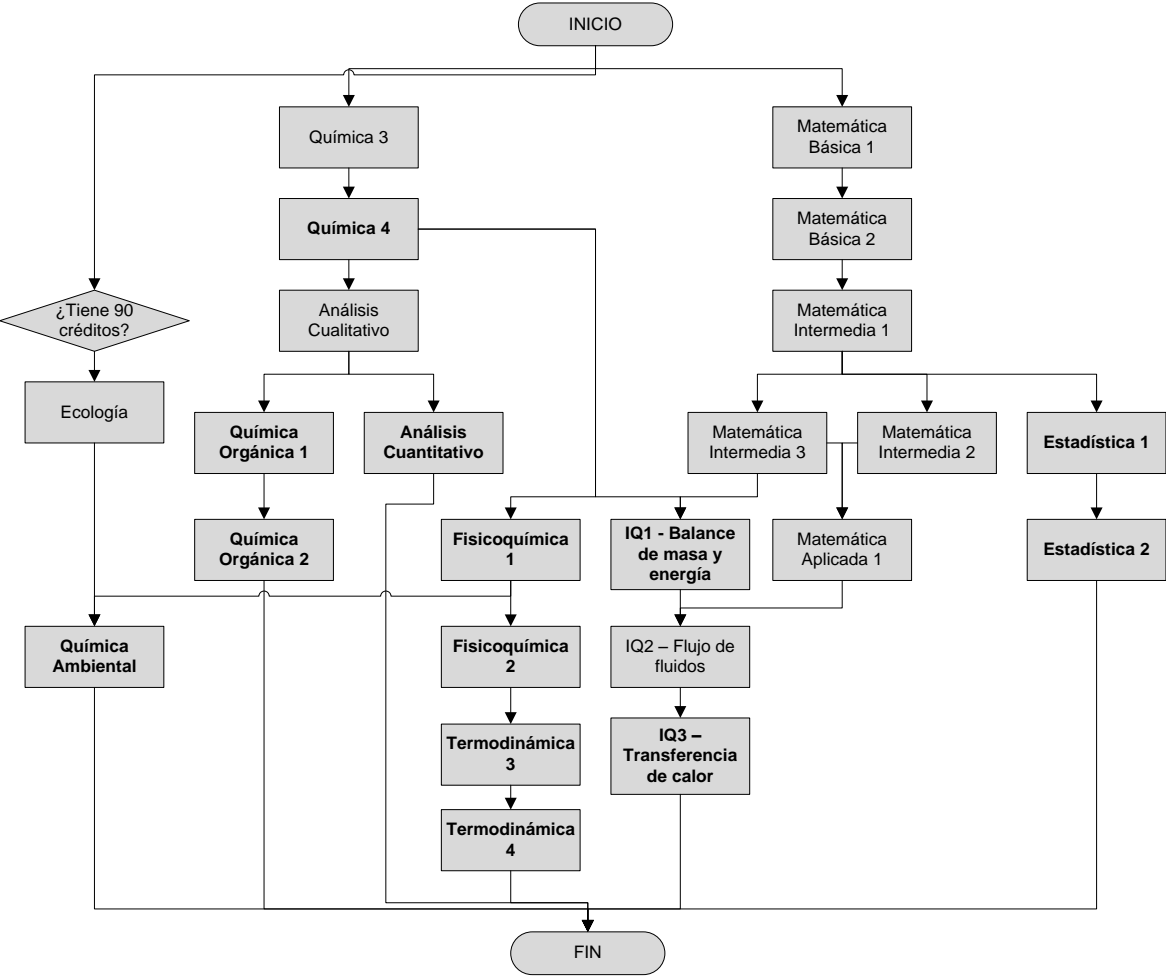
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Tablas para datos: tabulación de las propiedades de subproductos líquidos**

Subproducto \ Propiedad	Corrida	Poder calorífico bruto	Humedad	Viscosidad cinemática a 40°C	Densidad	Ceniza	pH	Flash Point
		kJ/kg	w - %	mm <sup>2</sup> /s	kg/m <sup>3</sup>	w - %	-	° C
Aceite de endocarpio	1	AE-Q-1	AE-W-1	AE-Vc-1	AE-D-1	AE-A-1	AE-pH-1	AE-FP-1
	2	AE-Q-2	AE-W-2	AE-Vc-2	AE-D-2	AE-A-2	AE-pH-2	AE-FP-2
	3	AE-Q-3	AE-W-3	AE-Vc-3	AE-D-3	AE-A-3	AE-pH-3	AE-FP-3
Aceite de mesocarpio	1	AM-Q-1	AM-W-1	AM-Vc-1	AM-D-1	AM-A-1	AM-pH-1	AM-FP-1
	2	AM-Q-2	AM-W-2	AM-Vc-2	AM-D-2	AM-A-2	AM-pH-2	AM-FP-2
	3	AM-Q-3	AM-W-3	AM-Vc-3	AM-D-3	AM-A-3	AM-pH-3	AM-FP-3

