

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS  
RESIDUOS DE LA CADENA DE VALOR DEL  
CACAO (*THEOBROMA cacao*) EN LA  
REGIÓN MADRE DE DIOS.**

Presentado por:

**David Hosnar Lock Navarro**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2018

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **DAVID HOSNAR LOCK NAVARRO**, intitulado “**POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE LA CADENA DE VALOR DEL CACAO (*THEOBROMA CACAO*) EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS.**”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia, queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 21 de Diciembre de 2017

Mg. Sc. Florencio Trujillo Cuellar  
Presidente

Mg. Sc. Deysi Guzmán Loayza  
Miembro

Mg. Sc. Karim Begazo Curie  
Miembro

PhD. Enrique Gonzales Mora  
Asesor

Mg. Sc. Judith Ramírez Candia  
Co asesora

## *DEDICATORIA*

*Dedico este trabajo a mis padres, por su apoyo constante a lo largo de mi carrera.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios, por permitirme tener una buena experiencia en la universidad.*

*A mis profesores, Judith Ramírez y Enrique Gonzales, por su tiempo y asesoramiento.*

## *RESUMEN*

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el potencial energético de los residuos lignocelulósicos generados en la actividad productiva de la cadena de valor del cacao en la Región Madre de Dios. Se determinó y cuantificó la producción de biomasa de cacao, su distribución y la disponibilidad de sus residuos. Además, se caracterizó la composición física, química y energética de los residuos (cáscara de cosecha anterior, cáscara de cosecha actual y residuos de podas). El muestreo se basó en la norma UNE- EN 14778 (2013). En base al contenido de humedad, los residuos estudiados son considerados secos (<60%) y pueden ser usados energéticamente mediante procesos térmicos. Se estimó el potencial energético de los residuos para los años (2017-2021), tomando como base el pronóstico de producción del grano de cacao, también se evaluó la oferta y demanda energética de la población rural. Se concluyó que la Región Madre de Dios cuenta con el potencial energético basado en los residuos del cacao.

**Palabras clave:** Residuos lignocelulósicos, cadena de valor, cáscaras, potencial energético.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>II. Revisión de literatura</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Energía de la biomasa</b> .....	<b>3</b>
1.1. Clasificación de la biomasa.....	4
1.1.1. Según su fuente de obtención:.....	4
1.1.2. según su origen y uso .....	5
1.1.3. Por sus componentes estructurales.....	6
1.2. Procesos de conversión de biomasa en energía .....	8
<b>2. Potencial energético de los residuos</b> .....	<b>12</b>
2.1. Fuente de residuos agrícolas.....	12
2.2. Valor de los residuos agrícolas como combustibles .....	12
<b>3. Caracterización de la biomasa para su aprovechamiento energético</b> .....	<b>13</b>
3.1. Caracterización física.....	13
3.1.1. Contenido de humedad.....	14
3.1.2. Granulometría y geometría de la biomasa.....	14
3.1.3. Densidad real y aparente.....	15
3.2. Caracterización química.....	15
3.2.1. Análisis elemental .....	15
3.2.2. Análisis inmediato o proximal.....	18
3.2.3. Análisis de componentes estructurales .....	20
3.3. Caracterización energética.....	21
<b>4. El cacao</b> .....	<b>21</b>
4.1. La planta de cacao.....	21
4.2. Variedades de cacao.....	24
4.3. Situación actual del cacao en Perú y en la Región Madre de Dios.....	26
4.4. Principales usos del cacao y sus derivados .....	29
4.5. Residuos del cacao.....	30
4.6. Potencial energético de los residuos del cacao.....	31
4.7. Cadena de valor del cacao - Flujograma de producción .....	32
<b>5. Situación general de los biocombustibles en el Perú</b> .....	<b>34</b>
5.1. Marco legal, políticas y estrategias del sector biocombustibles .....	34
<b>6. Situación energética en la Región Madre de Dios</b> .....	<b>34</b>
<b>III. Materiales y Métodos</b> .....	<b>37</b>
1. Materiales.....	37
1.1. Análisis documental y fuentes .....	37
1.2. Obtención directa y entrevistas a informantes clave .....	37
1.3. Generación de base de datos y Procesamiento de información.....	37
<b>2. Métodos</b> .....	<b>38</b>
2.1. Determinación y cuantificación de la biomasa residual agroindustrial del cacao en la región Madre de Dios.....	38
2.2. Caracterización fisicoquímica y energética de los residuos disponibles del cacao .....	40
2.3. Comparación de biomasa residual del cacao con otras biomásas .....	44
2.4. Cálculo de la producción de energía a partir de los residuos disponibles del cacao .....	44
<b>IV. Resultados y discusiones</b> .....	<b>47</b>
<b>1. Cadena productiva del cacao</b> .....	<b>47</b>

1.1.	Flujograma de la cadena productiva del cacao .....	49
<b>2.</b>	<b>Flujos de producción de los residuos del cacao .....</b>	<b>50</b>
<b>3.</b>	<b>Productividad y residuos generados .....</b>	<b>51</b>
<b>4.</b>	<b>Selección de biomasa a analizar .....</b>	<b>54</b>
<b>5.</b>	<b>Mapa de distribución de residuos disponibles .....</b>	<b>55</b>
<b>6.</b>	<b>Caracterización fisicoquímica y energética de los residuos disponibles del cacao</b>	<b>56</b>
6.1.	Análisis proximal y termogravimétrico .....	56
6.1.1.	Análisis proximal.....	56
6.1.2.	Análisis termogravimétrico.....	57
6.2.	Análisis de poder calórico.....	63
6.3.	Análisis de la composición química.....	64
6.4.	Análisis de componentes estructurales .....	65
<b>7.</b>	<b>Residuos de cacao en comparación con otras biomásas .....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>Estimación del potencial energético.....</b>	<b>68</b>
8.1.	Pronóstico de producción y generación de residuos .....	68
8.2.	Estimación del potencial energético de los residuos del cacao .....	69
8.3.	Valoración energética de los residuos del cacao.....	70
8.4.	Demanda y oferta energética en la Región Madre de Dios.....	70
8.4.1.	Demanda energética .....	70
8.4.2.	Oferta energética .....	71
<b>V.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>73</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>75</b>
<b>VII.</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>77</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>83</b>

## Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Origen, tipos de biomasa y residuos que se generan.....	7
Tabla 2: Región Madre de Dios, área de producción y rendimiento de cacao en grano. ....	28
Tabla 3: Provincias, área de producción y rendimiento de cacao en grano. ....	28
Tabla 4: Principales productos del cacao, usos y sus derivados. ....	29
Tabla 5: Residuos del cacao y cantidades generadas. ....	30
Tabla 6: Muestras seleccionadas y codificadas para el estudio ....	40
Tabla 7: Flujos de producción del cacao.....	50
Tabla 8: Clasificación de usos actuales de los residuos del cacao en la Región Madre de Dios .....	50
Tabla 9: Producción y residuos generados en la Región Madre de Dios .....	51
Tabla 10: Producción y residuos generados en la provincia de Tambopata .....	52
Tabla 11: Producción y residuos generados en la provincia de Tahuamanu.....	53
Tabla 12: Producción y residuos generados en la provincia de Manu .....	53
Tabla 13: Residuos estudiados, codificación para el estudio y humedad inicial.....	54
Tabla 14: Resultados de análisis proximal de los residuos estudiados .....	56
Tabla 15: Resultados de análisis de poder calórico de los residuos estudiados. ....	63
Tabla 16: Resultados de la composición química de los residuos estudiados.....	64
Tabla 17: Análisis de componentes estructurales de los residuos estudiados .....	65
Tabla 18: Caracterización de los residuos del cacao en comparación con otros residuos.....	67
Tabla 19: Pronóstico de producción anual de cacao en grano y de residuos que se generan en el periodo (2017-2021).....	69
Tabla 20: Potencial energético anual de los residuos de cacao en el periodo (2017-2021) .....	69
Tabla 21: Potencial energético de los residuos CMC-1 y RPC usados simultáneamente en la Región Madre de Dios (2017-2021).....	70
Tabla 22: Resumen de la obtención de la demanda energética en la Región Madre de Dios para el año 2016. ....	70

## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Procesos de conversión de biomasa en energía. ....	8
Figura 2: Planta de Theobroma cacao y sus partes.....	24
Figura 3: Perú, superficie cosechada y producción de cacao. ....	26
Figura 4: Perú, rendimiento y producción de cacao. ....	27
Figura 5: Flujograma de la cadena de valor del cacao .....	33
Figura 6: Flujograma de la producción del cacao .....	49
Figura 7: Mapa de distribución de residuos disponibles del cacao en la región Madre de Dios. ....	55
Figura 8: Curva termogravimétrica de la muestra CMC-1 .....	58
Figura 9: Curva termogravimétrica de la muestra CMC-2.....	59
Figura 10: Curva termogravimétrica de la muestra RPC .....	60
Figura 11: Curva de pérdida de peso de CMC-1 .....	61
Figura 12: Curva de pérdida de peso de CMC-2.....	61
Figura 13: Curva de pérdida de peso de RPC .....	62
Figura 14: Producción de cacao en grano (2006-2016) y pronóstico de producción (2017-2021) .....	68
Figura 15: Mapa del potencial energético de los residuos del cacao en la Región Madre de Dios .....	72

## *Índice de anexos*

	Página
Anexo 1 Resultado del laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas y fertilizantes de la universidad nacional agraria la molina.....	83
Anexo 2 Resultados del laboratorio de pulpa y papel de la universidad nacional agraria la molina .....	85
Anexo 3 Resultados del laboratorio de energías renovables – unidad de biomasa energética de la universidad nacional agraria la molina .....	86

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el Perú se ha caracterizado por presentar un crecimiento económico progresivo, lo que al mismo tiempo supone el desarrollo del sector energético como base del mismo. Según (INEI, 2015). la disponibilidad de energía eléctrica a nivel nacional fue de 94,2 por ciento, 99,2 por ciento en zonas urbanas y 78,3 por ciento en zonas rurales, estas últimas representadas en mayor proporción en las zonas más aisladas y pobres de la región amazónica del país. Una de las alternativas de solución contra este déficit energético en estas zonas es el uso de biomasa residual proveniente de la industria forestal y agrícola. Estos residuos están constituidos por cáscaras, cascarillas, ramas provenientes de podas, cortezas, virutas, aserrín, etc. con características fisicoquímicas y energéticas de interés como combustible. Estudios realizados por Muñoz, et al. (2014), muestran que los residuos generados en la actividad agrícola poseen alto potencial energético.

En el país existen varias regiones en expansión y/o desarrollo. Madre de Dios es una de las regiones más promisorias en desarrollo, favorecida por la ampliación de sus vías de comunicación, actualmente con una intensa actividad forestal, agrícola y minera, con un impacto ambiental importante. Esta región tiene un desarrollo agrícola importante, caracterizado por cultivos de cacao, aunque por expansión sobre zonas forestales. El MINAGRI (2016) muestra que la producción de cacao en Madre de Dios ha aumentado en un 37,62 por ciento entre el año 2015 y el primer semestre del 2016, inclusive ha superado a los cultivos prioritarios de la región. En Madre de Dios, sólo en la actividad agrícola del cacao se pueden generar hasta un 90 por ciento de residuos los cuales se representan principalmente en las cáscaras de los frutos. Por lo que debería evaluarse la cadena de valor del cultivo y registrar volúmenes de producción de residuos, a fin de estimar el potencial de producción de nuevos productos con fines energéticos en la región.

El principal objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de los residuos generados en la actividad productiva del cacao en la región Madre de Dios. Determinando y cuantificando la producción de la biomasa residual, su distribución geográfica y su disponibilidad para el aprovechamiento energético. Al mismo tiempo, caracterizándola física, química y

energéticamente. En particular, se analizaron los residuos lignocelulósicos como materia prima para la generación de biocombustibles.

Con el presente estudio se ha logrado obtener la información necesaria sobre temas energéticos que puedan favorecer al aprovechamiento de los residuos en la región Madre de Dios. Esta investigación se enmarca en las actividades del proyecto de investigación de innovación tecnológica 2015: “Evaluación de la biomasa residual agroindustrial con fines energéticos de la región Madre de Dios”, financiado por la oficina de investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1. ENERGÍA DE LA BIOMASA**

Etimológicamente, biomasa es un término compuesto por el prefijo “bio” (del griego bios, vida) y “masa” (del latín massa, masa, bulto o volumen), es decir, hace referencia a “masa biológica” (Sebastián et al. 2010). El glosario de términos de la OCDE define la biomasa como “la cantidad de materia viva de origen vegetal o animal presente en un momento dado en un área determinada”. Pero la definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la Unión Europea (UE) es diferente ya que se define como “la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales”. (García & Martínez 2014).

La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta. (Fernández 2003).

La biomasa comprende toda materia orgánica originada en un proceso biológico utilizable como fuente de energía. Este proceso biológico puede ser espontáneo como la formación de montes naturales o un proceso provocado por acumulación de guano en criadero de aves. Es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial (FAO 2017).

## **1.1. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA**

La biomasa puede presentar diferentes formas de variación de acuerdo con sus propiedades y procesos de obtención, las que se clasifican con el fin de facilitar su identificación.

Senovilla y Antolín (2005) la clasifican según su fuente de obtención, naturales y composición, como a continuación se detalla.

### **1.1.1. SEGÚN SU FUENTE DE OBTENCIÓN:**

Se divide en tres tipos de biomasa: Biomasa natural, Biomasa residual y Cultivos energéticos.

#### **Biomasa natural**

Esta biomasa incluye los bosques naturales, plantas terrestres utilizadas como fuente de alimentación, forraje, fibra y combustible (Giraldo 2012). Puede utilizarse con fines energéticos en forma directa como leña, ramas, estiércol seco o elaborado facilitando su transporte, manipuleo y quemado, ya sea como carbón de leña, pellets de diversos tipos de biomasa lignocelulósica. (FAO 2017).

#### **Biomasa residual**

Es subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas, silvícolas y ganaderas; residuos de la industria agroalimentaria y de la industria de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles) así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites. (FAO 2017).

#### **Cultivos energéticos**

Los cultivos energéticos, realizados con la finalidad de producir biomasa transformable en biocombustibles (en lugar de producir alimentos, como ha sido la actividad tradicional de la agricultura) son ya realidad en países como Brasil y Estados Unidos, que enfocan la producción de caña de azúcar y maíz, respectivamente, a la obtención de bioetanol. En Europa, el etanol obtenido de remolacha y cereales, y los ésteres derivados de aceites de colza constituyen los biocarburantes de mayor desarrollo en la actualidad. (De Juana y Fernández 2005).

### 1.1.2. SEGÚN SU ORIGEN Y USO

FAO (2017) plantea esta clasificación de la siguiente manera:

#### a. Por su origen

<b>Cultivos energéticos</b>	Cultivos tradicionales Cultivos poco frecuentes Cultivos acuáticos Cultivos para producción de combustibles líquidos
-----------------------------	---

---

<b>Biomasa vegetal</b>	Biomasa residual Residuos industriales: Forestales, Agroalimentarios, agrícolas. Residuos agrícolas y forestales Residuos urbanos: residuos sólidos, Aguas residuales (biomasa animal). Excedentes agrícolas
------------------------	--

---

#### b. Por su uso

<b>Biomasa seca</b>	Biomasa no utilizada en procesos de recolección, industria forestal y agroindustria. Subproductos sólidos no utilizados en actividades agrícolas, forestales ni industrias agroalimentarias o madereras. Por ejemplo, cáscara de almendra, podas frutales, aserrín, entre otros.
---------------------	--

---

<b>Biomasa húmeda</b>	Se trata de biomasa que supera contenidos del 60% de humedad y requiere procesos de secado o ser utilizada en procesos húmedos para la producción de biogás. Vertidos biodegradables. Por ejemplo, aguas residuales urbanas e industriales y residuos ganaderos (purines).
-----------------------	--

---

**Biocombustibles** Combustibles líquidos o gaseosos que han sido producidos mediante la transformación de cereales u otros cultivos de alto contenido energético. Tiene su origen en el reciclado de aceites y también en la transformación del trigo, maíz, colza, soja, girasol, entre otros.

### 1.1.3. POR SUS COMPONENTES ESTRUCTURALES

Sebastián (2010) la clasifica a la biomasa de la siguiente forma:

**Biomasa lignocelulósica** Aquella en la que predominan la celulosa, hemicelulosa y la lignina, principales componentes de la estructura de los vegetales.

---

**Biomasa amilácea** En ella los hidratos de carbono se encuentran en forma de polisacáridos de reserva, como el almidón o la inulina.

---

**Biomasa azucarada** El componente hidrocarbonatado predominante está constituido por azúcares, bien sean monosacáridos (glucosa o fructosa) o disacárido (sacarosa), como por ejemplo ocurre en la remolacha o la caña de azúcar.

---

**Biomasa oleaginosa** El componente principal, o al menos más representativo para su uso final, son los lípidos, básicamente aceites o gomas.

---

A continuación, se muestra la tabla 1, donde se muestran los residuos divididos por categorías, actividad en la que se generan los residuos, tipos de industria en la que se generan y los residuos finales generados en cada caso.

**Tabla 1: Origen, tipos de biomasa y residuos que se generan.**

<b>Categoría</b>	<b>Actividad origen del recurso</b>	<b>Tipos</b>	<b>Residuos que genera</b>
Residuos forestales	Tratamientos silvícolas: Cortas de mejora y cortas parciales Clareos, claras podas	Principalmente en montes repoblados o en aquellos naturales con un cierto interés económico.	Árboles de pequeño tamaño (pies menores) sin valor comercial. Ramas de poda. Biomasa del estrato arbusto.
	Tratamientos silvícolas: Cortas de regeneración.	Objetivo de extracción de madera del monte, tanto en masas naturales como en artificiales.	Copas, ramas, rabeones, pies ecos sin interés.
	Incendios forestales	En pinares por lo general	Árboles quemados de escaso interés comercial.
	Apertura de caminos, cortafuegos, etc.	En todo tipo de monte	Copas, ramas, rabeones, pies secos sin interés, arboles de pequeño tamaño (pies menores, sin valor comercial.
Residuos agrícolas	Cultivo de espíes herbáceas	Cereales, oleaginosas, algodón, etc.	Paja, zuros, bagazo, etc.
	Poda de especies leñosas	Olivo, vid, frutales	Ramas, pies secos y tocones.
Industrias agroalimentarias	Industrias extractivas Industrias preparadoras	Extrativas de café, aceite, vinícolas. Preparación de arroz, algodón, frutos secos, etc.	Alpechines, orujo de oliva, marro de café, cascarilla de arroz, desmotado de algodón.
Industrias forestales	Primera transformación	Aserrado Fabricación de tableros Desenrollo y chapas Celulosas Industria del corcho	Cortezas, costeros, serrines, virutas Cortezas y polvo de lijado Recortes de chapa, desenrollo Corteza y finos Restos de corcho y finos
	Segunda y posteriores transformaciones	Carpintería, muebles Embalajes de madera, palés Papel Derivados del corcho	Recortes, tacos, serrín, virutas, polvo de lijado Papel Recortes de corcho, polvo lijado, etc.

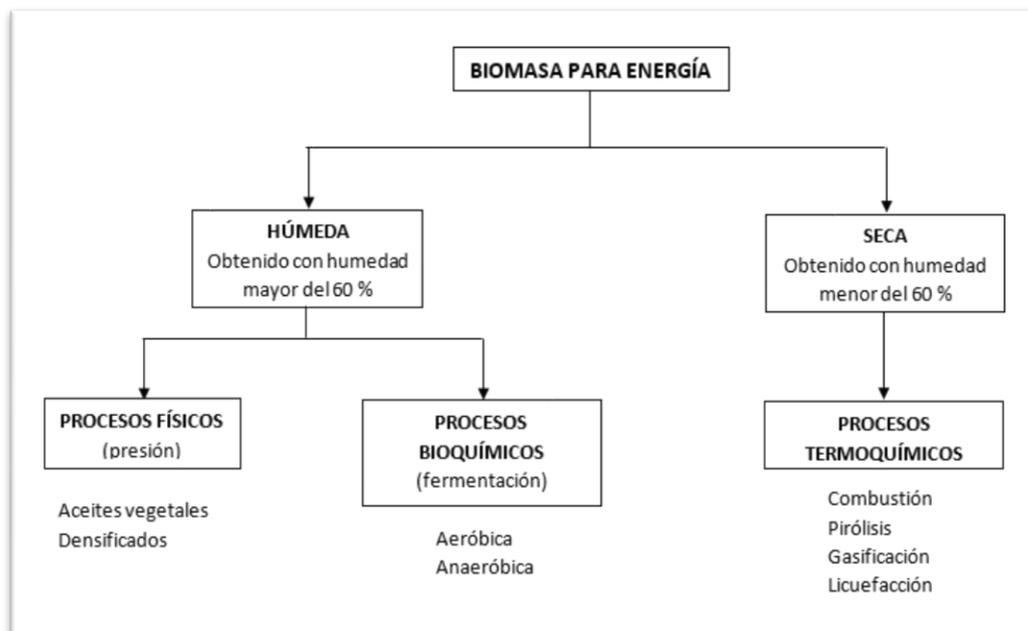
*FUENTE: FERNÁNDEZ (2003)*

De acuerdo con los tipos de clasificación mencionadas anteriormente, se puede decir que la biomasa del cacao es considerada según su fuente de obtención como una Biomasa residual, de acuerdo con su uso una biomasa Húmeda, de acuerdo a su estado de agregación; como una Biomasa sólida y de acuerdo con su composición principal; como una biomasa lignocelulósica.

