

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO  
DE LOS RESIDUOS DE LA CADENA DE VALOR  
DEL FRUTO DE LA CASTAÑA (BERTHOLLETIA  
EXCELSA) EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS**

Presentado por:

**Carla Mycet Cabezas Loayza**

**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 la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **CARLA MYCET CABEZAS LOAYZA**, intitulado “**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE LA CADENA DE VALOR DEL FRUTO DE LA CASTAÑA (BERTHOLLETIA EXCELSA) 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 considerada APTA y recibir el título de **INGENIERO FORESTAL**.

La Molina, 22 de Diciembre de 2017

.....  
Mg. Sc. Miguel Meléndez Cárdenas  
Presidente

.....  
Mg. Sc. Julio Canchucaya Rojas  
Miembro

.....  
Mg. Sc. Carlos Chuquicaja Segura  
Miembro

.....  
PhD. Enrique Gonzales Mora  
Asesor

Mg. Sc. Judith Ramírez Candia  
Coasesor

## *DEDICATORIA*

*Dedico este trabajo a mi mamá, Mary,  
por su constante apoyo, por escuchar  
todas mis dudas y ser mi modelo a  
seguir.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por llenarme de bendiciones y ser la luz en mi camino.*

*A mis mentores, la profesora Judith Ramírez y el profesor Enrique Gonzales, por brindarme su tiempo y asesorarme.*

*A mi familia, mi abuelita, mis tíos y primos, por su preocupación y su cariño.*

*A Angela Molina, por enseñarme a usar ARCGIS.*

## *RESUMEN*

La presente investigación tiene como objetivo estimar el potencial energético de la biomasa residual que se obtiene de la cadena de valor del fruto de la castaña en la Región Madre de Dios. Se identificaron los componentes de la cadena, se establecieron flujos de producción de residuos y se determinó su distribución y disponibilidad a través de mapas. El muestreo se basó en la norma UNE-EN 14778 (2013) y se caracterizaron física, química y energéticamente tres residuos (Capa externa e interna del coco y cáscara de castaña). En base al contenido de humedad, los residuos son secos (<60%) y deberían usarse energéticamente mediante su transformación térmica. Los resultados se compararon con combustibles usados en la zona rural. Así, se estimó el potencial energético regional igual a 91 TJ/año, dato calculado en base al pronóstico de producción de residuos del año 2016. Usando estos residuos con fines energéticos se puede satisfacer la demanda energética de la zona rural en un 61%.

**Palabras claves:** Biomasa residual, Cadena de valor, Potencial energético.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>II. Revisión de literatura</b> .....	<b>3</b>
<b>1. La castaña</b> .....	<b>3</b>
1.1. Origen y extensión.....	3
1.2. Descripción botánica .....	4
1.3. La ecología de la castaña .....	6
1.4. Manejo de la castaña.....	6
1.5. Principales usos de la castaña y sus derivados .....	7
<b>2. Principales indicadores económicos de la castaña en Perú y en la región madre de dios.</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Cadena de valor de la castaña en madre de dios.</b> .....	<b>10</b>
3.1. La actividad castañera .....	11
3.2. Componentes de la cadena de valor. ....	13
<b>4. Los residuos de la castaña</b> .....	<b>15</b>
<b>5. Potencial energético de la biomasa</b> .....	<b>16</b>
5.1. Energía de la biomasa .....	16
5.2. Clasificación de la biomasa .....	16
5.3. Opciones tecnológicas para la transformación de la biomasa en energía .....	18
5.4. Recursos de biomasa y potencial energético .....	19
<b>6. Propiedades de los residuos de biomasa con fines energéticos</b> .....	<b>20</b>
<b>7. Metodologías para la estimación de la biomasa</b> .....	<b>23</b>
<b>III. Materiales y métodos</b> .....	<b>25</b>
<b>1. Zona de estudio</b> .....	<b>25</b>
<b>2. Materiales</b> .....	<b>25</b>
2.1. Análisis documental y fuentes .....	26
2.2. Observación directa y entrevistas a informantes clave .....	26
2.3. Generación de base de datos y procesamiento de la información.....	27
<b>3. Métodos</b> .....	<b>27</b>
3.1. Identificación de componentes de cadena de valor del fruto de castaña y establecimiento de flujos de generación de residuos, distribución y disponibilidad.....	27
3.2. Caracterización de los residuos disponibles del fruto de la castaña .. .	31
3.3. Estimación de la producción de energía a partir de los residuos del fruto de la castaña. ....	35
<b>IV. Resultados y discusión</b> .....	<b>39</b>
<b>1. Determinación y cuantificación de residuos del fruto de la castaña</b> .....	<b>39</b>
1.1. Flujograma de producción del fruto de la castaña.....	39
1.2. Flujos de producción de residuos del fruto de la castaña. ....	43
1.3. Producción de biomasa residual potencial y su distribución espacial. ....	44
<b>2. Caracterización fisicoquímica y energética de los residuos</b> .....	<b>49</b>
2.1. Análisis físico - contenido de humedad .....	49
2.2. Análisis elemental.....	49
2.3. Análisis proximal.....	50
2.4. Análisis termogravimétrico.....	51
2.5. Análisis de poder calórico .....	55
2.6. Análisis de composición química.....	55