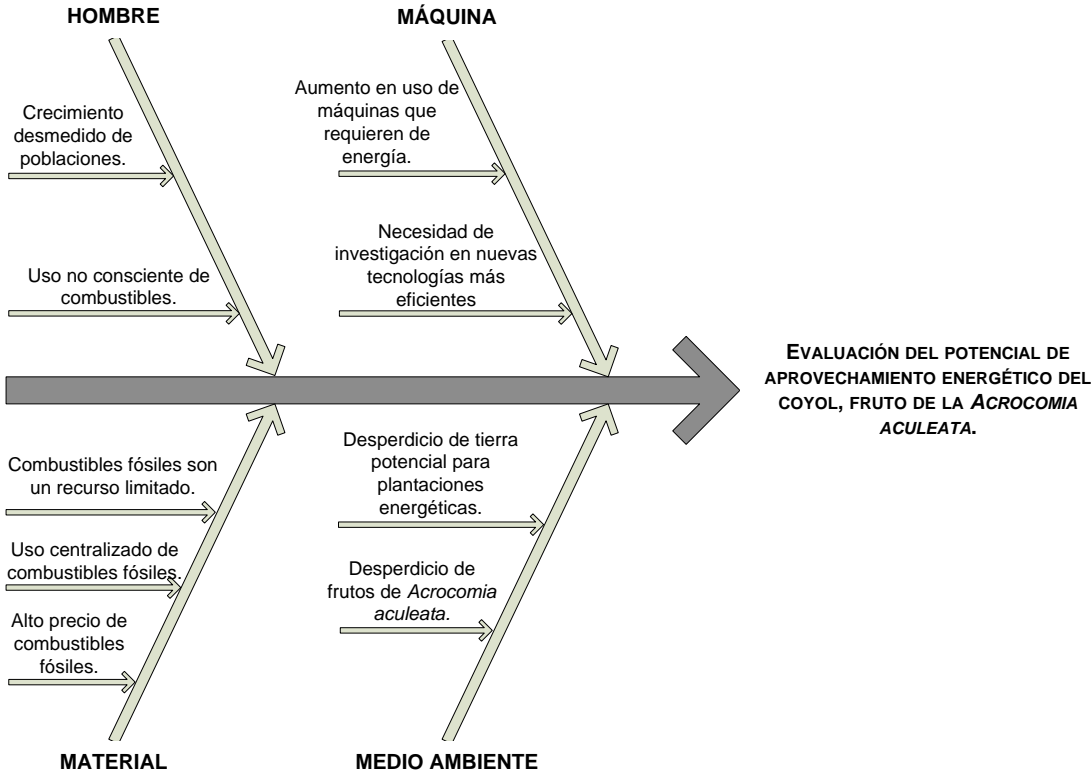
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.



# ANEXOS

## Anexo 1. Informe de resultados obtenido en el Laboratorio Proverde

### REPORTE

Solicitado:	Copias Internas	No. :	AFR
America Gonzales (Tesis de Jose Guillermo Villafuerte Diaz)		Lab201301_Tesis	
		Fecha:	16/11/2013
<b>Asunto:</b>	<b>INFORME DE ANALISIS DE COMBUSTIBLES<sup>1</sup></b>		

#### Identificación de Muestra Externa:

Muestras de Tesis "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS SUBPRODUCTOS DEL COYOL (*Acrocomia aculeata*)"

#### Pruebas Solicitadas:

Poder calorífico, humedad, ceniza, densidad aparente, cloro, carbono y azufre, viscosidad, flash point

#### Resultados de Análisis Solicitados:

RESULTADOS DE LABORATORIO PARA SUBPRODUCTOS SÓLIDOS								
Sub-producto \ Propiedad	Corrida	Poder calorífico bruto	Humedad	Ceniza	Densidad aparente	Cloro	Carbono	Azufre
		kJ/kg	w - %	w - %	kg/m <sup>3</sup>	w - %	w - %	w - %
Pericarpio	1	16,752.00	12.68	1.58	334.40	0.10	57.86	0.14
	2	16,669.00	12.23	1.64	341.15	0.10	57.72	0.16
	3	16,922.00	12.79	1.44	340.83	0.10	58.04	0.17
Expeller de mesocarpio	1	17,733.00	4.43	3.50	151.50	0.14	52.38	0.16
	2	17,256.00	4.50	3.58	170.20	0.14	53.41	0.20
	3	17,355.00	4.37	3.47	160.95	0.14	54.74	0.21
Exocarpio	1	18,679.00	6.06	1.30	722.70	0.07	64.58	0.14
	2	18,824.00	6.52	1.39	770.10	0.07	64.64	0.15
	3	19,103.00	6.39	1.38	764.25	0.07	65.41	0.15
Expeller de endocarpio	1	23,248.00	20.01	0.82	121.30	0.08	74.51	0.12
	2	23,070.00	20.04	0.86	126.60	0.08	69.45	0.14
	3	22,806.00	20.10	0.91	128.20	0.09	70.85	0.10

<sup>1</sup> Los resultados de este informe son válidos para las muestras como fueron recibidas.

Continuación del anexo 1.

RESULTADOS DE LABORATORIO PARA SUBPRODUCTOS LÍQUIDOS

Sub-producto \ Propiedad	Corrida	Poder calorífico bruto	Humedad	Viscosidad cinemática a 40°C	Densidad	Ceniza	pH	Flash Point
		kJ/kg	w - %	mm <sup>2</sup> /s	kg/m <sup>3</sup>	w - %	-	° C
Aceite de endocarpio	1	18,349.00	89.84	0.182	1,042.63	1.09	3.00	-
	2	18,421.00	88.99	0.173	1,042.50	1.08	3.00	-
	3	18,328.00	89.75	0.182	1,044.88	1.08	3.00	-
Aceite de mesocarpio	1	121.00	95.08	0.483	1,160.25	0.12	5.00	107.70
	2	117.00	94.50	0.499	1,142.50	0.15	5.00	105.80
	3	141.00	95.51	0.477	1,154.25	0.13	5.00	102.24


  
**LIC. SERGIO SANTOS**  
 QUIMICO  
 COLEGIADO No. 1911  
 MAESTRIA EN INGENIERIA Y TECNICAS DE ASESORIA  
 MAESTRIA EJECUTIVA EN DIRECCION DE EMPRESAS

Revisado por: Sergio Eduardo Santos  
 Químico. Colegiado 1911  
 Jefe de Laboratorio AFR

<sup>1</sup>Los resultados de este informe son válidos para las muestras como fueron recibidas.