## 1.2. PROCESOS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA

Los procesos de transformación de la biomasa se agrupan en tres grandes grupos: Los bioquímicos por acción microbiológica, los termoquímicos, a través de tratamientos térmicos, y los físicos. (Gómez A. et al. 2008). Cerdá (2012), menciona que hay que distinguir entre procesos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación) y procesos bioquímicos (digestión anaerobia y aeróbica).

A continuación, en la figura 1, se muestran los tipos de biomasa divididos por su contenido de humedad (biomasa seca y húmeda) y los procesos de transformación que pueden seguir de acuerdo con su humedad.



**Figura 1: Procesos de conversión de biomasa en energía.**

*FUENTE: CERDÁ (2012).*

A continuación, se describen los tres procesos de transformación de biomasa en energía.

## PROCESOS TERMOQUÍMICOS

Los procesos termoquímicos de conversión de la biomasa en energía o combustibles son aquellos en que se encuentran implicadas reacciones químicas irreversibles, a altas temperaturas y en condiciones variables de oxidación. Esta tecnología se utiliza en casos en los que la biomasa, por su estado básicamente sólido y seco, permite su transformación en energía a altas velocidades de reacción. (Míguez, J 2004).

En los procesos termoquímicos se habla generalmente de combustión, pirólisis, gasificación y licuefacción.

**Combustión** Proceso en el que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reaccionan con el exceso de oxígeno para formar CO<sub>2</sub>, agua y liberar calor. (Cerdá 2012). Permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos (cocción, calefacción) o industriales (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una máquina). (INTI 2008)

**Pirólisis** Es el más simple y antiguo método para procesar un combustible, con el fin de obtener los mayores valores de potencia calorífica y de densidad energética. Los productos de la pirólisis son gases, vapores, líquidos, aceites y carbonilla. (González, J. 2009). Las cantidades relativas de los tres productos que se obtienen dependen de la temperatura a la que se opere y del tiempo de residencia utilizado en el proceso. (Cerdá 2012).

**Gasificación** Ocurre cuando se produce una oxidación parcial de biomasa a través del calor. Ello produce un combustible compuesto por una mezcla de gases, ricos en CO y en H<sub>2</sub> que tiene un contenido energético del orden del 10 al 45 por 100 del valor calorífico del gas natural (dependiendo del tipo de biomasa y de si la gasificación tiene lugar con aire, oxígeno o calor indirecto). (Cerdá 2012).

**Licuefacción** Es un proceso termoquímico para la obtención de combustibles líquidos a bajas temperaturas y altas presiones con una presión parcial de hidrógeno alta y también con catalizadores para mejorar la reacción y/o provocar la selectividad del proceso. El producto obtenido es un líquido de mayor calidad que el obtenido mediante el proceso de pirólisis en cuanto a su poder calorífico (35-40 MJ/Kg) y a su menor contenido en oxígeno (< 15%) pero presenta una serie de desventajas: trabajar a muy altas presiones, problemas en el bombeo de la alimentación a esas presiones, la utilización de hidrógeno y el coste elevado al ser un proceso presurizado. (Míguez 2004).

## PROCESOS BIOQUÍMICOS

Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos). (INTI 2008).

**Procesos Anaeróbicos** La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales de baja relación carbono/nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado “digestor” y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás. Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción de biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas.

**Procesos Aeróbicos** La fermentación aeróbica de biomasa de alto contenido de azúcares o almidones da origen a la formación de alcohol (etanol), que, además de los usos ampliamente conocidos en medicina y licorería, es un combustible líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo.

## PROCESOS FÍSICOS

Son procesos que actúan físicamente sobre la biomasa y están asociados a las fases primarias de la transformación. Estos procesos están incluidos en la fase de acondicionamiento y son: El triturado, el astillado, el compactado e incluso el secado. (Mujal 2000). Existen dos tratamientos para reducir la granulometría de la biomasa, los cuales son el triturado y el astillado.

**Reducción de la granulometría** Triturado: Consiste en transformar piezas de biomasa de grandes dimensiones, como troncos, tocones, ramas, etc., en piezas más pequeñas.

Astillado: Consiste, en general, en sistemas de rotación rápida que transforman biomasa de tamaño intermedio (ramas o troncos de pequeño diámetro), en astillas desde pocos a varios centímetros. Se utiliza el astillado con: residuos forestales, residuos de industrias de transformación de la madera y podas de frutales.

**Densificación** Es la técnica necesaria para aumentar la densidad asimismo que disminuyen los gastos de almacenaje y transporte ya que algunos biocombustibles tienen una baja densidad. (Tirado 2016). Los procesos de densificación o compactación se aplican cuando se desea obtener un incremento de la densidad energética de la biomasa, así como la mejora de sus propiedades como combustible alternativo.

**Secado** Este pretratamiento se consigue mediante el secado de la biomasa el cual puede realizarse de manera natural apilando la materia en pilas, o bien de manera forzada, con sistemas de secado industriales. (Sebastián 2010)

**Extracción** Involucra procesos físicos de prensado, extracción y destilación de las biomásas oleaginosas para obtener hidrocarburos y aceites vegetales que pueden emplearse directamente como combustibles

o bien convertirse en ésteres metílicos por reacciones de transesterificación con alcohol (biodiesel), utilizables principalmente en automoción. (San Miguel & Gutiérrez 2015).

## **2. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS**

### **2.1. FUENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS**

El sector agrícola es una importante fuente de residuos, los cuales son principalmente subproductos de los procesos de labores culturales (ramas, malezas) y de la cosecha (hojas, cáscaras, etc.).

La biomasa de origen agrícola puede ser bien biomasa agrícola primaria, llamada entonces cultivos energéticos, o biomasa agrícola secundaria, o residual agrícola, consistente en este caso en los restos vegetales producidos durante los tratamientos aplicados al cultivo: paja tras la cosecha de cereales, restos de poda, etc. (Sebastián et al. 2010).

### **2.2. VALOR DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO COMBUSTIBLES**

El uso de la biomasa residual agrícola como fuente de energía es en los últimos años una buena alternativa para suplir la deficiencia energética en algunas zonas donde no se cuenta con un abastecimiento energético. El uso de este tipo de biomasa presenta diversas ventajas, ya sea en la utilización de residuos que antes no eran aprovechados ni alimenticia ni energéticamente, en la reducción de contaminación local, etc. Sin embargo, las utilidades de estos residuos presentan también algunas desventajas con las que debemos luchar. Sebastián et al (2010) mencionan que las desventajas de la biomasa de origen agrícola son que se generan de una manera muy estacional y que se caracterizan por presentar una heterogeneidad muy amplia. Es decir, los residuos que se pueden generar en la actividad agrícola pueden ser hojas, tallos, ramas de podas, bulbos, cáscaras de frutos, etc. eso quiere decir que, para poder utilizarlos, es necesario adaptar las tecnologías de utilización para cada tipo de residuo. Castells et al (2005) menciona que, si bien estos residuos no revisten una especial significación debido a que, por lo general su contenido de humedad es muy elevado, las cantidades que se generan son muy importantes. Sin embargo, el contenido de humedad elevado en algunos residuos agrícolas no es una total desventaja ya que se pueden procesar y transformar para su aprovechamiento energético.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

La caracterización de la biomasa residual agrícola, pecuaria y de los residuos sólidos orgánicos urbanos contempla la determinación de los parámetros que describen la composición de la materia orgánica (Castells et al. 2005); correspondiente a un análisis fisicoquímico y de contenido energético. Además, la caracterización de la biomasa sirve para obtener una previsión del comportamiento de la biomasa ante las diferentes etapas involucradas en su uso como fuente de energía: obtención, transporte, tratamiento y conversión de energía.

Sebastián (2010) menciona que las propiedades pueden dividirse en propiedades físicas, químicas y energéticas como se muestra a continuación:

<b>Parámetros físicos</b>	Densidad real y aparente	Influyen en la selección y el diseño de los equipos de manejo del material y la necesidad de pretratamiento.
	Humedad	
	Distribución granulométrica	
<b>Parámetros químicos</b>	Análisis elemental	Determinan el comportamiento de la biomasa durante los procesos de transformación química y termoquímica
	Análisis inmediato	
	Componentes estructurales	
	Composición de cenizas	
	Fusibilidad de cenizas	
<b>Parámetros energéticos</b>	Poder calórico	Determina la cantidad de energía aprovechable

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La biomasa presenta características, como granulometría, densidad, contenido de energía por unidad de volumen, contaminantes, entre otras, que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular.

Las principales propiedades físicas para caracterizar la biomasa residual son las siguientes:

### 3.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es una característica muy determinante en términos de la energía que es posible obtener por unidad de biomasa, además de incidir en su manejo. Cuando la biomasa reduce de modo considerable su contenido de humedad, también reduce significativamente su peso, su volumen y la actividad biológica de agentes externos, lo que implica un mejor transporte, logística y conservación. Por otra parte, garantiza la reducción de emisiones en la combustión, incrementa el poder calorífico y facilita su astillado o molienda (NREL 1998).

De acuerdo con el contenido de humedad la biomasa se puede clasificar en biomasa seca o biomasa húmeda. Ballesteros (2009) menciona las diferencias entre estos dos tipos.

**Biomasa seca** Presenta un contenido de humedad menor de 60 %, como la leña, la paja, etc. Se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos termoquímicos o fisicoquímicos, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en forma de biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

**Biomasa húmeda** Presenta un contenido de humedad superior al 60% como por ejemplo algunos residuos vegetales, los residuos animales y los lodos de depuradora. Resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante procesos químicos o en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos.

### 3.1.2. GRANULOMETRÍA Y GEOMETRÍA DE LA BIOMASA

Hace referencia al formato como se presenta la biomasa, es decir, en fardos, ramas, polvos, entre otros (García & Rezeau 2010). La granulometría y geometría de la biomasa determinan las propiedades físico-mecánicas en el transporte y la alimentación del combustible a la unidad de conversión, la que puede ser muy variable. El diseño de los equipos en los cuales se aprovechará la biomasa debe considerar estas características, o bien la biomasa se debe adecuar en tamaño de acuerdo con los procesos de conversión en el que se desea utilizar. El tamaño medio y la geometría junto con contenido de humedad está

estrechamente relacionada con la capacidad de almacenamiento, transporte e incluso comercialización de la biomasa. (Carmona 2015).

### **3.1.3. DENSIDAD REAL Y APARENTE**

La densidad real es aquella propia de la materia, mientras que la densidad aparente tiene que ver con el modo cómo cada tipo de biocombustible sólido tiende a llenar un volumen. De otra manera, la densidad aparente, es la cantidad de peso de biocombustible sólido que se puede acumular en un volumen dado. (Sebastián et al 2010).

Los combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requieren equipos de menor tamaño y permiten aumentar los periodos entre cargas. Por otro lado, los materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos del proceso. (Biomass Users Network Centroamérica – BUN-CA 2002).

## **3.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA**

El conocimiento de la composición química de biomasa es muy valioso en el desarrollo de proceso para producir biocombustibles y productos químicos en general. Esta información puede conducir al mejoramiento y desarrollo de métodos más eficientes de conversión. En particular, para la producción de etanol de segunda generación serán de interés los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina, en tanto que para la producción de biodiesel de segunda generación son importantes los contenidos de lignina, cantidad y composición de las cenizas, porcentajes de Carbono, hidrógeno y oxígeno y la presencia de elementos contaminantes o indeseados para el proceso, como azufre, cloro y nitrógeno. (Carmona 2015).

Para realizar una correcta caracterización química de la biomasa, es necesario evaluarla mediante la realización de tres principales análisis: Análisis elemental, Análisis inmediato y de Componentes estructurales.

### **3.2.1. ANALISIS ELEMENTAL**

El análisis elemental permite establecer el porcentaje en peso de los principales elementos con mayor presencia en la estructura molecular de la materia orgánica: carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S). Se utiliza para combustibles sólidos y líquidos.

Las biomásas contienen otros elementos, según la cantidad en que participan se clasifican en macro y microelementos. Estos son relevantes, ya que sus partículas emitidas como gases o cenizas, en primera instancia, pueden producir problemas de depositaciones o corrosión en los ductos y elementos de las unidades de conversión. Por otro lado, las emisiones a la atmósfera pueden producir alteraciones para el ecosistema, por lo que se recomienda tener en cuenta la concentración de estos elementos previo a la utilización del biocombustible, con el objeto de considerar el posible tratamiento y/o disposición de los residuos. (Sebastián 2010).

Entre los principales macroelementos y microelementos se encuentran los siguientes.

**Macroelementos**      Nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), fósforo(P), magnesio (Mg), azufre (S) y hierro (Fe). En algunos casos se considera el cloro (Cl), silicio (Si) y en Sodio (Na).

**Microelementos**      Boro (B), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo).

A continuación, se detallan los principales elementos que componen la biomasa y cómo influyen en la caracterización de la misma según distintos autores.

**Nitrógeno**                      El N es un componente esencial en las plantas y forma parte de las proteínas, de los ácidos nucleicos, de las bases orgánicas, del pigmento de la clorofila, entre otras estructuras. En la biomasa lignocelulósica se encuentra en mayor concentración en la corteza, residuos de cosecha y cultivos de rotación corta, no obstante, la madera es la biomasa con menor concentración de N (Oberberger 2005). Durante la combustión, el N orgánico se oxida a NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno); siendo expulsado en los gases de la combustión donde solo una parte mínima se incorpora en las cenizas.

**Azufre**                              El S es un elemento esencial para la formación de proteínas en la célula y su relevancia en la biomasa radica en que en la

combustión directa es un potencial formador de los gases contaminantes de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), precursores de lluvia ácida, y a su vez es un contaminante del biogás, pues participa en la formación de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). Sin embargo, su mayor importancia está en el papel que juega en los procesos de corrosión en la superficie de los tubos de los intercambiadores de calor en las unidades de conversión como las calderas. La incorporación del S a las cenizas es muy variable (de 40 a 90%), y esta depende de la concentración de metales alcalinos (Ca) en la biomasa (Oberberger 2005). Este elemento da lugar a las escorias perjudiciales y forma óxidos muy contaminantes. En la combustión de la biomasa, el nitrógeno no aporta energía, y si la cantidad de oxígeno presente en la biomasa ayuda a reducir las necesidades de aire en la combustión, pero reduce su poder calórico. El carbono de la biomasa puede proceder tanto de la materia orgánica como de los carbonatos presentes. Las relaciones H/C y O/C, determinan las eficiencias de conversión energética de los biocombustibles. La biomasa, en comparación con los combustibles fósiles, tiene un mayor contenido de oxígeno. El incremento del poder calorífico implica la disminución de la relación O/C y aumenta la relación H/C. (Ptasinski; et. al 2007)

**Relación****Carbono/Nitrógeno****(C/N)**

Expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteínica. La relación C/N es un índice significativo de la digestibilidad de un determinado material orgánico. Un residuo orgánico con una relación adecuada de C/N es apto para la producción de biogás mediante un proceso de fermentación. La formación de metano y de ácido puede darse con valores mínimos de C/N de 16. Sin embargo, las bacterias responsables del proceso pueden tener un excelente desempeño cuando el residuo presenta una relación C/N entre 25 y 30 (Werner 1989).

**Potasio, Calcio** Se encuentran en forma de óxidos en las cenizas y su presencia  
**Sodio y Magnesio** condiciona el pH de estas y en la temperatura de fusión. (Werner, 1989).

### 3.2.2. ANÁLISIS INMEDIATO O PRÓXIMAL

El análisis inmediato proporciona los contenidos de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo de la biomasa, expresados como porcentajes en peso. Básicamente, este análisis sirve para identificar la fracción de la biomasa en la que se encuentra almacenada su energía química (compuestos volátiles y carbono fijo) y la fracción inerte (humedad y cenizas). A continuación, se detallan los principales componentes de la biomasa y la influencia en sus características.

**Cenizas (Cz)** Corresponden a la cantidad de materia sólida no combustible presente en un material. Es usual expresar la cantidad de ceniza por kilogramo de muestra. El poder calórico de un material se reduce de acuerdo con su contenido de cenizas. Un alto contenido de cenizas en un residuo biológico es perjudicial para su aprovechamiento energético por vías térmicas ya que reduce su poder calórico. Las cenizas tienden a depositarse en las tuberías de las calderas e intercambiadores, ocasionando dificultad en la transmisión del calor.

Sin embargo, la eliminación de las cenizas presentes en un compuesto implica el uso de tecnologías complejas y costosas (Castells et al. 2005, Couping; et al 2004).

**Materia volátil (MV)** Está constituido por combinaciones de carbono, hidrógeno y otros elementos. El material volátil se determina calentando la muestra en un crisol tapado durante siete minutos a 950 °C; a esta temperatura se lleva a cabo un proceso de descomposición de la materia orgánica por ruptura de enlaces químicos (pirolisis). La pérdida en peso que sufre la muestra, una vez descontada su humedad, indica la cantidad de compuestos gaseosos producidos en la descomposición de la sustancia carbonosa (Castells, et al. 2005). El contenido de material volátil de

una idea de la longitud de la llama, en el caso que esta biomasa se utilice en un proceso de incineración.

**Carbono fijo (CF)** Es la fracción de carbono residual que permanece luego de retirar de la muestra humedad, las cenizas y el material volátil. Por consiguiente, se puede calcular el porcentaje de carbono fijo =  $100 - \text{porcentaje de humedad} - \text{porcentaje de material volátil} - \text{porcentaje de ceniza}$ . El carbono fijo es el compuesto que no destila cuando se calienta un combustible.

Desde el punto de vista energético, no todos los volátiles presentes en el material aportan energía. La cantidad de material volátil y carbono fijo presentes en la biomasa, permiten establecer la facilidad con la cual el residuo reacciona, se oxida y se gasifica. La ocurrencia de uno u otro tipo de reacción depende del tipo de proceso utilizado para el aprovechamiento energético de la biomasa.

**Humedad** Es la cantidad de agua presente dentro de una muestra de materia. El proceso de conversión energética de la biomasa se ve afectado por su contenido de humedad. La biomasa con una humedad inferior al 50 - 60% pueden ser aprovechadas térmicamente mediante el proceso de combustión directa, pirólisis o gasificación. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. (UPME 2010).

Cuando los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy elevado es necesario, antes de ingresar al proceso de conversión de energía, implementar operaciones de secado las cuales incrementan los costos de su aprovechamiento energético (McKendry 2002).

UPME (2010) recomienda que una materia orgánica con porcentajes de humedad superior al 50% sea aprovechada energéticamente

mediante un proceso bioquímico como la fermentación o la digestión anaerobia.

### 3.2.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES ESTRUCTURALES

Los biocombustibles sólidos tienen un origen vegetal, y presenta estructuras tan diferentes como puedan tener las hojas, las ramas, el tronco de un árbol, las raíces, los tubérculos, los frutos, las semillas o la paja de cereal. Por lo general, la biomasa sólida está principalmente constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina. (Sebastián et al 2010)

**Celulosa** Polisacárido (carbohidrato no reductor), de peso molecular elevado insoluble en agua e insípido. La celulosa está compuesta por unidades de D-glucosa unidas entre sí por enlaces  $\beta$ -1,4 glucosídicos, estructuralmente consta de una parte amorfa y otra cristalina (organizada), la cual le confiere protección a la célula y constituye un impedimento estérico al ataque de reactivos.

**Lignina** Es un polímero ramificado, amorfo y heterogéneo. En los vegetales ayuda a mantener unidos la celulosa y las hemicelulosas entre sí, proporcionando rigidez a la pared celular del material y evita la acción de los microorganismos.

**Hemicelulosas** Son carbohidratos que forman una estructura polimérica compleja, ramificada compuesta por la unión de diferentes unidades de pentosas, hexosas y ácidas de estos azúcares. La función de la hemicelulosa es brindar rigidez a la estructura vegetal.

Mckendry P. (2002) menciona “la proporción de celulosa y lignina en una biomasa vegetal es importante para seleccionar su proceso de aprovechamiento energético. La biodegradabilidad de la celulosa es mayor que la de lignina, por lo tanto, la conversión promedio de las plantas que contienen carbón como celulosa es mayor que aquellas con altos contenidos de lignina. A manera de ejemplo, la bioproducción de etanol alcanza elevados rendimientos cuando se utiliza como sustrato una biomasa que posee un alto contenido de celulosa-hemicelulosa”.