2.7.	Influencia de la caracterización sobre las propiedades energéticas .....	56
2.8.	Residuos de castaña en comparación con otros combustibles.....	57
<b>3.</b>	<b>Estimación del potencial energético de los residuos .....</b>	<b>58</b>
<b>V.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>61</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>63</b>
<b>VII.</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>65</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>69</b>

## *Índice de tablas*

	Página
Tabla 1: Condiciones ambientales para el desarrollo de la Castaña. ....	4
Tabla 2: Principales usos de los productos comercializados de castaña.....	7
Tabla 3: Producción regional de castaña en cáscara. ....	8
Tabla 4: Diferencias entre cadena productiva y cadena de valor. ....	11
Tabla 5: Residuos por etapas y usos actuales. ....	15
Tabla 6: Ventajas y desventajas de los métodos para estimación de biomasa. ....	24
Tabla 7: Relación de elementos analizados y metodologías aplicadas. ....	34
Tabla 8: Relación de compuestos analizados y metodologías aplicadas. ....	34
Tabla 9: Tipos de residuos producidos y factores de producción de residuos. ....	43
Tabla 10: Estimación de la producción de biomasa residual disponible a nivel regional y provincial. ....	45
Tabla 11: Contenido de humedad de los residuos. ....	49
Tabla 12: Composición elemental de los residuos de la castaña. ....	49
Tabla 13: Análisis proximal para los tres residuos de la castaña. ....	50
Tabla 14: Caracterización energética de los residuos de la castaña. ....	55
Tabla 15: Composición química de los residuos de la castaña.....	55
Tabla 16: Composición de residuos de castaña en relación a otros combustibles. ....	57
Tabla 17: Potencial energético de los residuos del fruto de la castaña. ....	58
Tabla 18: Balance energético en la Región Madre de Dios.....	59



## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Distribución de poblaciones naturales de Castaña. ....	3
Figura 2: Dibujo taxonómico del árbol de castaña, mostrando: fuste, hojas, inflorescencia, fruto y semillas. ....	5
Figura 3: Producción de castaña en cáscara en Madre de Dios. ....	9
Figura 4: Exportaciones de castaña de países productores del 2013, expresado en millones de US\$ y su porcentaje de participación. ....	9
Figura 5: Valores de exportación anual. ....	10
Figura 6: Fases de la actividad castañera. ....	12
Figura 7: Actores de la cadena de valor de la castaña. ....	14
Figura 8: Clasificación de la biomasa. ....	17
Figura 9: Opciones tecnológicas para aprovechar la biomasa. ....	18
Figura 10: Principales eslabones de la cadena de valor del fruto de la castaña que generan residuos biomásicos. ....	30
Figura 11: Partes del fruto de castaña. ....	32
Figura 12: Muestras preparadas para análisis. A: Capa externa de coco de castaña. B: Capa interna de coco de castaña. C: Cáscaras de castaña. ....	33
Figura 13: Flujograma de producción del fruto de la castaña. ....	39
Figura 14: Flujograma de producción del fruto de la castaña. ....	42
Figura 15: Mapa de ubicación de la biomasa residual disponible. ....	47
Figura 16: Mapa de disponibilidad de residuos (t/año), en la Región Madre de Dios. ....	48
Figura 17: Curva termogravimétrica del residuo CC1. ....	51
Figura 18: Curva termogravimétrica del residuo CC2. ....	52
Figura 19: Curva termogravimétrica del residuo CC3. ....	53
Figura 20: Comparación de curvas termogravimétrica de los residuos de la castaña. ....	54
Figura 21: Mapa del potencial energético de los residuos de la castaña en Madre de Dios. ....	60

## *Índice de anexos*

	Página
Anexo 1: Resultados del laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.....	69
Anexo 2: Resultados del laboratorio de Pulpa y papel de la Universidad Nacional Agraria La Molina .....	71
Anexo 3: Resultados del laboratorio de Energías renovables – Unidad de Biomasa energética de la Universidad Nacional Agraria La Molina .....	72

## I. INTRODUCCIÓN

La mega diversidad del Perú, entre muchas razones la ubicación de la Cordillera de los Andes que separa longitudinalmente al país en costa, sierra y selva, brinda una ventaja en la gran variedad de recursos biológicos, principalmente forestales en el lado de la Amazonía. En los últimos años, ha aumentado las áreas ocupadas por poblaciones humanas en la región Amazónica, con la consiguiente demanda de recursos. Al respecto, debido a la forma de asentamiento de las poblaciones humanas, la provisión de energía, principalmente eléctrica, es limitada, alcanzando una cobertura cercana a 60 por ciento (MEM, 2010). Existen inconveniencias técnicas y económicas para permitir la integración de esta población a la red eléctrica, por lo que el Estado Peruano ha emprendido proyectos de electrificación rural con sistemas interconectados y aislados. De estos últimos, los más utilizados son la energía solar fotovoltaica, hidráulica y eólica, en los lugares que cuentan con estas fuentes. Existen también proyectos para el uso de biomasa como fuente de energía, para lo cual se requiere mayor investigación sobre las mismas.

En la región Madre de Dios, la producción de diversos cultivos agronómicos y el aprovechamiento de recursos forestales, son el principal sustento de la economía de muchas familias. Solo la actividad castañera aportó un 57,6 por ciento del PBI del sector agricultura, caza y silvicultura en la región según el INEI para el año 2011 (Macroconsult, 2013). Sin embargo, el producto final de esta actividad, generalmente no tiene valor agregado, produciendo ingresos bajos a los productores. Además, el aprovechamiento de este recurso genera muchos residuos (cocos, ramas, cáscaras, etc.) que debido a su inadecuada gestión, suelen usarse para el enriquecimiento de tierras y/o en muchos casos son dispuestos al ambiente o peor aún, son quemados. Estos residuos, de los cuales no se conocen ni cantidad ni calidad; podrían ser utilizados para generar energía eléctrica o térmica.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal estimar el potencial energético de la biomasa residual que se obtiene de la cadena de valor del fruto de la castaña en la Región Madre de Dios. El estudio comprendió el establecimiento de bases de datos, caracterización química y energética de los residuos a nivel de laboratorio y mediante cálculos matemáticos. Además, se propuso su uso para el beneficio de los pobladores mediante su conversión a energía y su localización mediante mapas temáticos, que evalúen, en la Región de Madre de Dios el potencial energético a partir de la biomasa residual de la castaña. El estudio se enmarcó dentro de 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. LA CASTAÑA

#### 1.1. ORIGEN Y EXTENSIÓN

La castaña es una especie nativa de los bosques altos en las zonas no inundables de la cuenca amazónica, incluye países como Brasil, Bolivia y Perú, también se encuentra en estado silvestre en la Amazonía colombiana, venezolana y en las Guayanas (MINAGRI, s.f). Se puede ver su dispersión en Latinoamérica en la figura 1.