### **3.3. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA**

En los combustibles el contenido energético depende del poder calorífico. El cuál es la energía química del combustible que puede ser transformada directamente en energía térmica mediante un proceso termoquímico de oxidación (combustión) esta propiedad suele expresarse en unidades de energía por unidades de masa (generalmente, KJ/kg, MJ/kg o Kcal/kg).

Existen dos formas de expresar el poder calorífico de un combustible. Si tras la combustión, el agua formada en los gases de combustión (proveniente de la humedad o de la oxidación del hidrógeno) se encuentra en forma líquida, se obtiene el poder calorífico superior (PCS). Si permanece en forma de vapor se obtiene el poder calorífico inferior (PCI). Pueden expresarse por unidad de combustible húmedo (a una determinada humedad) o combustible seco (humedad cero). (Sebastián et al 2010).

## **4. EL CACAO**

### **4.1. LA PLANTA DE CACAO**

El cacao (*Theobroma cacao*. L.), pertenece a la familia Esterculiáceae. El origen de esta especie es probablemente la región amazónica (cuenca alta del río Amazonas) y comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En esta región es donde se presenta la mayor variación de la especie. El género *Theobroma* se encuentra en estado natural en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América tropical y prospera mejor entre los 18° N y 15° S del Ecuador a una altitud inferior a 1,250 m. Sin embargo, hay que tener en cuenta la gran participación de Mesoamérica en su domesticación (Enríquez 1985). Posteriormente, con la globalización se amplió el cultivo hacia África y otros países que se encuentran  $\pm 10^\circ - 20^\circ$  de la línea ecuatorial (ICCO 2013).

Las condiciones óptimas para el cultivo de cacao según FAO (2014) son las siguientes:

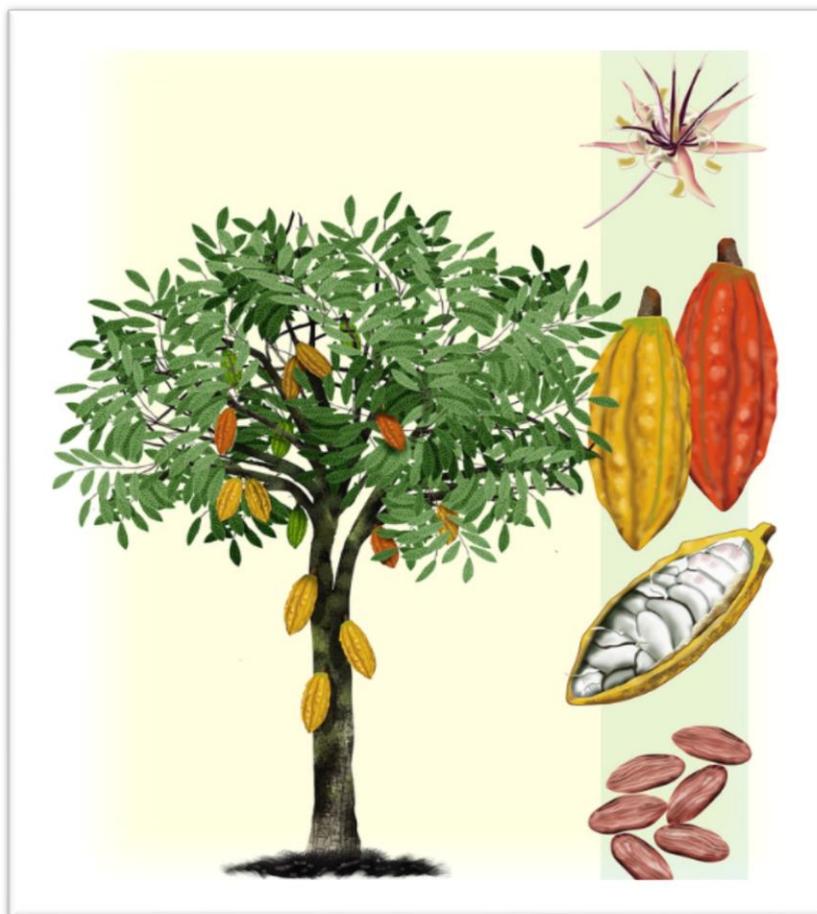
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>MÍNIMA</b>	<b>MÁXIMA</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	21	28
<b>Precipitación anual (mm)</b>	1000	2500
<b>Altitud (msnm)</b>	0	800
<b>pH del suelo</b>	6	7
<b>Profundidad(cm)</b>	> 150	
<b>Textura</b>	Franco o Franco arcilloso limoso	
<b>Salinidad(dS/m)</b>	< 4	
<b>Drenaje</b>	Bueno	
<b>Zona climática</b>	Tropical húmeda y seca	
<b>Fotoperiodo</b>	12	

Las características de la planta de cacao según CONABIO son las siguientes:

<b>Forma</b>	Árbol de pequeña talla, perennifolio, de 4 a 7 m de altura (cultivado). El cacao silvestre puede crecer hasta 20 m o más.
<b>Copa / Hojas</b>	Copa baja, densa y extendida. Hojas grandes, alternas, colgantes, elípticas u oblongas, de (15) 20 a 35 (50) cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, de punta larga, ligeramente gruesas, margen liso, verde oscuro en el haz y más pálidas en el envés, cuelgan de un pecíolo.
<b>Tronco / Ramas</b>	El tronco tiene un hábito de crecimiento dimórfico, con brotes ortotrópicos o chupones. Ramas plagiotrópicas o en abanico. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas; al

	<p>conjunto se le llama "molinillo". Es una especie cauliflora, es decir, las flores aparecen insertadas sobre el tronco o las viejas ramificaciones.</p>
<b>Corteza</b>	<p>Externa de color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada. Interna de color castaño claro, sin sabor.</p>
<b>Flor(es)</b>	<p>Se presentan muchas flores en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm. La flor es de color rosa, púrpura y blanca, de pequeña talla, de 0.5 a 1 cm de diámetro y 2 a 2.5 cm de largo, en forma de estrella.</p>
<b>Fruto</b>	<p>Una baya grande comúnmente denominada "mazorca", carnosa, oblonga a ovada, amarilla o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de grueso, puntiaguda y con camellones longitudinales; cada mazorca contiene en general entre 30 y 40 semillas dispuestas en placentación axial e incrustadas en una masa de pulpa desarrollada de las capas externas de la testa.</p>
<b>Semilla</b>	<p>Semillas grandes del tamaño de una almendra, color chocolate o purpúreo, de 2 a 3 cm de largo y de sabor amargo. No tiene albumen y están recubiertas por una pulpa mucilaginosa de color blanco y de sabor dulce y acidulado. Todo el volumen de la semilla en el interior está prácticamente ocupado por los 2 cotiledones del embrión. Se les llama vulgarmente "habas" o "granos" de cacao.</p>
<b>Raíz</b>	<p>El sistema radical se compone de una raíz pivotante que en condiciones favorables puede penetrar más de 2 m de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y de un extenso sistema superficial de raíces laterales distribuidas alrededor de 15 cm debajo de la superficie del suelo.</p>
<b>Sexualidad</b>	<p>Hermafrodita</p>

En la figura 2 se observa la planta de cacao y sus partes.



**Figura 2:** Planta de *Theobroma cacao* y sus partes

*FUENTE: CÁRDENAS, 2014.*

#### **4.2. VARIEDADES DE CACAO**

Por su origen y características genéticas, el cacao está clasificado en tres tipos:

##### **Criollo**

Esta variedad representa los cacaos originales, cuyas plantaciones más antiguas se remontan al siglo XVII. Cultivada al principio en Venezuela, en América central y en México, también la reencontramos hoy en Ecuador, en Nicaragua, en Guatemala y en Sri Lanka. Es famoso por su finura y sus aromas poderosos. Actualmente están sustituyendo a las plantaciones antiguas de Forasteros. Una planta produce en promedio 10 kilos de cacao al año. (Plaisir

2005). Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas, de color blanco a violeta, dulces y de sabor agradable.

### **Forastero**

Este grupo es muy diversificado y representa especies mucho más resistentes y mucho más productivas que Criollo; en África rinde hasta 120 kilos anuales por planta, aunque con una calidad más baja. Cultivados al principio en Alta Amazonia, constituyen hoy la producción principal de África del oeste y en extenso, el 80% de la producción total mundial. Se trata pues de unos cacaos de calidad ordinaria (un aroma poco pronunciado y una amargura fuerte y corta) que entran en la fabricación de los chocolates corrientes. (JICA 2013)

### **Trinitario**

Esta especie de cacao es un híbrido biológico natural entre Criollos y Forasteros, que fue exportado por Trinidad donde los colonos españoles habían establecido plantaciones. No tiene atributo puro a su especie y la calidad de su cacao varía de media a superior, con un contenido fuerte en manteca de cacao. Representa el 15% de la producción mundial. El cacao trinitario es el punto de equilibrio entre calidad, precio y volumen de producción: hasta 60 kilos anuales por planta; sin embargo, el criollo es el mejor, y el de mayor demanda entre los fabricantes de chocolates finos. (Plaisir 2005).

Con el pasar de los años se han ido generando cruzamientos o variedades híbridas a las cuales en la actualidad se les está dando mayor énfasis en su cultivo, ya que presentan mejores rendimientos y pueden ser más resistentes a cambios bruscos de temperatura o ataques biológicos.

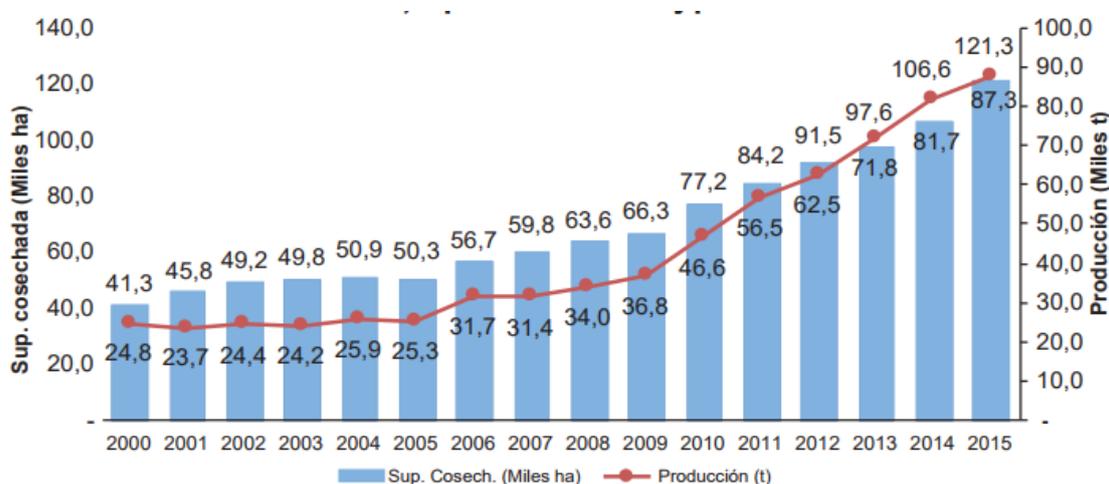
### **Variedades híbridas**

Entre las variedades híbridas se puede clasificar un promedio de 50 tipos entre las que sobresalen las variedades Guayaquil, Ceilán, Patastillo, Lagarto, Blanco Marfil, Uranga, Porcelana, Matina, Pajarito, Sánchez, entre otras. Una variedad importante es el cacao CCN-51, un cacao convencional obtenido en Naranjal, provincia de Guayas en Ecuador, en el año 1965, por el agrónomo Homero Castro Zurita. Su denominación CCN alude a Colección Castro Naranjal y su numeración como 51 al número de cruces realizados para obtener la variedad deseada. Este cacao ha adquirido gran popularidad entre los agricultores por tener

características de alta productividad por hectárea. Es auto compatible al no necesitar de polinización cruzada para su fructificación; de cultivo precoz al iniciar su producción a los dos años; resistente a plagas y enfermedades; fácilmente adaptable a diversas zonas tropicales; y poseer un alto porcentaje de grasa (54%) haciéndolo muy cotizado por la industria. Por el lado contrario, no cuenta con las características del cacao fino de aroma (CFdA) al tener un sabor ácido y astringente (ICCO 2014b).

#### 4.3. SITUACIÓN ACTUAL DEL CACAO EN PERÚ Y EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS

Entre los años 2000-2008, la producción de cacao presentó un crecimiento anual (promedio) de un 4 %; y en una segunda etapa, entre los años 2009 y 2015, muestra un incremento promedio anual de un 15,5%. En el año 2000 la producción de cacao en grano es de 24,8 mil toneladas y al año 2008 se había elevado a solo 34 mil toneladas (37% aumento entre ambos años). Sin embargo, a partir del 2009 se observa un fuerte crecimiento de la producción nacional, de manera que, de 36,8 mil toneladas producidas en el 2009, se eleva en los siguientes años hasta las 87,3 mil toneladas en el 2015 (137,2% de incremento entre ambos años). (MINAGRI 2016). La figura 3 muestra la superficie cosechada y la producción de cacao a nivel nacional.



**Figura 3:** Perú, superficie cosechada y producción de cacao.

FUENTE: MINAGRI- DGSEP- DEA.

En cuanto a las áreas cosechadas, es importante mencionar que el incremento de la producción nacional de cacao en grano es producto de la ampliación de las áreas cosechadas, aumentando éstas entre los años 2000 hasta el 2008 a una tasa promedio de 5,6 por ciento

por año. Al 2015 se alcanza una extensión de 121,3 mil hectáreas. La ampliación del área cosechada en estos últimos años se sustenta en el impulso del cultivo de cacao como alternativa a la producción ilícita de la hoja de coca, siendo un gran porcentaje de este incremento desarrollado en la zona del VRAEM. (MINAGRI, 2016). La figura 4 muestra el rendimiento y la producción de granos de cacao a nivel nacional.



**Figura 4: Perú, rendimiento y producción de cacao.**

FUENTE: MINAGRI- DGSEP- DEA,

Para el año 2017, el incremento de producción se observó en 11 departamentos del Perú, en Ucayali (66,6 %), Huánuco (38,0%), Cusco (20,0%) y Junín (6,6%), los cuales participaron con el 52,6 % de la producción nacional. Asimismo, creció en Madre de Dios (252,6 %), Pasco (204,5%), La libertad (16,5%), Amazonas (6,1%), Puno (4,3%), Loreto (1,7%) y Tumbes (1,6%). (Diario Gestión 2017).

Una de las regiones que en los últimos años muestra un gran incremento en la producción del cultivo es Madre de Dios. En el presente año, bajo la iniciativa del Proyecto REDD+ Tambopata- Bahuaja Sonene se han plantado un millón de árboles de cacao fino y aromático en la zona de amortiguamiento de la reserva de Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene de Madre de Dios. Para el 2020, el proyecto plantea la instalación de 4000 hectáreas de cacao fino aromático con especies agrícolas temporales y especies forestales permanentes. Así mismo en la región MDD se están llevando a cabo estrategias y acciones de la mano con el Programa de Sierra Selva Exportadora para el periodo 2017 – 2021, el cual se encargará de impulsar la producción de cacao orgánico de la mano con las asociaciones cacaoteras. (Diario Gestión 2016). Hace pocos años este proyecto ha financiado a los productores de la Asociación San Francisco en Tambopata, la cual ha implementado en sus

procesos de producción, salas de control de calidad, fermentado, secado y almacén, así como equipos de control de calidad. En la tabla 2 se presentan datos de producción de cacao en grano de los últimos 10 años para la Región Madre de Dios. (MINAGRI-DGIA 2017).

**Tabla 2: Región Madre de Dios, área de producción y rendimiento de cacao en grano.**

AÑO	REGIÓN MADRE DE DIOS		
	Producción (t)	Área de producción (Ha)	Rendimiento (t/Ha)
2006	50,79	75,25	0,67
2007	33,07	47,63	0,69
2008	44,93	66,00	0,68
2009	39,35	60,55	0,65
2010	37,23	55,25	0,67
2011	37,34	56,00	0,67
2012	45,71	77,75	0,59
2013	95,54	172,25	0,55
2014	108,97	246,50	0,44
2015	149,26	335,00	0,45
2016	304,87	411,25	0,74

FUENTE: MINAGRI-DGIA.

En la tabla 3 se presenta la producción de cacao en las provincias de la región Madre de Dios.

**Tabla 3: Provincias, área de producción y rendimiento de cacao en grano.**

AÑO	TAMBOPATA			TAHUAMANU			MANU		
	Prod. (t)	A.prod. (Ha)	Rend. (t/Ha)	Prod. (t)	A.prod. (Ha)	Rend. (t/Ha)	Prod. (t)	A.prod. (Ha)	Rend. (t/Ha)
2006	18,30	26,75	0,68	11,75	18,00	0,65	20,74	30,50	0,68
2007	12,30	17,63	0,70	10,75	15,00	0,72	10,02	15,00	0,67
2008	20,36	30,75	0,66	10,95	16,00	0,68	13,62	19,25	0,71
2009	18,77	28,50	0,66	9,64	15,00	0,64	10,94	17,05	0,64
2010	18,26	26,75	0,68	6,93	10,75	0,64	12,04	17,75	0,68
2011	21,17	31,00	0,68	5,46	8,25	0,66	10,71	16,75	0,64
2012	26,05	43,00	0,61	6,30	10,25	0,61	13,36	24,50	0,55
2013	64,03	114,00	0,56	7,06	12,75	0,55	24,45	45,50	0,54
2014	70,69	158,00	0,45	8,50	18,75	0,45	29,78	69,75	0,43
2015	106,81	239,00	0,45	8,89	21,00	0,42	33,56	75,00	0,45
2016	225,08	300,00	0,75	16,12	26,25	0,61	63,68	85,00	0,75

Prod: Producción; A. prod: Área de producción; Rend: rendimiento.

FUENTE: MINAGRI-DGIA

Otro dato resaltante es que el cultivo del cacao ha reemplazado a otros cultivos tradicionales de la zona, según la Dirección regional de agricultura – Madre de Dios, para el mes de agosto del año 2016 se sembraron 197 ha de este cultivo, el cual se encuentra muy por encima de cultivos que anteriormente eran de prioridad para los agricultores como el arroz cáscara, maíz amarillo duro, plátano y naranja con 50,5 ha, 13 ha, 20 ha y 11 ha sembradas para el mismo mes respectivamente.

#### **4.4. PRINCIPALES USOS DEL CACAO Y SUS DERIVADOS**

A partir de las semillas del cacao se obtiene el cacao en grano, los cuatro productos intermedios (licor de cacao, manteca de cacao, pasta de cacao y cacao en polvo) y el chocolate. A pesar de que el mercado de chocolates es el mayor consumidor de cacao en términos de equivalente en grano, productos intermedios tales como el cacao en polvo y la manteca de cacao son utilizados en diversas áreas.

En la alimentación animal se emplea como sustituto del maíz, en proporciones menores al 60 por ciento, 10 por ciento en aves y 8 por ciento en cerdos. En la industria la grasa (manteca de cacao), se utiliza en la fabricación de medicamentos, cosméticos y jabones.

En la tabla 4 se observan los principales productos, sus usos y derivados obtenidos en el aprovechamiento del cacao.

**Tabla 4: Principales productos del cacao, usos y sus derivados.**

<i><b>Producto</b></i>	<i><b>Usos del cacao y sus derivados</b></i>
<b>Manteca de cacao</b>	Elaboración de chocolate y confitería, también puede ser usada en la industria cosmética, y la industria farmacéutica.
<b>Pulpa de cacao</b>	Producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas
<b>Cáscara</b>	Puede ser utilizado como comida para animales
<b>Cenizas de cáscara de cacao</b>	Puede ser usado para elaborar jabón y como fertilizante de cacao, vegetales y otros cultivos.
<b>Jugo de cacao</b>	Elaboración de jaleas y mermeladas
<b>Polvo de cacao</b>	Puede ser usado como ingrediente en casi cualquier alimento: bebidas chocolatadas, postres, etc.
<b>Pasta de licor de cacao</b>	Se utiliza para elaborar chocolate.

*FUENTE: AGROBANCO. 2012.*

#### 4.5. RESIDUOS DEL CACAO

Un buen manejo de este cultivo requiere dos podas anuales a partir del segundo año de su establecimiento, para favorecer aspectos como un mejor desarrollo del área foliar, el control de la altura de la planta, la regulación de la entrada de la luz a estratos inferiores, la eliminación de las ramas inferiores que dificultan las labores agrícolas y facilitando la visibilidad de las mazorcas. La cosecha se realiza una vez cada quince días en los meses de mayor producción y el resto de meses se realiza una vez al mes (INIAP 1987). En la cosecha se realiza la recolección de las mazorcas y en la postcosecha se seleccionan y desgranar las almendras (semillas).

Por lo tanto, los principales residuos agrícolas de este cultivo son los restos de poda, cascarones, placenta, las semillas negras o afectadas por enfermedades que son desechados para disminuir la calidad del producto (INIAP 2009).

El cultivo del cacao produce, desde la etapa de recolección hasta la de procesamiento, una serie de desechos (10 toneladas de desechos frescos por cada tonelada de semillas secas (Figueira et al., 1993 citado por Crescente 1999). Al momento de la cosecha, se separa la cáscara del fruto de las semillas y placenta. Loyo (2015) menciona que solo el 20 por ciento de la fruta del cacao es utilizada, por lo tanto, el otro 80 por ciento restante corresponde a los residuos, los cuales son desechados.

En la tabla 5 se muestran los principales residuos vegetales generados en la cadena de valor del cacao.

**Tabla 5: Residuos del cacao y cantidades generadas.**

<b>Residuos</b>	<b>Cantidad que se genera</b>	<b>Según</b>
Podas	20,24 toneladas por hectárea.	Fundación MCCH. 2012
Cascaras	90 % del fruto fresco	Graziani et al 2002
Placenta ó mucílago	1,72 % del del fruto fresco	Graziani et al 2002
Semillas dañadas	6 – 8 % del fruto fresco	Graziani et al 2002

*FUENTE: ELABORACION PROPIA*

#### **4.6. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DEL CACAO**

Se han realizado estudios para evaluar el potencial de los residuos que se generan a lo largo de la cadena productiva del cacao. Gran parte de los estudios son enfocados a la utilización de los residuos en los sectores agrícolas y pecuarios, sin embargo, se han podido recopilar estudios de la utilización de los mismos en el campo energético. A continuación, mencionaremos algunos estudios.

##### **Estudios ligados al potencial energético**

Las aplicaciones energéticas de la cascara de cacao están limitadas a su uso como combustible sólido para reemplazar leña. Pellets obtenidos de cascara molidas y presionadas tienen valores calóricos y contenido de ceniza similares a otros tipos de biomasa (Syamsiro et al. 2012).

Forero y colaboradores (2012) analizan el potencial de diversas fuentes de biomasa, entre ellas las cáscaras de cacao, en este estudio se basan en la producción de pellets y la gasificación de los residuos.

Montenegro y colaboradores (2016) analizan el potencial de diferentes cultivos permanentes y transitorios dentro de la zona de estudio, entre ellos se encuentra el cacao, donde el tipo de biomasa utilizada son la cáscara y hojas de poda. Indican que estos residuos (Poda y cáscara) tiene un bajo potencial biológico de metano, pero son importantes debido al alto nivel de generación ya que sus residuos se encuentran disponibles los 12 meses del año.

La UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia) (2003) estima la generación de energía que se podría producir a partir de aceites Biodiesel obtenidos de diversas especies, una de ellas el cacao, obteniéndose Biodiesel a partir de la pulpa del fruto.

Según Brenes (1990) las cáscaras de cacao constituyen un subproducto, e indica que pueden ser utilizadas en la alimentación animal, fertilización de plantas y como materia prima para biodigestores. Estos usos han sido propuestos tomando en cuenta la composición química de la cáscara: 27% de fibra cruda, 6,25% de proteína cruda con 35,5% de nitrógeno disponible total y 3,2% de potasio.

#### **4.7. CADENA DE VALOR DEL CACAO – FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN**

El MINAGRI (2006) identifica cuatro eslabones de la cadena de valor del cacao.

##### **Eslabón productivo y de servicios de apoyo a la producción**

Participan los productores cacaoteros que conducen sus unidades productivas. Intervienen agentes económicos como proveedores de insumos, asistencia técnica, equipos y maquinaria, servicios financieros (formales e informales, certificación y transporte).

##### **Eslabón de industrialización (transformación)**

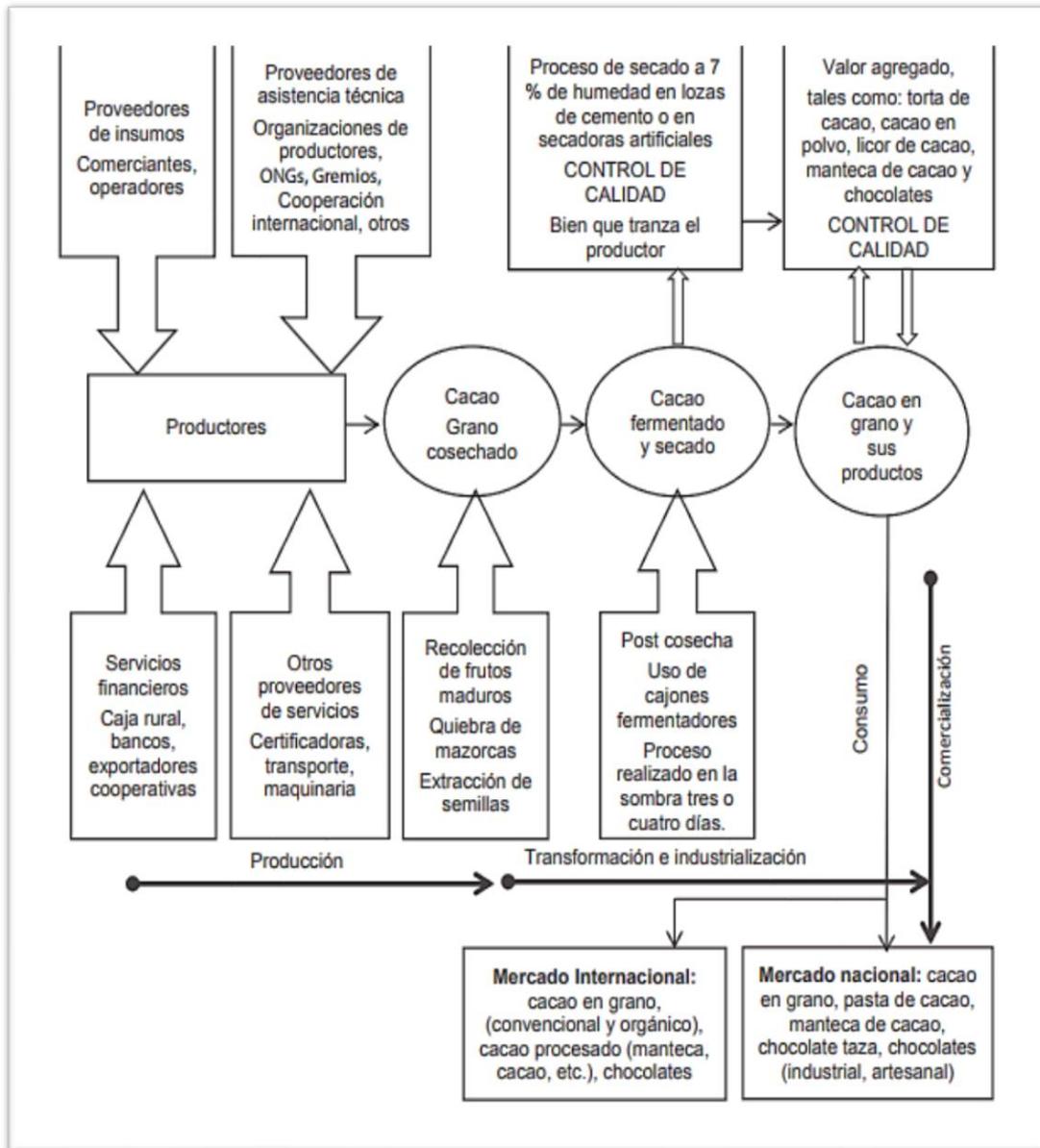
Constituye el más importante y más complejo eslabón. La información estadística acerca de este eslabón es limitada. A partir del procesamiento del grano de cacao se obtienen productos intermedios (licor o pasta de cacao, manteca, polvo de cacao) y productos elaborados (chocolates y otros productos afines como bombones, y bebidas chocolatadas).

##### **Eslabón de comercialización**

Intervienen principalmente las organizaciones de productores y acopiadores de empresas industriales que muchas veces distorsionan los precios. Sus conceptos de calidad y apreciación están sujetos a la variedad de cacao.

##### **Eslabón de consumidores**

Intervienen diferenciadamente los que utilizan en el tramo final de la cadena la amplia gama de productos intermedios y finales que resultan del procesamiento y/o industrialización: licor de cacao, manteca de cacao, cacao en polvo, y chocolate. En la figura 5 se muestra el flujograma de la cadena de valor del cacao en el Perú. En donde se identifican los eslabones mencionados anteriormente.



**Figura 5:** Flujograma de la cadena de valor del cacao

FUENTE: MINAGRI (2006)

## **5. SITUACIÓN GENERAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL PERÚ**

### **5.1. MARCO LEGAL, POLÍTICAS Y ESTRATÉGIAS DEL SECTOR BIOCOMBUSTIBLES**

El Perú cuenta con un marco legal general, que ha permitido el inicio el desarrollo de la industria de biocombustibles. Este marco consta actualmente de:

- Ley 28054: Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de agosto del 2003.
- D.S.013–2005-EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de marzo del 2005.
- D.S.021–2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, de abril del 2007.
- Directiva 004-2007-PROINVERSIÓN: Lineamientos del Programa de Promoción del Uso de Biocombustibles – PROBIOCOM, de marzo del 2007.
- D.S.075-2009-PCM: Decreto Supremo que crea la Comisión Multisectorial sobre Bioenergía, noviembre del 2009.

La Ley 28054 establece en su Artículo 1 “el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas”.

## **6. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS**

La generación de energía eléctrica en la Región, dada las poblaciones dispersas con las que cuenta, proviene de tres sistemas eléctricos o centrales térmicas aisladas (Puerto Maldonado, Iñapari e Iberia) cuyas áreas de concesión están a cargo de la empresa eléctrica Electro Sur Este S.A.A. Dicha empresa genera energía eléctrica por medio de 12 grupos termoeléctricos ubicados en las centrales (7 en Puerto Maldonado, 3 en Iñapari y 2 en Iberia), todos los cuales emplean combustible Diesel 2 y se encuentran operativos.

La disponibilidad de energía en la Región es insuficiente y no permite implementar centros de transformación industrial con lo cual se limita el desarrollo económico. El déficit

energético se da principalmente en las zonas mineras de Mazuko, Huepetuhe, Boca Colorado y Laberinto; así como en las zonas más aisladas, las mismas que utilizan pequeños grupos electrógenos y paneles solares.

Para poder solucionar el problema energético en algunas zonas de la región, es necesario buscar alternativas que puedan brindar una respuesta a corto plazo frente al déficit energético. La utilización de la biomasa residual es una alternativa para dar solución a la falta de energía. El cacao es un cultivo que está siendo impulsado en la región durante los últimos años y presenta características favorables que podrían constituir una fuente de energía.



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. MATERIALES**

##### **1.1. ANÁLISIS DOCUMENTAL Y FUENTES**

En la zona de estudio recopiló información, bases de datos e inventarios de producción de cacao de las siguientes fuentes:

- Agencia de la Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios – DRAMDD
- Oficina del Gobierno Regional de Madre de Dios- GOREMAD
- Oficina de Electro Sur Este – ELSE de Puerto Maldonado.

Adicionalmente se buscó información en las asociaciones de productores cacaoteros de Madre de Dios y de proyectos creados para el cultivo de cacao en la región.

##### **1.2. OBTENCIÓN DIRECTA Y ENTREVISTAS A INFORMANTES CLAVE**

Se realizó la observación directa en la zona de estudio. Se programó 01 visita a la zona de estudio de una duración de 5 días con la finalidad de recolectar información sobre la productividad y gestión de residuos del cultivo del cacao, así como la situación actual del acceso a la energía de la población de la región Madre de Dios.

También se realizaron consultas a especialistas y expertos de la región, mediante entrevistas no estructuradas, recopilando información acerca de la situación del cultivo del cacao a nivel regional y provincial.

##### **1.3. GENERACIÓN DE BASE DE DATOS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN**

De acuerdo con la información bibliográfica obtenida sobre Inventarios de producción, Factores de conversión y/o Ratios Productos/residuos y Disponibilidad de residuos, se organizó una base de datos sobre la biomasa disponible. Esta información fue procesada y se generaron tablas y gráficos, utilizando hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel.

La información procesada, así como la localización de la biomasa disponible se muestran mediante la generación de mapas temáticos, utilizando Sistemas de Información Geográficos (SIG).

## **2. MÉTODOS**

### **2.1. DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL AGROINDUSTRIAL DEL CACAO EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS**

El objetivo principal de esta etapa es la estimación del potencial energético, con el mayor grado de aproximación, de la biomasa residual potencial y disponible en la actividad productiva de la cadena de valor del cacao en la Región MDD dividida en sus 03 provincias.

Para esta evaluación se plantearon tres pasos:

#### **PASO 1. ESTUDIO SOBRE RESIDUOS DISPONIBLES EN LA CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO**

La finalidad de esta etapa fue identificar la disponibilidad de los residuos que se generan en la cosecha y proceso de producción del cultivo. A la vez, se identificaron los principales indicadores económicos en esta actividad: Superficie cultivada, producción y rendimiento.

Se buscó información en la agencia de la Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios – DRAMDD y en la oficina del Gobierno Regional de Madre de Dios- GOREMAD.

Esa información fue utilizada como base en los siguientes puntos.

#### **PASO 2. ELABORACIÓN DE FLUJOGRAMA DEL CULTIVO.**

Los residuos en el cultivo se generan a lo largo de diferentes etapas. Para determinar exactamente las etapas donde se generan estos residuos, se elaboró un flujograma para el cultivo, adaptado a la Región MDD. El flujograma fue compuesto por las etapas de labores culturales, cosecha y Postcosecha. También se incluyó que porcentajes representa cada residuo a partir de fruto a excepción del caso de las ramas de podas.

### PASO 3. FLUJOS DE PRODUCCION DE RESIDUOS DEL CACAO

Luego de elaborado el flujograma de producción del cacao, en dónde se identificaron los residuos que se generan en cada etapa de la producción. Se identificaron los Factores de producción de residuos (FPR) de cada residuo y el uso actual de cada uno.

Posteriormente, tomando en cuenta los FPR de cada residuo se elaboraron tablas en dónde se muestran las cantidades de residuos de cacao generados entre los años (2006 – 2016) en la región Madre de Dios y sus provincias. Éstas tablas incluyeron producción de cacao en grano, rendimiento y cantidad de residuos generados.

Para los cálculos se tomó la información brindada por la Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios – DRAMDD. Esta información está compuesta por lo siguiente:

- Superficie cosechada (ha/año)
- Producción (t/año)
- Rendimiento (t/ha)

Se tomó en cuenta lo propuesto por FAO (2014), lo cual indica que un 25% de los residuos generados en campo, deben permanecer en el suelo a fin de aportar la materia orgánica necesaria.

Para la obtención de los resultados de Residuos Generados del cacao; se utilizó la ecuación planteada por Ramírez (2016), la cual se adaptó para cada residuo generado en la producción del cacao.

La ecuación es la siguiente:

$$\text{Biomasa residual potencial} = \text{Produccion} \times \text{FPR} \times 0.75$$

Se debe señalar que esta ecuación no pudo ser utilizada para el residuo de la Poda, debido a que no se logró establecer un FPR relacionado al fruto del cacao. La Biomasa residual para la poda fue establecida a partir de información bibliográfica.

#### PASO 4. SELECCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DISPONIBLE

Luego de estimar las cantidades de biomasa residual potencial del cacao, fue necesario escoger que biomasa puede ser realmente utilizada en un proceso de transformación, es decir, cuáles son las biomasas residuales disponibles (BRD). Se tomó en cuenta factores como disponibilidad, uso actual y cantidad producida.

Las muestras seleccionadas fueron codificadas como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6: Muestras seleccionadas y codificadas para el estudio**

<i>N°</i>	<i>Muestras seleccionadas</i>		<i>Codificación para el estudio</i>
1	Cáscara de la mazorca del cacao	Cosecha año anterior	CMC-1
2		Cosecha año actual	CMC-2
3	Rama de poda del cacao		RPC

#### PASO 5. ELABORACIÓN DE MAPA

Con ayuda del software ArcGIS, se elaboró el mapa de distribución de residuos en las tres provincias de la región Madre de Dios, teniendo en cuenta la ubicación de las asociaciones cacaoteras.

#### **2.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS DISPONIBLES DEL CACAO**

Después de culminada la primera etapa, en donde se escogieron los residuos disponibles del cacao, se procedió a realizar la segunda etapa, la cual tiene como objetivo principal caracterizarlos de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas.

Los residuos potenciales que fueron encontrados en campo fueron las cáscaras de la mazorca y las ramas de poda.

Para esto se realizó lo siguiente:

**a. MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DISPONIBLES EN CAMPO**

Para la colecta de muestras, se realizó el protocolo de muestreo de la siguiente forma:

El área de muestro y el tamaño de muestra se determinó tomando en cuenta la metodología descrita en la Norma UNE-EN 14778 (2013), la cual da las pautas para el muestreo de biocombustibles sólidos.

Las muestras fueron extraídas de un cultivo de cacao, el cual pertenece a la Asociación de productores de cacao San Francisco, ubicada en el distrito de Tambopata.

Para la recolección de las cáscaras de cacao se procedió a elegir 6 pilas pequeñas del residuo, de cada una se tomaron las muestras y se guardaron en bolsas con sello hermético. Cada bolsa fue marcada con marcador indeleble, la fecha, lugar de colecta y codificación. Y para la recolección las ramas de poda, se eligieron 6 zonas, dentro del cultivo, el empaque de este residuo también se realizó de la misma forma que los otros residuos.

Cabe señalar que para la colecta de los residuos se utilizó el método del cuarteo, también descrito en la norma UNE-EN 14778 (2013).

**b. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS DE LABORATORIO.**

Se colocaron cantidades requeridas para cada análisis. Cada una de las muestras fue colocada en bolsas herméticas.

**Muestra 1:** Cáscara de mazorca de cosecha anterior

Se separó cantidades iguales de 100 g cada una, las cuales fueron guardadas en 03 bolsas herméticas, cada una con su codificación respectiva y análisis requerido

**Muestra 2:** Cáscara de mazorca de cosecha actual

Se separó cantidades iguales de 40 g cada una, las cuales fueron guardadas en 03 bolsas herméticas, cada una con su codificación respectiva y análisis que requerido.

### **Muestra 3: Rama de poda**

Se separó cantidades iguales de 100 g cada una, las cuales fueron guardadas en 03 bolsas herméticas, cada una con su codificación respectiva y análisis que requirió.

De las 03 muestras, se almacenaron de igual forma en bolsas herméticas las contramuestras, para cualquier inconveniente en los análisis.

Los laboratorios en los que se hicieron análisis fueron los siguientes:

- **Análisis proximal y termogravimétrico y Poder calórico:**

Laboratorio de energías renovables – Unidad de Biomasa Energética – UNALM.

- **Análisis de composición química:**

Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes – UNALM.

- **Componentes estructurales:**

Laboratorio de pulpa y papel – UNALM.

### **Análisis proximal y termogravimétrico**

Se determinó el contenido de cenizas, materia volátil, carbono fijo y humedad. También se realizó en análisis termogravimétrico (cenizas, materia volátil y carbono fijo). Este análisis se realizó en el equipo de la marca LECO modelo TGA 701. El método se basa en la norma ASTM D5865 – 07. Los resultados del presente estudio fueron comparados con resultados obtenidos por otros autores.

### **Análisis de poder calórico**

Se determinó el poder calórico (superior e inferior) mediante el uso de la bomba calorimetría adiabática, usando el quipo analizador de la marca LECO AC600. El método se basa en la norma ASTM D5865 – 07. Los resultados del presente estudio fueron comparados con resultados obtenidos por otros autores.

### **Análisis de composición química -Análisis completo del tejido vegetal**

Se analizaron los elementos mayoritarios (carbono orgánico total, nitrógeno, fósforo, Potasio, Calcio, magnesio, sodio, azufre, hierro, zinc, cobre y boro), humedad y cenizas.

Los métodos usados para cada elemento fueron los siguientes:

- Carbono orgánico total: Método de Walkley y Black modificado.
- Nitrógeno: Método de nitrógeno total de K-jeldahl modificado.
- Fosforo: Digestión vía húmeda (en solución nitro – perclórica) y posterior colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico.
- Potasio, calcio. Magnesio, Sodio: Espectrofotometría de absorción atómica.
- Azufre: Turbidimetría empleando cloruro de bario.
- Hierro, cobre, zinc y manganeso: Espectrofotometría de absorción atómica.
- Boro: Digestión vía seca (calcinación) y posterior colorimetría empleando el método de curcumina acética.

Se tomaron en cuenta solo los elementos que pueden ser influyentes en la caracterización energética de la biomasa. Los resultados del presente estudio fueron comparados con resultados obtenidos por otros autores.

### **Análisis de componentes estructurales - Determinación de lignina, holocelulosa y cenizas.**

Se analizaron lignina, holocelulosa, cenizas y humedad bajo los siguientes métodos:

- Lignina: Se determinó bajo el método Klason.
- Holocelulosa: Se determinó bajo el método Jayme-Wise.
- Cenizas: Se determinó bajo el método de calcinación o pérdida por ignición.
- Humedad: Se determinó bajo el método gravimétrico AOAC 1984.

Los resultados del presente estudio fueron comparados con resultados obtenidos por otros autores.