**Figura 1: Distribución de poblaciones naturales de Castaña.**

*FUENTE: ZUIDEMA (2003).*

Los árboles de castaña se desarrollan en terrenos no inundados, con suelos pobres en nutrientes y bien drenados de los tipos utisol y exisol; y en elevaciones por debajo de 800 metros sobre el nivel del mar. Así mismo, requieren precipitaciones anuales entre 1400 y 2800 mm, con dos a siete meses secos con precipitación no menor a 60 mm. (Zuidema, 2003). En general las condiciones requeridas se indican en la tabla 1.

**Tabla 1: Condiciones ambientales para el desarrollo de la Castaña.**

<b>Parámetros</b>	<b>Condiciones necesarias</b>
Temperatura máxima	38,9 °C
Temperatura media	24,3 – 27,2°C
Temperatura mínima	18,9 – 10 °C
Humedad relativa	66% - 91%
Precipitación	1 400 a 2800 mm

FUENTE: CHOQUE (2015).

En el Perú, el árbol de la castaña (*Bertholletia excelsa*) se encuentra en las regiones de Madre de Dios y Loreto. Sin embargo, solo se aprovecha en el departamento de Madre de Dios con fines comerciales, ya que se encuentran grandes rodales naturales asociados con otras especies maderables en una densidad de 0,3 a 1,3 árboles por hectárea con una extensión aproximada de 1 600 000 hectáreas, correspondientes a 19 por ciento del territorio regional. Aunque, el área de uso actual es menor, aproximadamente 1 350 000 hectáreas (IIAP, 2001 y Corvera et al, 2010).

## **1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

La castaña cuyo nombre científico es *Bertholletia excelsa* pertenece a la familia LECYTHIDACEAE. Es un árbol de porte muy grande, llegando a medir hasta 60m de altura, con diámetro a la altura del pecho de dos metros, fuste cilíndrico, recto, liso, cónico y desprovisto de ramas hasta la copa; la corteza externa es fisurada gris oscuro y la corteza interna color crema-amarillenta y muy fibrosa. (MINAGRI, s.f.)