### **2.3. COMPARACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL DEL CACAO CON OTRAS BIOMASAS**

Se elaboró un cuadro donde se presentan los resultados mostrados por distintos autores en donde se realizaron la misma caracterización física y química de diferentes biomاسas actualmente usadas en el ámbito energético.

### **2.4. CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DISPONIBLES DEL CACAO**

Por último, se procedió al cálculo de la energía que se podría generar a partir del uso de los residuos del cacao. Para este cálculo se realizaron los siguientes pasos:

#### **a. CÁLCULO DEL PRONOSTICO DE PRODUCCION Y GENERACION DE RESIDUOS**

Para llevar a cabo este cálculo se realizó el pronóstico de producción de cacao en grano para la región Madre de Dios para el periodo (2017-2021). A partir de este pronóstico y utilizando los factores de generación de residuos (FRP), se estimaron las cantidades de biomasa residual disponible de cacao que se podrían generar entre los años mencionados.

#### **b. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO**

A partir de los datos obtenidos de las cantidades de residuos que se podrían generar, se procedió a realizar el cálculo del potencial energético en los años (2017 – 2021). Luego del cálculo del potencial energético de los tres residuos potenciales; se calculó el potencial energético máximo, es decir, se sumaron los dos potenciales energéticos de los dos residuos que podrían utilizarse de manera simultánea. Para este cálculo se utilizó la siguiente formula:

$$PCI_H = PCS \times (1 - h) - 6 \times (h\%)$$

$$Potencial\ energético = BRD \times PCI_H$$

Dónde:

EP: Energía potencial (TJ/año)

BRD: Biomasa residual disponible – pronóstico. (t/año)

PCI<sub>H</sub>: Poder calórico inferior al contenido de humedad fresco del residuo (TJ/t)

PCS: Poder calórico superior o anhidro (TJ/t)

h: Contenido de humedad fresco en base húmeda.

### c. VALORIACION ENERGÉTICA

Para valorar energéticamente los residuos disponibles del cacao se siguieron los siguientes pasos:

- Convertir los Tera Joules (TJ) que generan los residuos de cacao a Toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

**Petróleo:**

$$BEP = 720.5649 \times Tcal$$

$$TEP = \frac{BEP}{7.205649}$$

Donde:

BEP: Barril equivalente de petróleo.

Tcal: Tera calorías.

TEP: Tonelada equivalente de petróleo.

**Leña:**

$$m_{leña} = \frac{EP}{PCI_{leña}}$$

Donde:

m<sub>leña</sub>: Masa de leña (20% humedad).

EP: Energía potencial de la BRD (TJ/año).

PCI<sub>leña</sub>: Poder calórico inferior de la leña (20% humedad) = 14.40 MJ/kg. (Francescato et al., 2008)

#### **d. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA**

Para estimar la demanda energética en la Región Madre de Dios se tomó en cuenta el número de familias ubicadas en zonas rurales, las cuales son los principales consumidores de combustibles de origen vegetal. También se tomó en cuenta el consumo de leña que podría utilizarse anualmente por esas familias.

En este caso se utilizó la siguiente fórmula:

$$DE = \text{consumo anual} \times PCI$$

Dónde:

DE: Demanda energética (MJ/año).

Consumo: Consumo de leña anual total en Madre de Dios = 38 019 m<sup>3</sup>.

(MINAGRI 2016)

PCI<sub>leña</sub>: Poder calórico inferior de la leña (20% humedad) = 7200 MJ/m<sup>3</sup>. (Francescato et al. 2008)

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **1. CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO**

En la cadena productiva del cacao en la Región MDD se identificó 8 etapas: las cuales se observan en la figura 6.

La primera etapa que se identificó fueron las podas, las cuales se realizan en determinados meses del año o cuando son requeridas, existen diversos tipos de podas para este cultivo, las cuales pueden ser podas de formación, mantenimiento y rehabilitación o saneamiento. Se estima que se pueden generar 20,24 toneladas por hectárea de ramas provenientes en esta labor.

Una segunda etapa en la cadena productiva son las labores culturales, donde el control de malezas es la principal actividad. El propósito de esta labor es que las plantas de cacao aprovechen al máximo los nutrientes y el agua disponible en suelo, para su eficiente crecimiento, desarrollo y producción. Se estima que se pueden generar 2,4 toneladas por hectárea de malezas.

Cuando los frutos se encuentran maduros se procede a realizar la tercera etapa, la cual es la Cosecha y selección de frutos. Una vez que las mazorcas tienen un color anaranjado o amarillo están listas para ser cosechadas. De forma manual y con la ayuda de un machete se separa la cascara del fruto y se deja en el mismo lugar de cosecha, siendo la cáscara, el principal residuo en esta etapa ya que representa el 90 por ciento del fruto. En el caso de frutos dañados por enfermedades, insectos o animales también son dejados en campo.

Una vez obtenidas las semillas juntas al mucílago, se procede a realizar la actividad conocida como “el desbabado”, en la cual se separan las semillas del mucílago. En esta etapa se estima que se puede generar entre el 6 y 8 por ciento en merma de granos.

En la etapa de fermentación se eliminan los restos de pulpa que aún siguen adheridos a los granos del cacao. La fermentación es una de las etapas cruciales en la cadena productiva, ya

que se inicia el desarrollo del aroma, sabor y color a los granos. En Madre de Dios el líquido separado se conoce como “aguas mieles” y es utilizado para la producción de mermeladas.

Los granos son secados de forma natural y posteriormente de forma artificial. El secado se considera óptimo cuando los granos han alcanzado una humedad en base seca entre 6 y 8%. Posteriormente se procede al tamizado, donde se pueden obtener hasta un 10% en merma de granos.

Actualmente, la etapa final de esta cadena productiva en Madre de Dios es la obtención de granos secos, los cuales serán comercializados y procesados en otros departamentos del Perú o exportados al extranjero. Se producen aproximadamente dos toneladas de granos secos por hectárea.

## 1.1. FLUJOGRAMA DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO

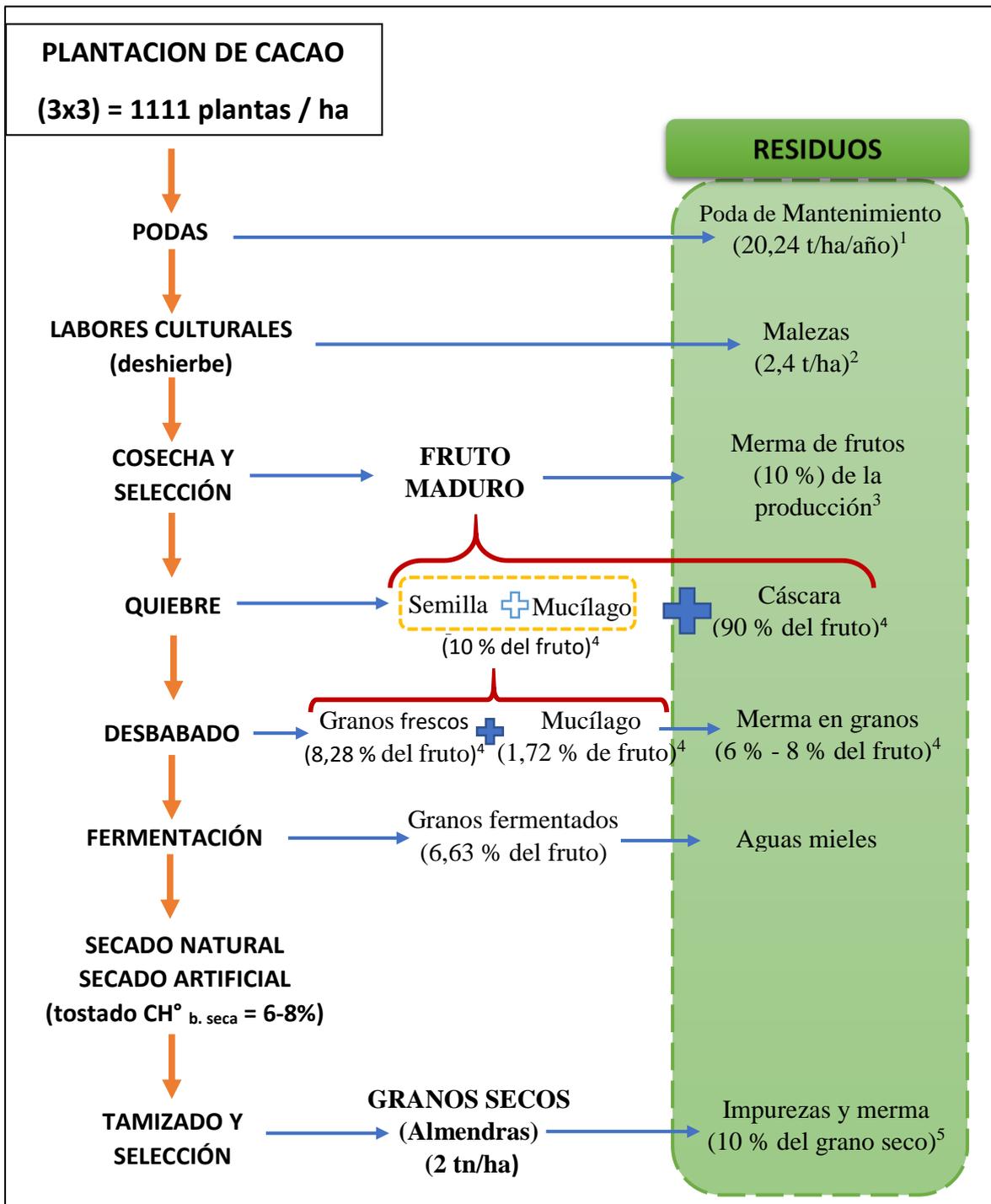


Figura 6: Flujograma de la producción del cacao

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE (1) FUNDACIÓN MCCH, 2012; (2): LUDEÑA A. 2014; (3): BAENA LM Y GARCÍA N., 2012; (4): GRAZIANI ET AL 2002; (5): SANGRONIS ET AL, 2014.

## 2. FLUJOS DE PRODUCCIÓN DE LOS RESIDUOS DEL CACAO

En la tabla 7 se resume la información presentada en el Flujograma de generación de productos y residuos del cultivo de cacao en Madre de Dios, Se muestran los cuatro residuos que se generan y fueron identificados en las diferentes etapas de la cadena productiva del cacao en la región, cada residuo presenta individualmente un Factor de Generación (FPR) porcentual y en casos excepcionales como con las ramas provenientes de podas se presenta en toneladas por hectárea. La última columna muestra el uso actual de cada residuo. Cada uso actual se muestra en forma de leyenda en la tabla 8.

**Tabla 7: Flujos de producción del cacao**

<i>Etapa en la cadena de valor</i>	<i>Tipo de residuo</i>	<i>Factores de generación de residuos (FPR) o t/ha</i>	<i>Uso Actual</i>
<b>Labores culturales</b>	Ramas de poda	10,24 t/ha	(1)(2)
<b>Cosecha</b>	Cáscara	90%	(1)(4)
	Frutos merma	10 %	(1)(4)
<b>Procesamiento</b>	Merma de granos dañados	6%	(5)

**Tabla 8: Clasificación de usos actuales de los residuos del cacao en la Región Madre de Dios**

<i>Clasificación</i>	<i>Uso actual</i>
<b>1</b>	Se dispone al ambiente (acumulación, vertimiento, otros)
<b>2</b>	Combustible doméstico
<b>3</b>	Desechado
<b>4</b>	Como abono en campo
<b>5</b>	Consumido por el usuario (uso pecuario)

Los datos de FPR mostrados en la tabla 7 sirvieron para obtener las cantidades de residuos que se generan a lo largo de la cadena productiva del cacao en Madre de Dios y en sus provincias. En las siguientes tablas se muestran estos resultados.

### 3. PRODUCTIVIDAD Y RESIDUOS GENERADOS

En la tabla 9 se muestra la producción anual (2006 – 2016) de grano de cacao y los principales residuos generados en la cadena productiva en la Región Madre de Dios. Se observa un aumento considerable en la producción de grano con un rendimiento promedio por hectárea para estos últimos 10 años de 0,62 toneladas por hectárea.

En la misma tabla también se observa la cantidad de residuos que fueron generados entre estos años. Los residuos que se generan a partir de la cosecha y el aprovechamiento de los frutos del cacao son la cáscara de la mazorca, frutos dañados o podridos y los granos dañados. Sin embargo, en la etapa de las labores culturales también se genera una gran proporción de residuos, los cuales son las ramas provenientes de las podas y son los que ocupan una mayor proporción.

**Tabla 9: Producción y residuos generados en la Región Madre de Dios**

AÑO	PRODUCCIÓN (toneladas / año)	Rendimiento (toneladas / Ha/año)	RESIDUOS GENERADOS (toneladas / año)			
			Generados en la cosecha del fruto			Generados en labores culturales
	Grano de cacao seco	Grano de cacao seco	Merma de granos dañados	Frutos merma	Cáscara	Ramas de poda
2006	50,79	0,67	4,23	52	467,99	11014,17
2007	33,07	0,69	2,76	33,86	304,72	7171,47
2008	44,925	0,68	3,74	45,99	413,95	9742,31
2009	39,345	0,65	3,28	40,28	362,54	8532,24
2010	37,23	0,67	3,1	38,12	343,05	8073,59
2011	37,34	0,67	3,11	38,23	344,06	8097,45
2012	45,711	0,59	3,81	46,8	421,19	9912,76
2013	95,54	0,55	7,96	97,81	880,33	20718,53
2014	108,97	0,44	9,08	111,56	1004,08	23630,92
2015	149,26	0,45	12,44	152,81	1375,32	32368,1
2016	304,87	0,74	25,41	312,13	2809,16	66113,24

En las tablas 10, 11 y 12 se observa la misma información de producción y residuos generados dividida en las 3 provincias que conforman la región. La provincia con una mayor producción de grano es Tambopata, la cual para el año 2016 generó una producción

de 225 toneladas, la provincia que la sigue es la del Manu, la cual tuvo para el año 2016 una producción de 63 toneladas de grano seco, por último, la provincia que ha generado una menor producción los últimos años es Manu.

**Tabla 10: Producción y residuos generados en la provincia de Tambopata**

AÑO	PRODUCCION (toneladas / año)	RESIDUOS GENERADOS (toneladas / año)			
		Generados en la cosecha del fruto			Generados en labores culturales
	Grano de cacao seco	Merma de granos dañados	Frutos merma	Cáscara	Ramas de poda
2006	18,3	1,53	18,74	168,62	3968,49
2007	12,3	1,03	12,59	113,34	2667,34
2008	20,36	1,7	20,84	187,6	4415,21
2009	18,77	1,56	19,22	172,95	4070,41
2010	18,26	1,52	18,69	168,25	3959,81
2011	21,17	1,76	21,67	195,07	4590,87
2012	26,05	2,17	26,67	240,03	5649,13
2013	64,03	5,34	65,55	589,99	13885,36
2014	70,69	5,89	72,37	651,36	15329,63
2015	106,81	8,9	109,35	984,18	23162,51
2016	225,08	18,76	230,44	2073,95	48810,21

**Tabla 11: Producción y residuos generados en la provincia de Tahuamanu**

AÑO	PRODUCCION (toneladas / año)	RESIDUOS GENERADOS (toneladas / año)			
		Generados en la cosecha del fruto			Generados en labores culturales
	Grano de cacao seco	Merma de granos dañados	Frutos merma	Cáscara	Ramas de poda
2006	11,75	0,98	12,03	108,27	2548,07
2007	10,75	0,9	11,01	99,05	2331,21
2008	10,95	0,91	11,21	100,9	2374,59
2009	9,64	0,8	9,87	88,83	2090,5
2010	6,93	0,58	7,1	63,86	1502,82
2011	5,46	0,46	5,59	50,31	1184,04
2012	6,3	0,53	6,45	58,05	1366,2
2013	7,06	0,59	7,23	65,05	1531,01
2014	8,5	0,71	8,7	78,32	1843,29
2015	8,89	0,74	9,1	81,92	1927,86
2016	16,115	1,34	16,5	148,49	3494,65

**Tabla 12: Producción y residuos generados en la provincia de Manu**

AÑO	PRODUCCION (toneladas / año)	RESIDUOS GENERADOS (toneladas / año)			
		Generados en la cosecha del fruto			Generados en labores culturales
	Grano de cacao seco	Merma de granos dañados	Frutos merma	Cáscara	Ramas de poda
2006	20,74	1,73	21,23	191,1	4497,62
2007	10,02	0,84	10,26	92,33	2172,91
2008	13,62	1,14	13,94	125,5	2953,59
2009	10,935	0,91	11,2	100,76	2371,33
2010	12,04	1	12,33	110,94	2610,96
2011	10,71	0,89	10,97	98,69	2322,54
2012	13,361	1,11	13,68	123,11	2897,43
2013	24,45	2,04	25,03	225,29	5302,16
2014	29,78	2,48	30,49	274,4	6458,01
2015	33,56	2,8	34,36	309,23	7277,73
2016	63,675	5,31	65,19	586,72	13808,38

#### 4. SELECCIÓN DE BIOMASA A ANALIZAR

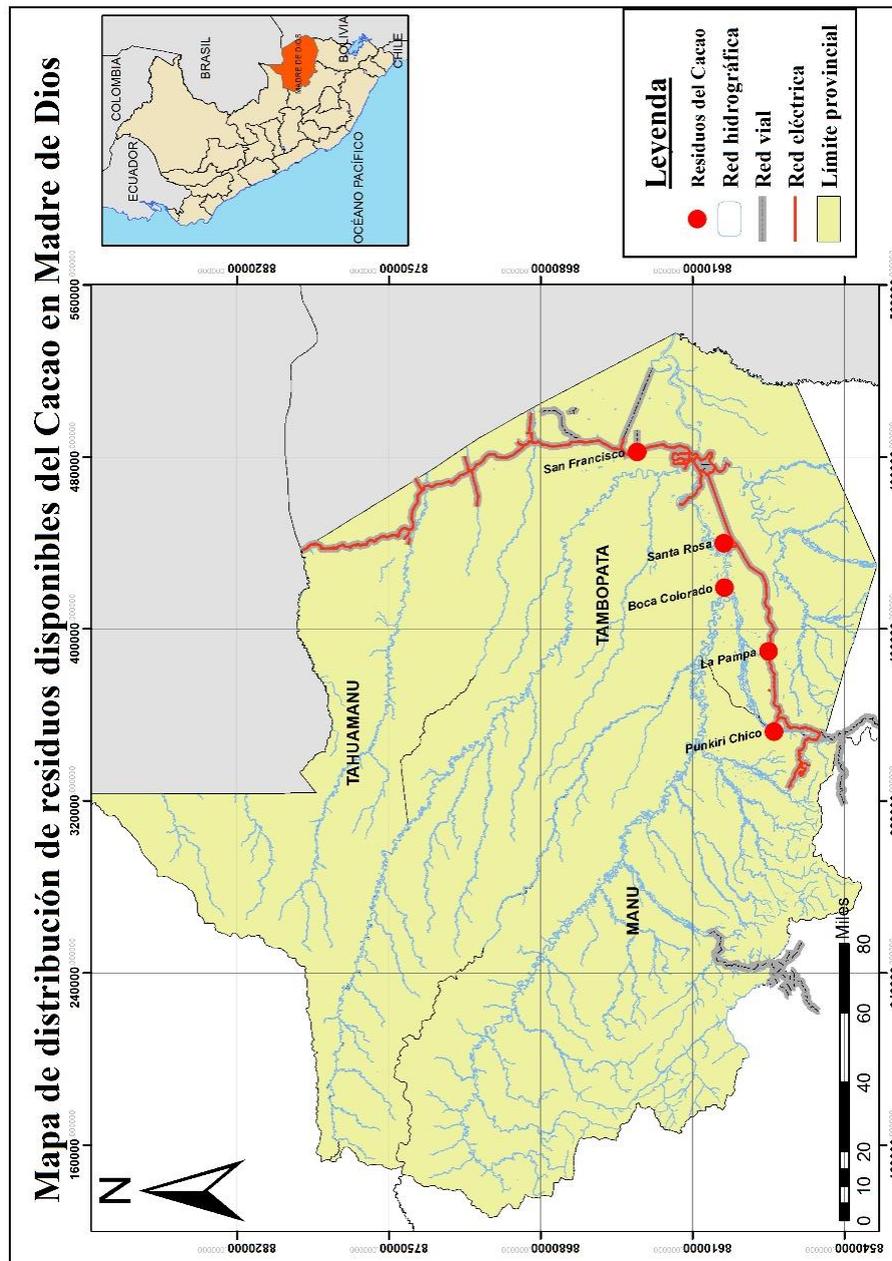
Resultados anteriores muestran que se han podido generar cuatro tipos de biomasa a lo largo de la cadena productiva del cacao. Para el presente estudio se tomaron en cuenta diversos factores para la elección de los tipos de residuos a analizar. Se tomaron en cuenta los residuos que generan mayores volúmenes que no tengan actualmente un uso alimenticio o pecuario y principalmente se encuentren disponibles en el campo.