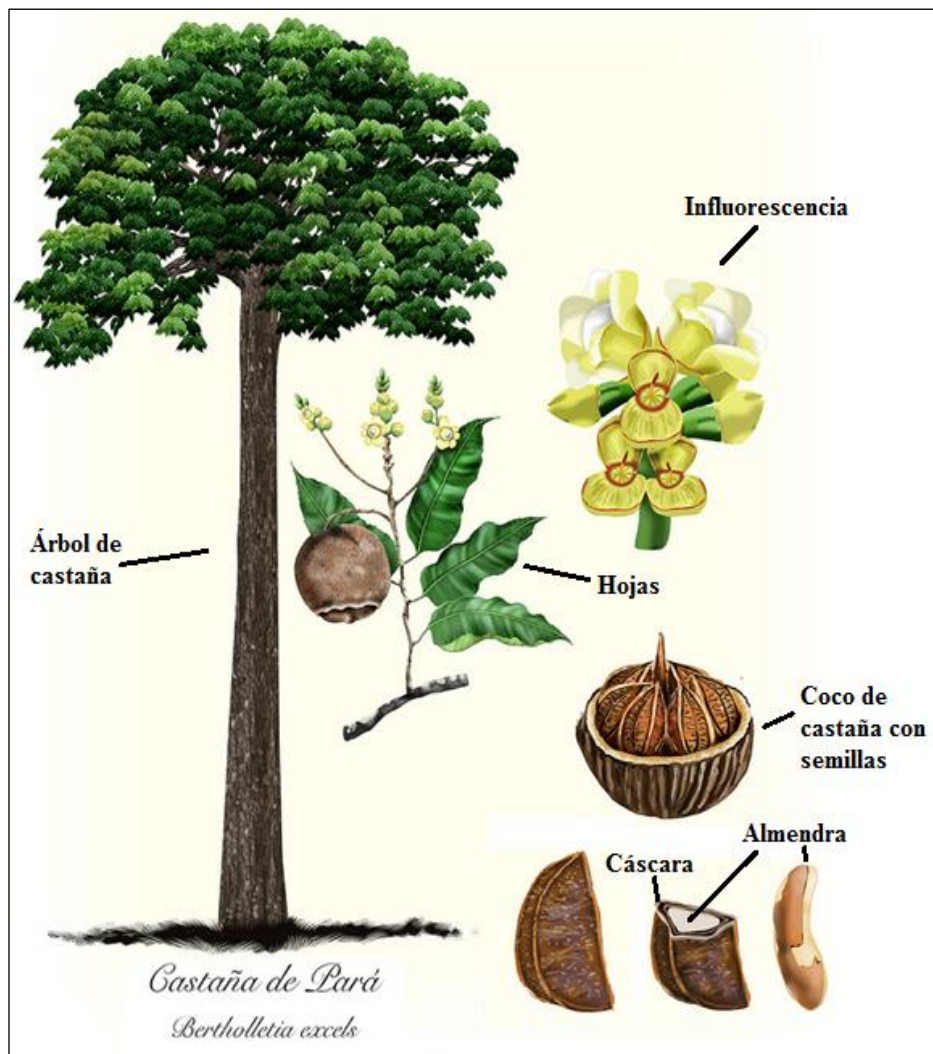
Las hojas del árbol de la castaña son deciduas, en forma cóncava, con tomento suave y lámina cartáceo-coriácea. Inflorescencias espiciformes, axilar o en panículas terminales, de pocas ramas, erectas. Flores zigomórficas, con dos a tres sépalos y seis pétalos amarillos; ovario ínfero, tetralocular o pentalocular, lóculos generalmente con cuatro o seis óvulos. (Corvera et al, 2010).

El fruto de castaña es una cápsula de tipo pixidio incompleto, llamado “coco”; el cual es esférico y ligeramente achatado, con una cáscara dura y leñosa: ápice del fruto con una región diferenciada de siete a diez centímetros de diámetro, en cuyo centro se encuentra un orificio de un centímetro de diámetro, correspondiente al opérculo. La composición de este fruto está representada por 75 por ciento de cáscara y 25 por ciento de semillas. Estas semillas tienen

una cáscara coriácea y rugosa, conteniendo en su interior la almendra, las cuales representan el 13 por ciento del peso de los frutos, el cual varía de 200 a 1500 g (Corvera et al, 2010; Chuquimia, 2007).

Para complementar la descripción, en la figura 2 se observa el árbol de castaña con hojas, flores, frutos y semillas.

La almendra de la castaña es agradable por su sabor y digestibilidad apropiada; presenta aceite como su constituyente mayoritario llegando a niveles de 67 por ciento, el contenido de proteínas máximo es de 16 por ciento, también contiene minerales como calcio y fósforo; y vitaminas (MINAGRI, 2008).



**Figura 2: Dibujo taxonómico del árbol de castaña, mostrando: fuste, hojas, inflorescencia, fruto y semillas.**

FUENTE: CÁRDENAS, B (2014).

### **1.3. LA ECOLOGÍA DE LA CASTAÑA**

La floración comienza al principio de la estación lluviosa, entre los meses de noviembre y diciembre (Ortíz, citado por Zuidema 2003); las flores solo se abren durante pocas horas en el día y sus principales polinizadores son abejas de gran tamaño y/o insectos grandes. Al ser solo estos los encargados de tan importante función, y debido a su baja visita a los castaños, Zuidema (2003), propone que es la principal causa de la baja densidad de los árboles de castaña. Además, el mismo autor indica que la proporción que las flores rindan en frutos es muy baja, sólo el 0,28 por ciento del total, debido a la falta de polinización o por aborto de frutas.