Como resultado de esta selección, se decidió analizar las cáscaras de la mazorca del cacao y las ramas provenientes de las podas. La tabla 13 muestran los residuos que fueron analizados, codificación usada en el presente estudio y el estado inicial a los que fueron colectados.

**Tabla 13: Residuos estudiados, codificación para el estudio y humedad inicial**

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Codificación para estudio</i>	<i>Humedad % (b.h)</i>
Cáscara de cosecha anterior	CMC-1	20,71
Cáscara de cosecha actual	CMC-2	84,50
Rama de la poda del cacao	RPC	47,41

## 5. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE RESIDUOS DISPONIBLES



**Figura 7:** Mapa de distribución de residuos disponibles del cacao en la región Madre de Dios.

La figura 7 muestra la ubicación de los distritos donde se ubican las principales asociaciones de cacaoteros en la región Madre de Dios. Cabe resaltar que existe registro de producción en los tres distritos, sin embargo, no hay referencia de la ubicación exacta de todas las asociaciones de la Región.

## 6. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS DISPONIBLES DEL CACAO

### 6.1. ANÁLISIS PRÓXIMAL Y TERMOGRAVIMÉTRICO

#### 6.1.1. ANÁLISIS PRÓXIMAL

La tabla 14 muestra los resultados del análisis proximal de los residuos estudiados en el presente estudio.

**Tabla 14: Resultados de análisis proximal de los residuos estudiados**

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>Materia volátil [MV] (%)</i>	<i>Carbono Fijo [CF] (%)</i>	<i>Humedad (%)</i>
<b>CMC-2</b>	10,77	71,66	9,48	8,09
<b>CMC-1</b>	11,34	71,81	6,34	10,52
<b>RPC</b>	10,19	79,53	2,28	8

Para el caso de las muestras CMC1 y CMC2 los resultados del contenido de cenizas fueron de 11,34 % y 10,77 % respectivamente. Estos valores se asemejan a los obtenidos por Titiloye et al., (2013) y por van der Drift et al., (2001), en donde obtienen 12 y 10,5 % respectivamente. Sin embargo, estudios realizados por van de Sloot y Cnubben (2000) , van Ree (1995) y Kitani y Hall (1989) han obtenido resultados de 8,0 , 9,2 y 8,2 % los cuales son inferiores. Hensley et al., (2010) analizaron las cáscaras de la mazorca y mencionan que las cenizas en este residuo se pueden encontrar en el rango de 10 -25 %.

Los MV resultantes para las muestras CMC1 y CMC2 fueron de 71,81 % y 71,66%. Estudios realizados por Martinez-Angel, J., et al (2015), muestran valores similares de MV para los mismos tipos de residuos los cuales son 68,8 % y 73,7 %. Lo mismo ocurre con el estudio de Titiloye et al., (2013) donde sus resultados fueron de 76,4 %. Otros autores como Syamsiro et al., (2012), van der Drift et al., (2001) y Kitani y Hall (1989) obtienen valores menores, pero no tan distantes de MV en cáscaras de cacao, los cuales son 59,5 %, 66,6% y 68,0 % respectivamente.

El CF resultante de las muestras CMC1 y CMC2 fueron 6,34 % y 9,48 % respectivamente. Los estudios realizados por Titiloye et al., (2013) y Martinez-Angel, J. et al., (2015) obtienen resultados que se asemejan al presente estudio; sus valores de CF en cáscaras de cacao son 11,6 % y 12 %. Sin embargo existen otros estudios en donde obtiene valores más

altos, por ejemplo Syamsiro et al. (2012), van der Drift et al. (2001) y Kitani y hall (1989), obtienen valores de 24,4 % , 22,9 % y 23,8% respectivamente.

En cuanto a las ramas de las podas, estas presentan 10,19 % de cenizas, 79,53 % de MV y 2,28 % de CF. No se han reportado estudios anteriores donde se hayan analizado las ramas del cacao en cuanto a estos parámetros.

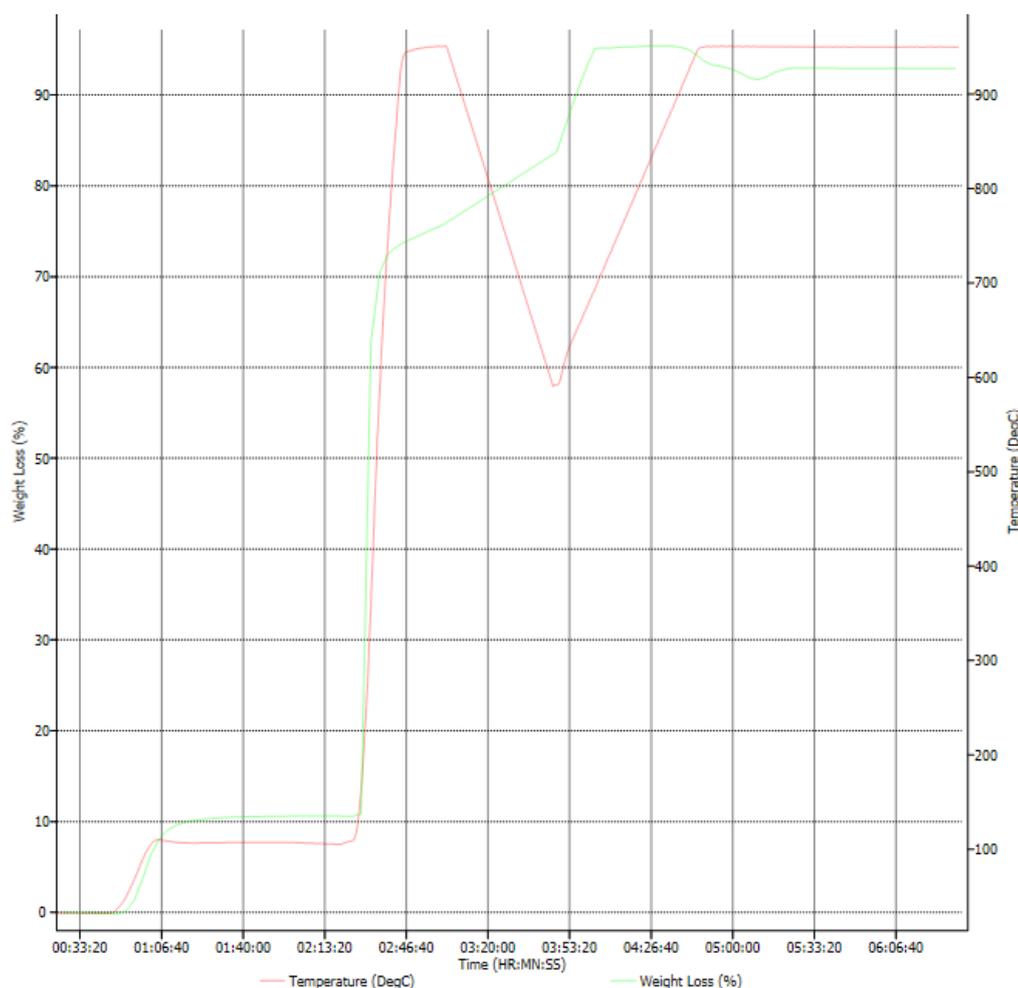
Estos valores tienen una función importante en la utilización energética de la biomasa, ya que determinan muchos problemas técnicos en los procesos de conversión termoquímica. Por ejemplo, desde el punto de vista de la combustión y la gasificación, los minerales en las cenizas probablemente aumentan los fenómenos de corrosión, desechos y fouling en las paredes internas y bordes del reactor, causando pérdidas significativas y reduciendo la eficiencia del proceso (Jenkins et al. 1998).

### **6.1.2. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO**

Complementariamente al análisis proximal, se realizó el análisis termogravimétrico de los tres residuos del cacao. A continuación, se muestran las curvas del análisis termogravimétrico de los tres residuos analizados.

En las figuras 8, 9 y 10 se observan las curvas termogravimétricas de las muestras estudiadas.

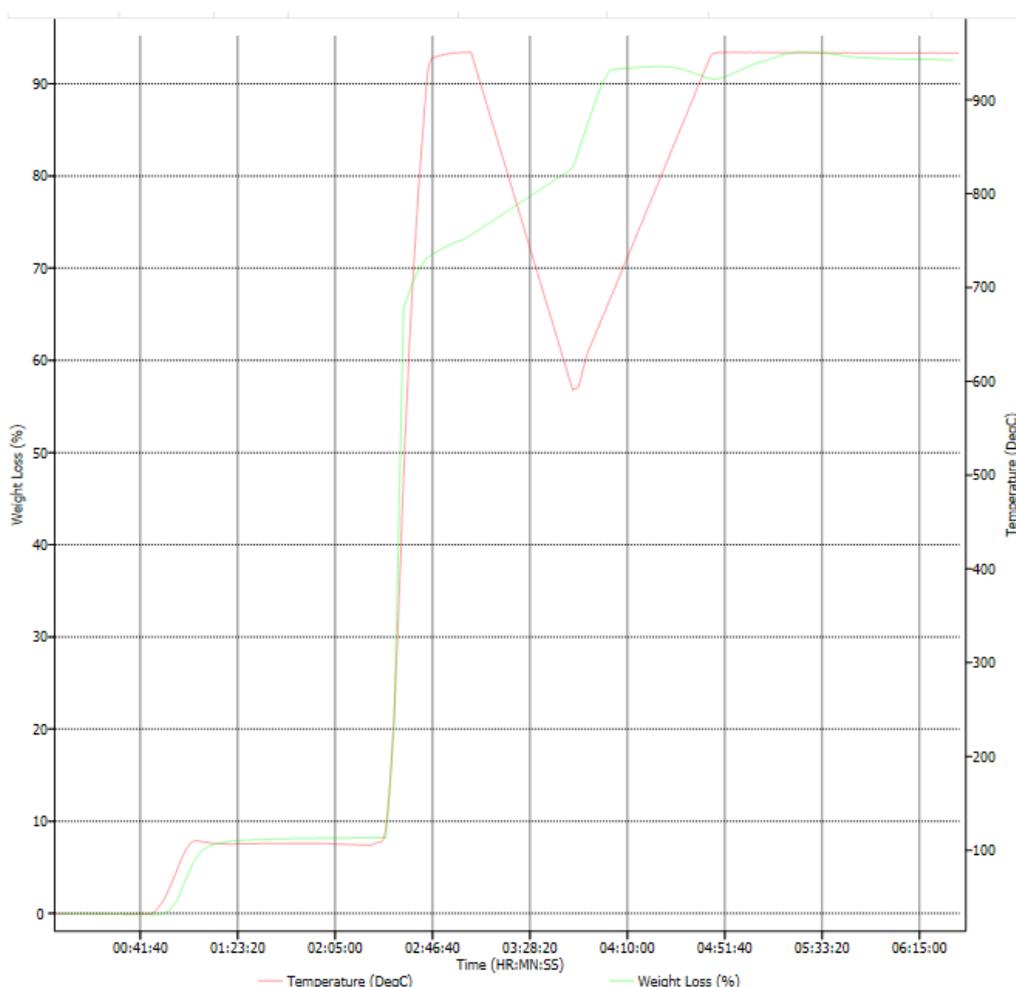
## Análisis TGA de CMC-1



**Figura 8: Curva termogravimétrica de la muestra CMC-1**

En la Figura 8 se muestra la curva termogravimétrica de la muestra CMC-1, se observa que la fase 1 o fase de deshidratación de la materia ocurre hasta llegar a los 140 °C, donde la muestra pierde 10,52 por ciento de su peso inicial. Luego, a partir de la temperatura de 140 °C comienza la fase 2 o fase de desvolatilización intensa, donde se pierde el 71,81 por ciento de la masa inicial, lo cual corresponde a la liberación de los materiales volátiles. La fase 3 empieza a una temperatura de 730 °C donde empieza la ignición de los carbonos fijos, los cuales representan el 6,34 por ciento de la masa. Por último, la fase 4 empieza a los 850°C hasta los 950°C donde se estabiliza la temperatura y se forman los materiales inorgánicos o cenizas que representan el 11,34 por ciento de la masa inicial.

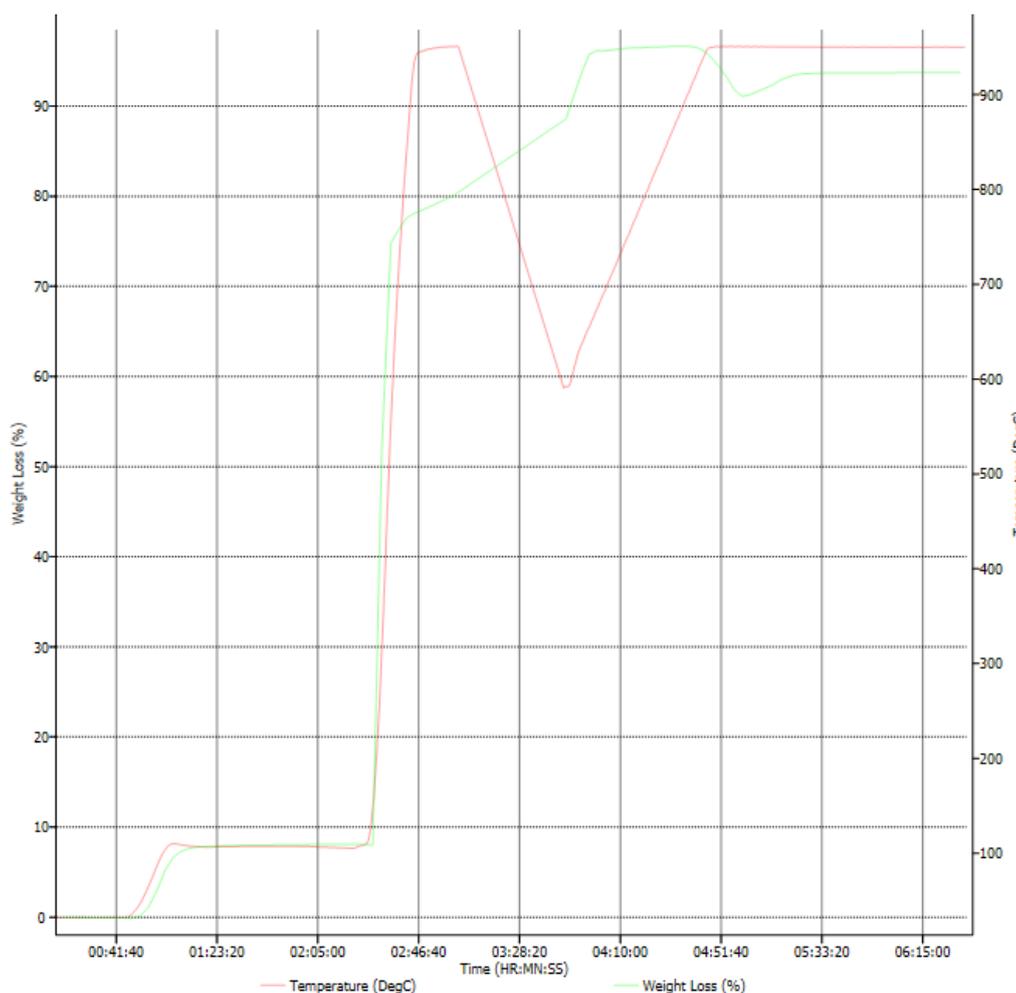
## Análisis TGA de CMC-2



**Figura 9: Curva termogravimétrica de la muestra CMC-2**

En la Figura 9 se muestra la curva termogravimétrica de la muestra CMC-2, se observa que la fase 1 o fase de deshidratación de la materia ocurre hasta llegar a los 115 °C, donde la muestra pierde 8,09 por ciento de su peso inicial. Luego, a partir de la temperatura de 115 °C comienza la fase 2 o fase de desvolatilización intensa, donde se pierde el 71,66 por ciento de la masa inicial, lo cual corresponde a la liberación de los materiales volátiles. La fase 3 empieza a una temperatura de 710 °C donde empieza la ignición de los carbonos fijos, los cuales representan el 9,48 % de la masa. La fase 4 empieza a los 825°C hasta los 950°C donde se estabiliza la temperatura y se forman los materiales inorgánicos o cenizas que representan el 10,77 % de la masa.

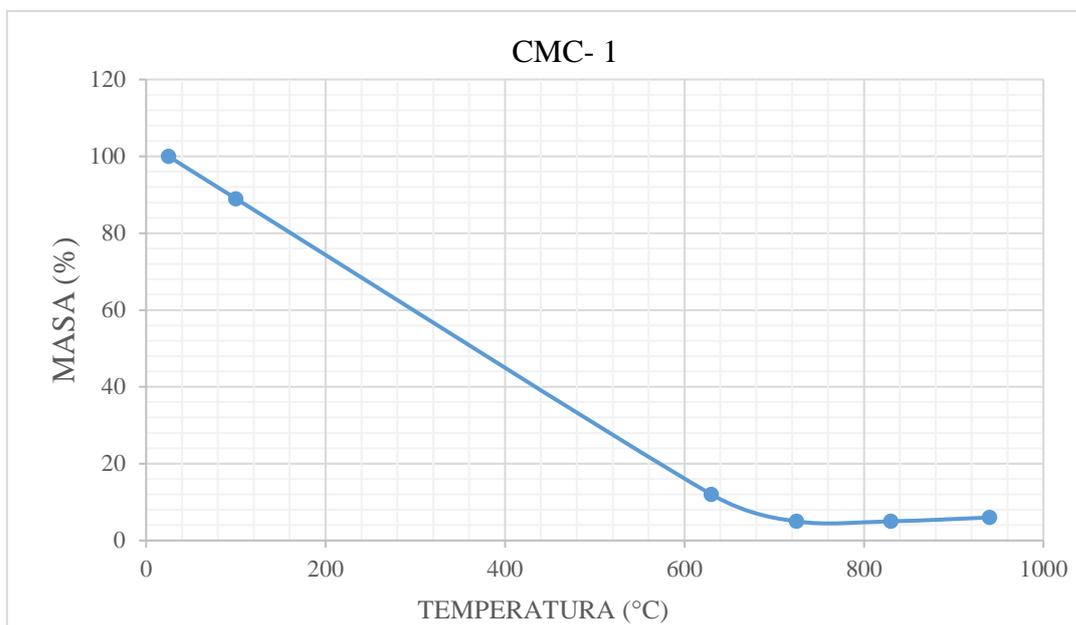
## Análisis TGA de RPC



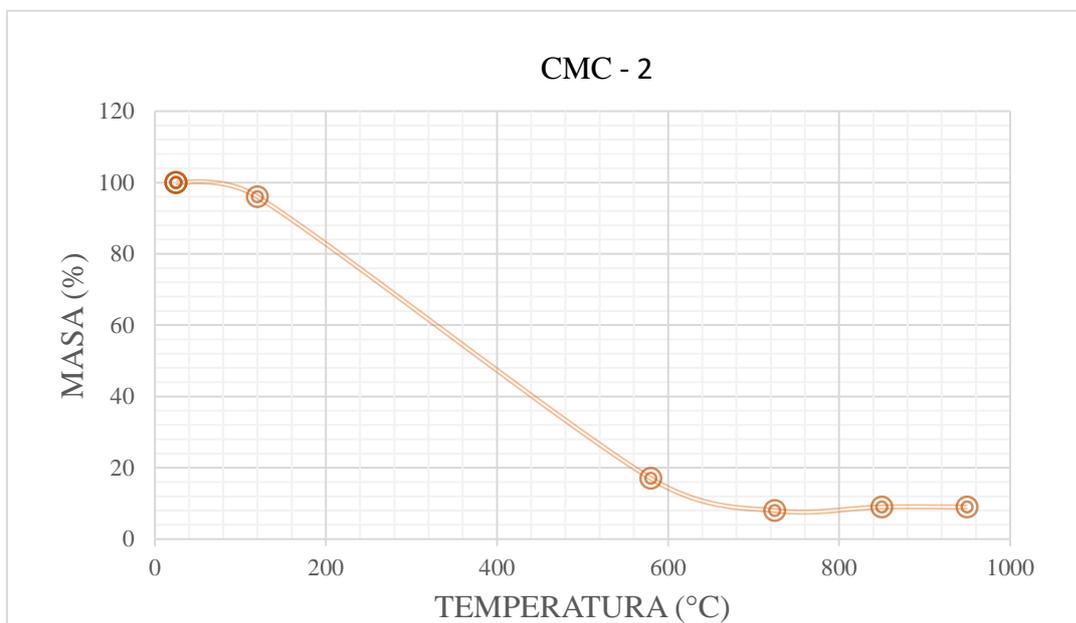
**Figura 10:** Curva termogravimétrica de la muestra RPC

En la Figura 10 se muestra la curva termogravimétrica de la muestra RPC, se observa que la fase 1 o fase de deshidratación de la materia ocurre hasta llegar a los 105 °C, donde la muestra elimina 8,0 por ciento de su peso inicial. Luego, a partir de la temperatura de 105 °C comienza la fase 2 o fase de desvolatilización intensa, donde se pierde el 79,53 por ciento de la masa inicial, lo cual corresponde a la liberación de los materiales volátiles. La fase 3 empieza a una temperatura de 750 °C donde empieza la ignición de los carbonos fijos, los cuales representan el 2,28 % de la masa. La fase 4 empieza a los 875 °C hasta los 950 °C donde se estabiliza la temperatura y se forman los materiales inorgánicos o cenizas que representan el 10,19 % de la masa.

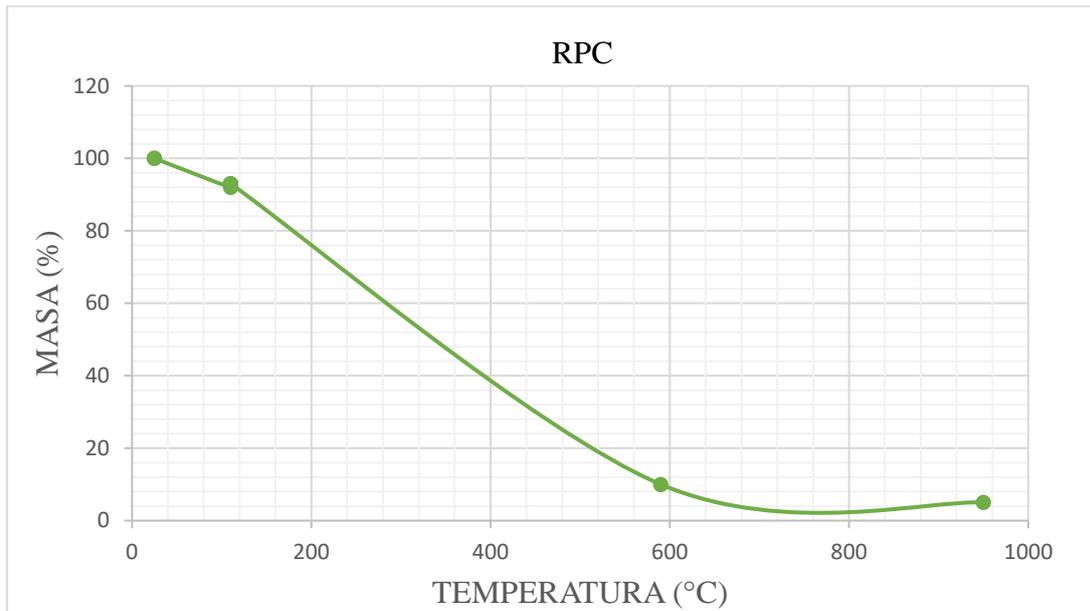
A continuación, se muestran las curvas de pérdida de masa versus temperatura de las biomásas analizadas. Ver figuras 11, 12 y 13.



**Figura 11: Curva de pérdida de peso de CMC-1**



**Figura 12: Curva de pérdida de peso de CMC-2**



**Figura 13: Curva de pérdida de peso de RPC**

En los tres casos se observan temperaturas de ignición altas comparadas con otros materiales combustibles conocidos. Por ejemplo, Esplugas y Chamarro (2005) mencionan que la temperatura de la madera es de aproximadamente 427 °C. Gases combustibles como el propano tienen temperaturas de ignición entre 493 – 604°C. Otro combustible como la gasolina presenta temperaturas de ignición de 456°C. Si se quiere llegar a utilizar estos materiales mediante procesos de combustión, sería necesario usar equipos o calderos que lleguen a altas temperaturas para así poder obtener una combustión adecuada.

Se observa que las curvas de las tres biomásas analizadas poseen similitud, eso quiere decir que las tres biomásas presentan un comportamiento similar en el momento de la combustión.

## 6.2. ANÁLISIS DE PODER CALÓRICO

Los PCS de las muestras CMC-1 y CMC-2 fueron de 16,25 MJ kg<sup>-1</sup> y 16,00 MJ kg<sup>-1</sup>. Existe semejanza de estos valores con estudios ya realizados; Martínez-Ángel et al., (2015) analizó las cáscaras de cacao y obtuvo valores de 15, 39 MJ kg<sup>-1</sup>, 16, 63 MJ kg<sup>-1</sup>, 16, 670 MJ kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, existen otros estudios donde han obtenido valores inferiores y también superiores; Van der Drift et al., (2001) obtuvieron un PCS de 15, 88 MJ kg<sup>-1</sup> y Kitani y Hall, (1989) en su estudio registran 19,04 MJ kg<sup>-1</sup>.

Para el caso de las ramas de las podas se obtuvo un PCS de 17,67 MJ kg<sup>-1</sup>. No existen estudios realizados en donde analicen esta madera, sin embargo, podemos compararla con la madera de un cultivo como en café; Romo et al., (2011) analizan esta biomasa y obtienen un valor similar de 17,52 MJ kg<sup>-1</sup>. Asimismo, residuos de la madera del eucalipto presentan un poder calórico superior de 19.33 MJ kg<sup>-1</sup>, valor que no se encuentra tan distante al obtenido en las ramas de cacao.

Si observamos las dos muestras de CMC, podemos evidenciar que el PCI de la muestra CMC-2 es más bajo. Esto se debe a el alto contenido de humedad a la que esta muestra se encuentra en el campo, es decir, en su estado natural. Este valor nos podría indicar que usar las cáscaras de cacao en un proceso de combustión a ese estado no sería lo adecuado. En cambio, las muestras CMC-1 si podrían ser usadas en un proceso de combustión o pirolisis de manera directa.

La tabla 15 muestra los resultados de PCS y PCI obtenidos en el presente estudio.

**Tabla 15: Resultados de análisis de poder calórico de los residuos estudiados.**

TIPO DE RESIDUO	Contenido de humedad	Poder Calórico superior [PCS]		Poder Calórico inferior [PCI]	
	Seco (%)	KJ kg <sup>-1</sup>	MJ kg <sup>-1</sup>	KJ kg <sup>-1</sup>	MJ kg <sup>-1</sup>
CMC-1	20,71	16251,90	16,25	12761,87	12,76
CMC-2	84,50	16004,88	16,00	1973,76	1,97
RPC	47,41	17674,16	17,67	9010,38	9,01

### 6.3. ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la tabla 16 se muestran los principales elementos que componen los tres tipos de biomasa analizada.

**Tabla 16: Resultados de la composición química de los residuos estudiados**

<i>Código de la muestra</i>	<i>M.S %</i>	<i>[%C.H]</i>	<i>[%C]</i>	<i>[%N]</i>	<i>[%K]</i>	<i>[%S]</i>	<i>[%Na]</i>
<b>CMC-1</b>	78,82	21,18	50,77	0,95	4,05	0,09	0,02
<b>CMC-2</b>	21,26	78,74	46,31	1,06	4,25	0,08	0,01
<b>RPC</b>	71,59	28,41	54,02	1,01	1,39	0,05	0,01

M.S: Materia seca; C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; S: Azufre; Na: Sodio

Las muestras de CMC tienen un contenido de carbono similar (50,77 % y 46 ,31 %) comparados con el contenido de C que presentan Martínez- Ángel., et al (2015) en su estudio (43,5 – 50,0 %). En el caso de la muestra de RPC el C representa el 54,02 %.En N presenta valores bajos (1,06 % y 0,95 %) comparados con los valores que obtienen Titiloye et al., 2013 (2,2 %) y Kitani and Hall, 1989 (3,3%).

El K en los dos tipos de CMC muestran valores altos (4,25 % y 4,05 %) y en la muestra de RPC representa un valor de 1,39%. Martínez- Ángel., et al (2015), analiza la composición de las cenizas de las cáscaras de la mazorca del cacao y menciona que más de la mitad de ellas están conformadas por óxido de potasio ( $K_2O$ ) , por lo cual la pirólisis no sería un tratamiento termoquímico viable en la valorización energética de estos residuos. También menciona que el K promueve fuertemente la formación de agua en la fracción líquida resultante después del pirólisis, reduciendo así la calidad como combustible. Para evitar una separación de fase de esta fracción líquida, su contenido de agua debe ser menor a 30 wt % (Chiaramonti et al., 2007). Por lo tanto, ya que las CMC poseen contenidos de humedad superiores a este contenido de humedad mencionado. Martínez- Ángel., et al (2015) mencionan que las concentraciones elevadas de K en las CMC determinarán la producción de agua adicional y, por tanto, una reducción en el contenido energético en el líquido de pirólisis, junto con la alteración severa de sus propiedades fisicoquímicas como pH, viscosidad, acidez total y potencial de corrosión.

El S en los tres tipos de biomasa se encuentra en valores menores al 1%; las CMC presentan (0,09 % y 0,08 %) y la muestra de RPC un valor inferior (0,05%). Vassilev et al., (2010) menciona que el contenido de S de la biomasa, típicamente se encuentra en el rango de valores de 0,01 y 2,3%. Es decir, los valores de S en las tres biomásas son relativamente bajos, lo que representa una ventaja en este caso ya que altas cantidades de S promueven la formación de escorias y óxidos muy contaminantes. (Ptasinski, 2007).

El Na en las muestras CMC-1 y CMC-2 es también relativamente bajo (0,02 y 0,01 %); en la muestra RPC también es semejante (0,01%). Martínez- Ángel., et al (2015) mencionan que los compuestos alcalinos en biomásas agrícolas, especialmente Na y K, se pueden combinar con Cl formando una serie de compuestos con bajos puntos de fusión. Esta mezcla de elementos aumenta la probabilidad de que las partículas de carbono generadas durante la combustión o la gasificación sean atrapadas en las superficies internas del reactor, afectan la transferencia de calor y, en muchos casos, obligan a detener el proceso.

#### 6.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES ESTRUCTURALES

En la tabla 17 se muestran los resultados del contenido de Lignina, Holocelulosa (Celulosa más Hemicelulosa) y cenizas de los tres tipos de residuos analizados.

**Tabla 17: Análisis de componentes estructurales de los residuos estudiados**

Los resultados mostraron que la cáscara húmeda presentó 44,39 % de lignina, 52,43 % de

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Lignina (%)</i>	<i>Holocelulosa (%)</i>	<i>Contenido de humedad (%) [C.H]</i>
<b>CMC-1</b>	43,46	39,4	20,71
<b>CMC-2</b>	44,39	52,43	84,5
<b>RPC</b>	31,65	64,82	47,41

holocelulosa y 10,4 % de cenizas. Autores como Titiloye et al., (2013) analizaron las cáscaras de cacao y sus resultados arrojaron que estas presentan 35 % de lignina, 30 % de holocelulosa y 10 % de cenizas. Tjalfe, S et al., (2013) también analizó las cáscaras de cacao y obtuvieron como resultados 37,2 % de lignina, 38,2 % de holocelulosa (19,6% de celulosa y 18,6 % de hemicelulosa) y 24,5% de cenizas.

En el presente estudio las muestras RPC analizadas presentaron 31,65 % de lignina, 64,82 % de holocelulosa y 5,53 % de cenizas. Siswanto et al (2017) analiza en contenido lignocelulósico de las ramas del cacao; en su estudio analiza ramas de 5 y 30 años y sus

resultados muestran que las ramas de 5 años presentan 11,26 % de lignina y 21,38% de holocelulosa (10,19 % hemicelulosa y 11,19 % de celulosa y en ramas de 30 años sus resultados mostraron 13,72 % de lignina y 31,35 % de holocelulosa (3,90 % de hemicelulosa y 27,45 % de celulosa).

Desde el punto de vista energético es necesario conocer y tener en cuenta los porcentajes que representan estos compuestos (Lignina y holocelulosa) en la biomasa para así poder estimar la cantidad de combustibles que se podrían generar, por ejemplo, el etanol que se forma principalmente de holocelulosa.

Un residuo como el bagazo de caña, el cual es usado industrialmente para la producción de etanol contiene 56,4% de holocelulosa. En el presente estudio, la muestra RPC contienen una proporción mayor de holocelulosa (64,82%) y las CMC-1 y CMC-2 (39,4 y 52,43%). Estos valores nos indican que estos residuos pueden ser usados en la producción de este combustible.

## **7. RESIDUOS DE CACAO EN COMPARACIÓN CON OTRAS BIOMASAS**

La tabla 18 presenta la caracterización de los residuos del cacao comparados con otros residuos biomásicos usados como combustibles, como son el bagazo de caña, la paja de arroz, residuos de eucalipto y residuos en la cosecha de la yuca. En general, las características de los residuos del cacao se asemejan a la mayoría de biomاسas presentadas, considerando el análisis proximal, análisis elemental y el análisis de poder calórico. Las principales diferencias, incluyendo las biomاسas presentadas, se encuentran en el contenido de cenizas.

Los residuos del cacao (cascaras y ramas) presentan cenizas entre (10,19 % - 11,34%) de cenizas, la paja de arroz contiene una cantidad superior con 18,67% y otros residuos como los de la yuca, el bagazo de caña y el eucalipto contienen cantidades muy inferiores; 2,91 %, 3,97 % y 5,55 % respectivamente.

En cuanto a las ramas de cacao provenientes de las podas, se esperaría que por ser un material lignocelulósico como el eucalipto sus resultados sean parecidos, pero no fue así. Autores como Martínez-Ángel. et al 2015 mencionan que los cambios en la composición de los residuos biomásicos ya sean en el mismo tipo de biomasa o entre distintos tipos de

biomasa estén influenciados por varios factores tales como la variedad del cultivo, el clima, la plantación o método de fertilización y cosecha.

**Tabla 18: Caracterización de los residuos del cacao en comparación con otros residuos**

Tipo de residuo	Análisis proximal % (db)			Análisis elemental % (db)						PCS kJ kg-1	Referencias
	MV	CF	Cz	C	H	N	S	O			
CMC-2	71,66	71,66	10,77	46,31	n. r	1,06	0,08	n. r	Presente estudio		
CMC-1	71,81	6,34	11,34	50,77	n. r	0,95	0,09	n. r	Presente estudio		
Rama de poda de cacao	79,53	2,28	10,19	54,02	n. r	1,01	0,05	n. r	Presente estudio		
Bagazo de caña	82,35	13,68	3,97	40,34	5,66	0,58	0,17	47,91	Bizzo et al., 2014		
Paja de arroz	65,47	15,86	18,67	38,24	5,20	0,87	0,18	36,26	Jenkins, 1998		
Eucalipto	67,75	20,19	5,55	50,15	7,45	0,50	0,02	39,64	Cuiping et al., 2004		
Residuos de yuca	88,87	11,22	2,91	44,12	6,44	0,81	<0,2	48,62	Soto et al., 2016		

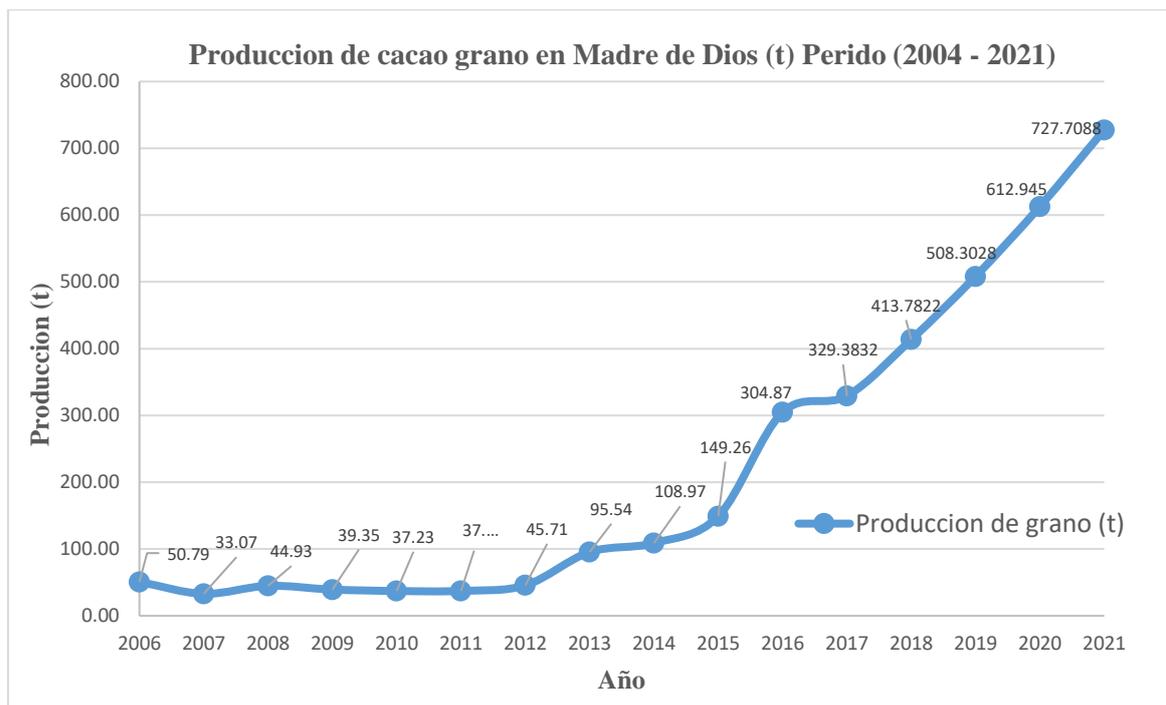
n.r: no reportado; MV: materia volátil; CF: carbono fijo; Cz: cenizas; C: carbono; H: hidrógeno; N: nitrógeno; S: azufre; O: oxígeno; PCS: valor calórico superior; CHC: Cáscara húmeda de cacao; CSC: Cáscara seca de cacao; RPC: rama de poda de cacao; (\*): extraído de literatura.

## 8. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

### 8.1. PRONÓSTICO DE PRODUCCIÓN Y GENERACIÓN DE RESIDUOS

A partir de los datos de producción de los últimos años, se elaboró el pronóstico de producción de cacao en grano para el periodo de años (2017 -2021).

Se presenta la figura 14 donde se muestra la producción de cacao en grano seco en toneladas (2006 – 2016) y el pronóstico de producción para los años (2017 – 2021).



**Figura 14:** Producción de cacao en grano (2006-2016) y pronóstico de producción (2017-2021)

A partir de los valores obtenidos en el pronóstico, se obtuvieron los valores aproximados de residuos que se podrían generar entre ese periodo de años.

En la tabla 19 se muestran los valores estimados de la producción de granos de cacao para el periodo (2017 – 2021). Adicionalmente se muestra los valores estimados de los residuos que se podrían generar en este periodo y el potencial energético de los mismos.

**Tabla 19: Pronóstico de producción anual de cacao en grano y de residuos que se generan en el periodo (2017-2021)**

Año	Producción de cacao en grano (t)	Residuos generados (t/año)	
		Cáscaras de cacao	Ramas de podas
2016 (real)	304,87	2809,16	66113,24
2017	329,383	1822,71	42897,31
2018	413,782	1994,28	46935,12
2019	508,303	2165,85	50972,94
2020	612,945	2337,41	55010,75
2021	727,709	2508,98	59048,56

## 8.2. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DEL CACAO

En la tabla 20 se muestra la energía en tera-joules por año (TJ / año) y toneladas equivalentes de petróleo por año (TEP / año) que podrían generar los residuos CMC-1, CMC-2 y RPC en la región madre de Dios.

De acuerdo con la estimación. Los residuos que generarían mayor energía son el CMC-1 y RPC. En el caso que se utilicen los dos tipos de residuos al mismo tiempo; es decir, las cascaras en el estado de la muestra CMC-1 más RPC se generarían los TJ anuales que se muestran en la tabla 21.

**Tabla 20: Potencial energético anual de los residuos de cacao en el periodo (2017-2021)**

Año	Potencial energético		
	CMC-1	CMC-2	RPC
	TJ/año	TJ/año	TJ/año
2016 (real)	35,84	5,53	595,68
2017	23,26	3,59	386,50
2018	25,45	3,93	422,89
2019	27,64	4,27	459,27
2020	29,83	4,60	495,65
2021	32,01	4,94	532,03

### 8.3. VALORACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS DEL CACAO

En la tabla 21 se muestra el total de TJ/año que se podrían generar si se utilizan simultáneamente los residuos CMC-1 y RPC. Se observa la comparación de este total mencionado con TEP y toneladas de leña / año y en cuanto se podrían valorizar estos residuos tomando como base el valor de estos combustibles ya usados.

**Tabla 21: Potencial energético de los residuos CMC-1 y RPC usados simultáneamente en la Región Madre de Dios (2017-2021)**

Año	Potencial energético		TOTAL	Residuo equivalencia		Residuo valorizado (en base a TEP)
	CMC-1	RPC		TEP	T leña /año	Millones \$ USD
	TJ/año	TJ/año	TJ/año			
2016 (real)	35,84	595,68	631,53	15071.17	43605,17	5,82
2017	23,26	386,50	409,76	9768.79	28292,64	3,78
2018	25,45	422,89	448,33	10700.29	30955,78	4,13
2019	27,64	459,27	486,90	11607.91	33618,92	4,49
2020	29,83	495,65	525,47	12539.40	36282,06	4,84
2021	32,01	532,03	564,04	13470.90	38945,19	5,20

### 8.4. DEMANDA Y OFERTA ENERGÉTICA EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS

#### 8.4.1. DEMANDA ENERGÉTICA

El INEI en el año 2016, menciona que en la región Madre de Dios existen un total de 35 250 personas ubicadas en zonas rurales, las cuales, según el MINAGRI (2016) el total de estas personas consumen un total 38 000 m<sup>3</sup> de leña anuales.