La fructificación es anual, aunque el desarrollo de las semillas puede tardar más de 12 meses, es por eso que se pueden encontrar flores y frutos a la vez en la copa de los árboles. (Corvera et al, 2010). En relación a la dispersión de las semillas de castaña, es compleja y basada en las actividades de acopio y dispersión que realizan los aguatis y otros animales en menor proporción. Debido a que los frutos caen, se mantienen cerrados y la pared del fruto es leñosa, dura y espesa; son pocos y específicos los animales que se alimentan y por lo tanto dispersan la castaña. (Zuideman, 2003).

Según un estudio en Bolivia sobre bosque primario, se encontró que el 98 por ciento de los árboles mayores a 40 cm DAP son reproductivos. A su vez el mayor porcentaje de árboles reproductivos eran emergentes y en menos cantidad se encontraban bajo el dosel, reflejando su relación con la iluminación. (Zuideman, 2003).

### **1.4. MANEJO DE LA CASTAÑA**

En el Perú, el fruto de la castaña es un producto forestal no maderable, por lo tanto, conforme a la ley forestal, toda concesión forestal maderable o no maderable, debe tener aprobado un plan de manejo antes del aprovechamiento del recurso. Los concesionarios de concesiones forestales no maderables dirigidas al aprovechamiento de la castaña, por tanto, presentan dos tipos de planes de manejo: el plan general de manejo, que se presenta cada cinco años y un plan anual de manejo. (ACCA, 2011)

El plan general de manejo de la castaña permite identificar con anticipación las actividades y operaciones necesarias para alcanzar la sostenibilidad del aprovechamiento en las concesiones; es un documento que se formula para los primeros cinco años y debe ser reformulado según las mejoras que se den. Este documento presenta las características biofísicas y



socioeconómicas del área, la implementación de prácticas de manejo orientadas a mejorar la calidad de la castaña, el sistema de manejo silvicultural y las especificaciones para el aprovechamiento y las prácticas silviculturales. Por otro lado, el plan operativo anual incluye los mapas de ubicación de los árboles de donde se realizará la recolección de frutos; este documento se presenta previa al aprovechamiento y debe ser aprobado por la autoridad correspondiente, que en Madre de Dios es la ATFFS-MD. (ACCA, 2010)

Dentro de los planes de manejo se establecen los árboles semilleros con la finalidad de mantener la ecología del bosque. Además, no todos los árboles productores son seleccionados para la recolección, se hacen inventarios y evaluaciones de cada uno antes de esta etapa. Para reforzar este enunciado, *Ortíz, citado por Zuidema (2003)*, menciona que, “más del 60 por ciento de la producción total de semillas de castaña es extraída por los recolectores”, por tanto, afecta el ciclo de vida de la castaña dejando menos frutos en el bosque para la dispersión de semillas.

### 1.5. PRINCIPALES USOS DE LA CASTAÑA Y SUS DERIVADOS

La almendra de castaña, es comercializada generalmente como nuez en muchos países, ya que es uno de los principales sustitutos de otras nueces cuando los precios de estas se elevan. Además, a partir de la castaña se pueden obtener diferentes productos como: aceites, dulces, galletas, y otros (Zuidema, 2003; MACIA, 2003). En la tabla 2 se presentan los productos comercializados de castaña y sus principales usos.