En la tabla 22 se resume la demanda energética total, basada en el consumo de leña en la Región.

**Tabla 22: Resumen de la obtención de la demanda energética en la Región Madre de Dios para el año 2016.**

Consumo anual de leña del total de personas (m <sup>3</sup> )	Poder calorífico de la leña (MJ/m <sup>3</sup> )	Demanda energética (TJ)
38 000	7200	273,73

#### **8.4.2. OFERTA ENERGÉTICA**

En el año 2016 se pudo generar un total de 631, 53 TJ de energía basada en la utilización de los residuos del cacao. Esto significa que si se deciden utilizar simultáneamente los residuos (CMC-1 y RPC) con la tecnología adecuada, se podría cubrir al 100 % la demanda energética de las personas ubicadas en las zonas rurales.

En la figura 15 se observa el mapa de la distribución del potencial energético de los residuos de cacao en las tres provincias de la región Madre de Dios en el año 2016. Observamos que la provincia que cuenta con mayor potencial es Tambopata, el cual podría haber generado en el año 2016 un potencial energético de 466 TJ. Las provincias de Manu y Tahuamanu podrían haber generado 131 y 33 TJ de energía.

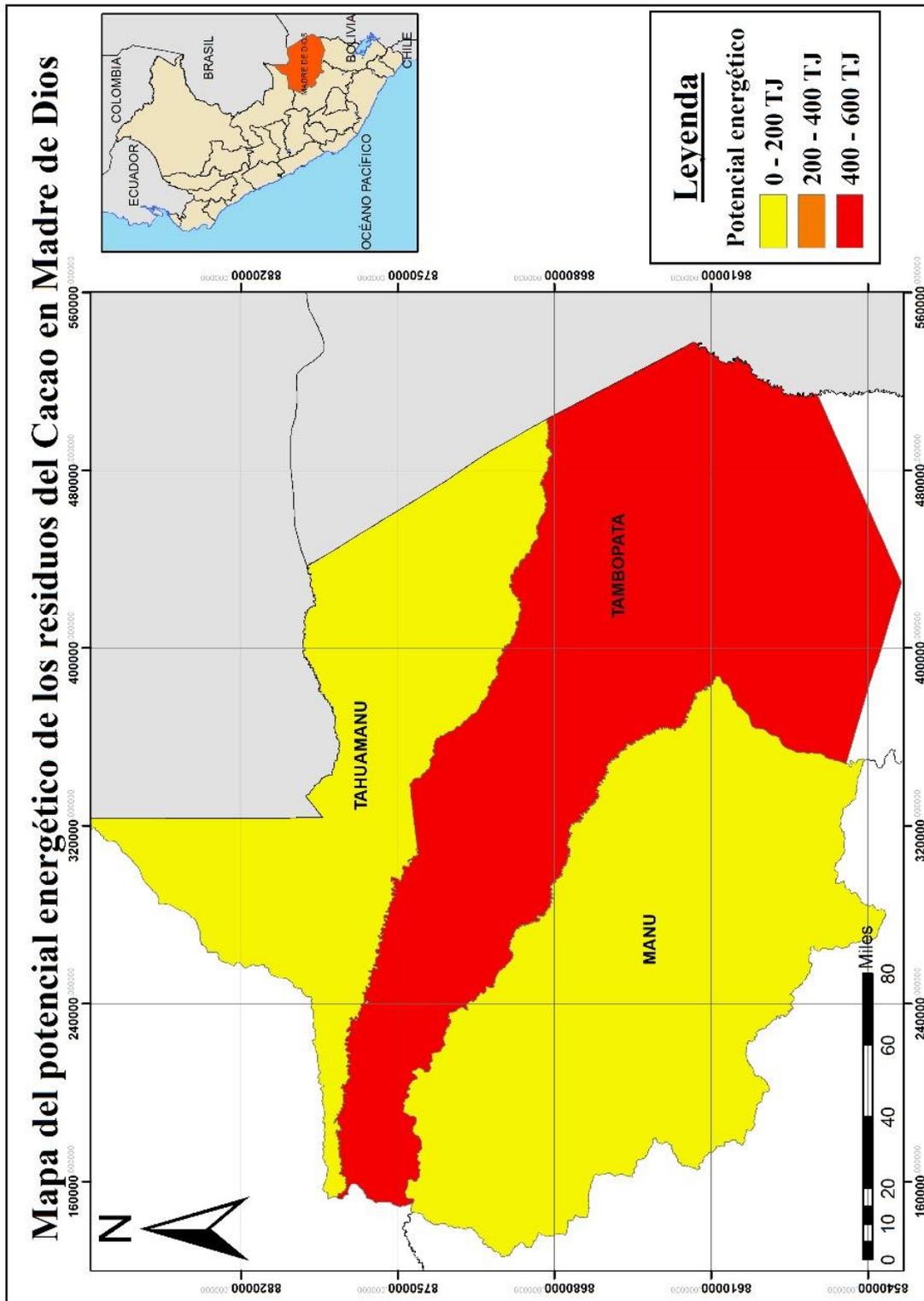


Figura 15: Mapa del potencial energético de los residuos del cacao en la Región Madre de Dios

## V. CONCLUSIONES

- 1) Se determinó y cuantificó la biomasa residual del cacao en la Región Madre de Dios y en sus tres provincias teniendo en cuenta factores de generación de residuos propios de la región. De las tres provincias la que presenta mejor potencial es Tambopata, la sigue Manu y por último Tahuamanu.
- 2) De la caracterización física, química y energética de la biomasa residual disponible en la cadena productiva del cacao, se concluye que los residuos estudiados son recomendables para su utilización energética. El de mayor poder calórico fue los residuos de poda, pero en componentes estructurales las cascaras presentan mejores resultados.
- 3) El potencial energético de los residuos del cacao como cáscaras y podas pueden satisfacer en su totalidad a la demanda energética de las familias de las zonas rurales de la Región Madre de Dios en los próximos 5 años. La región Madre de Dios puede generar en el periodo (2016 – 2017) en promedio entre 400 y 600 TJ/año en base a la utilización de estos residuos.



## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios sobre el rendimiento en la producción de biocombustibles procedentes de la biomasa residual del cacao; como etanol, gases y briquetas.
- Realizar estudios técnico-económicos para evaluar la viabilidad de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de plantas de transformación y producción de biocombustibles procedentes de la biomasa residual del cacao en la región Madre de Dios.
- Realizar estudios sobre el impacto ambiental que puede generar el uso de biomasa con fines energéticos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROBANCO - UNALM. 2012. Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de cacao. Pichai- La convención- Cusco. PE.
- Ballesteros, M. 2009. Fuentes de energía para el futuro. ES 324p.
- Biomass Users network Centroamérica – BUN-CA. 2002. Biomasa, manuales sobre energía renovables para América Central. San José. CR. (1) 3-17 p
- Brenes, O. 1990. Posibilidades de la utilización de los subproductos del beneficio del cacao: Memoria. IICA-PRRET. CR 141 – 146.
- Cárdenas, B. 2014. Planta de Theobroma cacao y sus partes. PE
- Carmona, R. 2015. Caracterización física, química y energética de la biomasa leñosa como materia prima biocombustible. Córdova. ES.
- Castells, X; Cadavid, C; Campos, P. 2005. Tratamiento y valorización energética de residuos, ES., 64p
- Centro de Exportaciones e inversiones Nicaragua (CEI). 2013. Estudio de mercado de Japón para cacao nicaragüense. NI.
- Cerdá Tena, E. Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadro. económicos ICE. ES 117-140 (2012)
- Crescente, O; Acosta, M. 2016. Aprovechamiento de los desechos de cacao (Theobroma cacao L.) .VE
- Cuiping, L; Chuangzhi, W; Yanyongjie. 2004. Chemical elemental characteristics of Biomass fuels in China. Biomass & Energy. CN 27 – 119-130.
- D.S.013–2005-EM: Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de marzo del 2005. ES
- D.S.021–2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, de abril del 2007. ES

- D.S.075-2009-PCM: Decreto Supremo que crea la Comisión Multisectorial sobre Bioenergía, noviembre del 2009. ES. P78-98
- De Juana, J., y J. Fernández. 2005. Energías renovables para el desarrollo. Madrid, España: Thomson Paraninfo. ES.311 p.
- DIARIO GESTIÓN. 2016- Empresa editora El comercio S.A.
- DIARIO GESTIÓN. 2017- Empresa editora El comercio S.A.
- Directiva 004-2007-PROINVERSIÓN: Lineamientos del Programa de Promoción del Uso de Biocombustibles – PROBIOCOM, de marzo del 2007.
- Enríquez. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao.
- FAO (Organización de las Naciones unidad para la alimentación y la agricultura, Argentina). 2017. Curso: De la biomasa a la energía renovable: Dendroenergía en Argentina. AR . 34 p.
- Fernández, J. 2003. La energía de la biomasa. Energías Renov. 135p
- Forero, C; Guerrero, C; Sierra, F. 2014. Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación. ES. 67 p.
- Francescato, V; Antonini, E; Bergomi, L. 2008. Manual de combustibles de madera. Valladolid, España. AVEBIOM (Asociación española de valorización energética de la biomasa). ES 82p.
- Fundación MCCCH (Fundación Maquita Cushunchic, EC). 2012. Manual de podas en caco. Quito. EC. 124 P.
- García, D., & Rezeau, A. (2010). Energía de la Biomasa. Universidad de Zaragoza.
- García, J. L. & Martínez, M. J. Biomasa y Biotecnología. Cons. Super. Investig. Científicas ES. 45-47 (2014).
- Giraldo, O. D. (2012). Conversión de biomasa recalcitrante originada en la producción de etanol a partir de la planta de banano y su fruto en combustibles mediante procesos de pirólisis. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energía, Medellín, CL. 65 p.
- González, J. 2009. Energías renovables. Barcelona .ES. 12- 656p.

- Graziani, L; Ortiz, J; Angulo (2002). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía tropical VN*. 53(3):325-342.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). 2015
- INIAP. 1987. Manual agrícola de los principales cultivos de Ecuador. EC. 21 p.
- INIAP. 2009. Manual de cultivo de cacao. EC.32 P.
- International Cocoa Organization- ICCO. 2013. Growing Cocoa.US
- INTI- Instituto Nacional de tecnología Industrial. 2008. Aspectos de la generación de calor por combustión de desechos foresto-industriales densificados. AR.47p
- Jenkins B. M., L. L. Baxter, T. R. Miles Jr., and T. R. Miles.1998 Combustion properties of biomass. *Fuel Process. Technol.US*. 54: 17-46.
- Kitani O., and C. W. Hall. 1989. *Biomass Handbook*, Gordon and Breach Science Publishers, New York. US.993 p.
- Ley 28054: Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de agosto del 2003.
- Loyo, S. 2015. Exportación de cascaras, películas y demás residuos de cacao hacia Perú. Universidad de las Américas. EC.75p.
- Martínez-, J; Villamizar, A ; Ortíz , O. 2015. Caracterización y evaluación de la cáscara de mazorca de cacao (*Theobroma cacao l.*) como fuente de energía renovable. NC. 17p.
- Mckendry, P. 2002. Energy Production from Biomass: Overview of biomasaas. *Bioresource technology*. US.37 -46.
- Miguez, J. L. Procesos Termoquímicos a Partir De La Fitomasa Residual. *Procesos Termoquímicos Para La Obtención Energía 9.1 a 9.12 (2004)*.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) 2007. Plan estratégico – Cadena Agro-productiva del cacao.PE 98p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) 2017. Dirección general de información Agraria (DGIA).
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2016. DGSEP. -DEA.
- Montenegro, K; Rojas, A; Cabeza, I; Hernández, M. 2016. Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. CL. 15

- Mujal, R. 2000. Tecnología eléctrica. Escuela técnica superior de ingeniería industrial de Terrassa. Catalunya. ES. 323 p.
- Muñoz-Muño, D., Pantoja-Matta, A. J. & Cuatin-Guarin, M. F. Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Biotechnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial* 12, CL 10-19 (2014).
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). 1998. Determination of ash in biomass. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Colorado. US .43p
- Obernberger, I; Brunner, T; Bärnthaler, G., 2005. Chemical properties of solid biofuelssignificance and impact. *Biomass and Bioenergy*.US. 53 p.
- Plaisir. 2005. Las variedades del cacao.
- Ptasinski. K; Mark, J. 2007. Exegetic evaluation of biomass gasification. *Energy* 32. 568 – 574. US. 81 p.
- San Miguel, G; Gutiérrez, F. 2015. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Universidad Politécnica de Madrid.ES. 443p.
- Sangronis, E. Soto, M. Valero, Y. Buscena, I. 2014. Cascarilla de caco venezolano como materia prima de infusiones. Universidad Simón Bolívar, VN. 53 p.
- Sebastián Nogués, F., García Galindo, D., Rezeau, A. & Ábrego Garrués, J. *Energía de la biomasa*. (Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010).
- Senovilla, L., & Antolín, G. (2005). *Revalorización Energética de los Residuos de la Industria Vitivinícola*. ES . 48 p.
- Tirado, A. 2016. Estudio experimental de la efectividad del proceso de lavado en la remoción de metales alcalinos respecto de variables del tiempo y temperatura de lavado aplicado a las hojas de cala de azúcar picadas con miras a su empleo en procesos de combustión. Pontifica Universidad Católica del Perú. Lima- Perú. PE 120p.
- Titiloye, J. O., M. S. Abu-Bakara. and T. E. Odetoeye. 2013. Thermochemical characterisation of agricultural wastes from West Africa. *Ind. Crop. Prod.* 47: 199-203. US. 43 p.
- UPME (Unidad de planeación minero-energética). 2003. Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícola en Colombia. CL.65 p.

- UPME. 2010. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. 131-142.
- van der Drift, A., J. van Doorn, and J. W. Vermeulen. 2001. Ten residual biomass fuels for circulating fluidized-bed gasification. *Biomass Bioenerg.* 20: US 45-56.
- Van der Sloot, H. A., and P. A. J. Cnubben. 2000. Verkennende evaluatie kwaliteitsbeïnvloeding poederkoolvliegass, ECNreport US.ECN-C-00-058, 88 p
- Van Ree, R., A. B. J. Oudhuis, A. P. C. Faaij, and A. P. W. M. Curvers. 1995. Modelling of a biomass-integrated-gasifier/ combined-cycle (BIG/CC) system with the flowsheet simulation programme Aspen+. Final report JOU2- US.CT93-0397



# VIII. ANEXOS

## ANEXO 1

### RESULTADO DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUA, PLANTAS Y FERTILIZANTES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

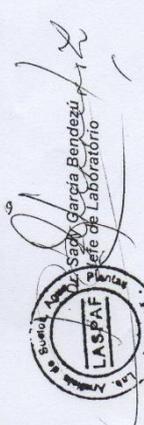
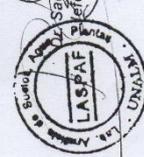



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

**INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR**

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS  
 MUESTRA DE : TEJIDOS VEGETALES  
 REFERENCIA : H.R. 56820  
 FECHA : 06/01/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Zn	Cu	Mn	Fe	B	M.S.	C	Cenizas
		%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
6107	Cacao - CH - 2C	1.06	0.06	4.25	0.43	0.19	0.06	0.01	39	14	272	22	26	21.26	46.31	7.98
6108	Cacao - PO - 3C	1.01	0.09	1.39	0.84	0.23	0.05	0.01	29	8	113	27	14	71.59	54.02	4.15
6109	CS - CO - 1C	0.67	0.02	0.76	0.25	0.06	0.08	0.01	9	9	12	38	12	81.46	50.64	2.03
6110	CS - CR - 2C	1.12	0.05	1.31	0.22	0.08	0.09	0.01	17	11	36	581	19	67.18	45.75	8.23

Sady Garcia Bendezu  
Jefe de Laboratorio

---

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS  
 MUESTRA DE : TEJIDOS VEGETALES  
 REFERENCIA : H.R. 56836  
 FECHA : 06/01/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Zn	Cu	Mn	Fe	B	M.S.	C	Cenizas
		%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
6121	AZ - TP - 1C	2.83	0.26	4.33	0.35	0.30	0.28	0.06	97	18	253	1989	32	39.06	41.52	*
6122	Cacao - CS - 1C	0.95	0.05	4.05	0.74	0.18	0.09	0.02	38	15	269	126	34	78.82	50.77	11.08
6123	YU - MA - 2C	1.68	0.26	2.21	0.66	0.32	0.11	0.10	51	15	51	334	25	28.95	47.76	7.46
6124	AZ - MA - 3C	3.89	0.38	4.30	1.30	0.34	0.16	0.29	47	17	73	452	25	20.99	46.59	10.38
6125	CS - CA - 3C	0.92	0.02	1.33	0.34	0.09	0.11	0.02	18	11	17	54	12	72.50	45.05	2.03
6126	PL - MA - 3C	3.78	0.38	2.80	1.61	0.32	0.35	0.05	45	15	67	720	63	15.94	48.73	9.55
6127	AZ - MA - 3C	2.34	0.57	1.32	0.09	0.58	0.18	0.02	114	1900	124	90	9	92.01	54.63	7.70

\* No alcanzó muestra.

Dr. Saúl García Bendezy  
 Jefe de Laboratorio

## ANEXO 2

### RESULTADOS DEL LABORATORIO DE PULPA Y PAPEL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



#### UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Departamento Académico de Industrias Forestales

Área de Transformación Química-Laboratorio de Pulpa y Papel

#### INFORME TÉCNICO: ANÁLISIS DE MUESTRAS

N° 033/09-2017-LPP

Fecha 12 de DICIEMBRE del 2016

ENSAYOS SOLICITADO por OFICINA de INVESTIGACIÓN -UNALM

N°	MUESTRA	Humedad	Holocelulosa	Lignina	Cenizas
	método	AOAC 1984	Jayme-Wise	Klason	ASTM-1762
1	CACAO- CS-1L	20,71	39,40	43,46	7,66
2	CS-CA-3L	27,93	44,50	51,32	1,56
3	EU-LCH	19,45	65,79	28,86	0,48
4	CS-CR-2L	49,19	25,97	55,60	6,89
5	AZ-CAS-2L	8,73	67,17	55,84	18,04
6	CACAO-PO-3L	47,41	64,82	31,65	5,53
7	CAC-LC	10,34	68,96	30,17	1,17
8	CS-CO-1L	43,12	62,98	34,88	2,16
9	CACAO-CH-2L	84,50	52,43	44,39	10,4
10	AZ-AFR-4L	10,68	27,76	17,58	8,78

  
HÉCTOR ENRIQUE GONZALES MORA, *Ph.D.*  
Responsable  
Jefe LABORATORIO DE PULPA Y PAPEL  
CIP 31024



Dirección: Av. La Universidad s/n Apdo. 12-056-La Molina, Lima 100 PERÚ  
Telefax (51-1) 6147800 anexo 229 Correo electrónico: [egonzales@lamolina.edu.pe](mailto:egonzales@lamolina.edu.pe)

### ANEXO 3

## RESULTADOS DEL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES – UNIDAD DE BIOMASA ENERGÉTICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

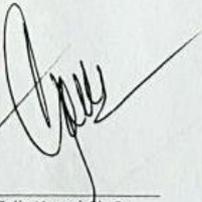
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

**INFORME DE ANALISIS DE PODER CALORICO**

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
MUESTRA : RESIDUOS VEGETALES  
FECHA RECEPCION : 02/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	HUMEDAD REFERENCIAL (%)	PCI (Cal/g)	PCS (Cal/g)
02/2017-0001	CACAO-CH-2P	8.675	3822.7	4159.1263
02/2017-0002	CS-CA-3P	11.355	4242.9	4772.1766
02/2017-0003	AZ-MA-4P	M.I	3581.8	-
02/2017-0004	PL-MA-3P	7.98	4074.6	4427.9642
02/2017-0005	PL-FL-2P	8.4	3747.5	4091.1979
02/2017-0006	PL-RA-1P	9.605	2978.6	3274.2875
02/2017-0007	AZ-TP-1P	M.I	3677	-
02/2017-0008	CACAO-PO-3P	8.345	4221.4	4588.4494
02/2017-0009	YU-MA-2P	8.8	3914.6	4292.3347
02/2017-0010	CS-CR-2P	10.57	3901.7	4343.4217
02/2017-0011	CACAO-CS-1P	10.63	3881.7	4338.1014
02/2017-0012	CS-CO-1P	8.79	4304.3	4694.9621

M.I: Muestra insuficiente

  
 Laboratorio de Energías Renovables  
José Calle Maravi, Ph. D.  
Jefe, Laboratorio de Energías Renovables

---

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Lima - Perú    Telf. 614 7800 anexo 257  
erenovables@lamolina.edu.pe    www.lamolina.edu.pe/er/