**Tabla 2: Principales usos de los productos comercializados de castaña.**

<b>Producto comercializado</b>	<b>Principales usos</b>	<b>Fuente</b>
Almendra de castaña	Como complemento o en mezcla con otros granos y otros insumos para la elaboración de cereales, snacks y postres.	Zuidema, 2003
	Con fines medicinales en el tratamiento de ciertos tipos de cáncer (alto contenido de selenio), y de problemas cardiovasculares, colesterol alto y diabetes. Tiene efecto antioxidante y anti-inflamatorio.	Zuidema, 2003 Cardoso et al, 2017
Castaña en cáscara	Consumo directo y decoración en festividades navideñas.	MACIA, 2003
Leche de castaña	Usada para la preparación de diferentes potajes	MACIA, 2003
	Usada en el tratamiento de manchas de la piel.	
Aceite de castaña	En la elaboración de jabones, shampoos, acondicionadores y otros productos de limpieza y cuidado personal.	Zuidema, 2003
	Para el consumo directo por alta calidad, su valor nutritivo y su contenido de ácidos grasos no saturados.	Williams, 1999
Harina de castaña	En la panificación, por su contenido proteico.	MACIA, 2003
	Usado en alimentación animal.	

## 2. PRINCIPALES INDICADORES ECONÓMICOS DE LA CASTAÑA EN PERÚ Y EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS.

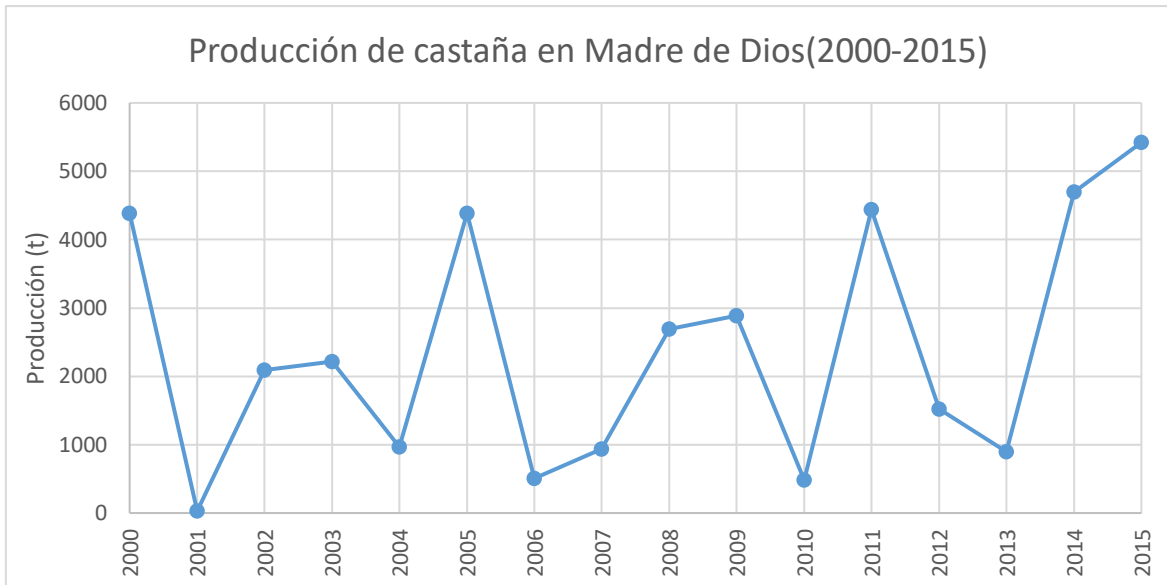
Los indicadores económicos que se emplearon para evaluar la actividad de la castaña en el Perú y a nivel regional fueron la producción, rendimiento por producción y exportación. La producción y rendimiento por producción de castaña es a nivel regional. La tabla 3 muestra los valores de producción en toneladas, proveniente de los anuarios forestales del Perú elaborados por el Ministerio de agricultura e INRENA y/o SERFOR dependiendo del año. En el caso de la superficie cosechada, se basa en la información del SISFOR (2017) para las concesiones habilitadas. También se muestra los rendimientos en toneladas por hectáreas para cada año.

**Tabla 3: Producción regional de castaña en cáscara.**

<b>Años</b>	<b>Producción total (t)</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Rendimiento (t/ha)</b>
2000	4 388,965	1 002 902,06	0,00438
2001	29,749		0,00003
2002	2 092,087		0,00209
2003	2 214,794		0,00221
2004	966,689		0,00096
2005	4 386,206		0,00437
2006	505,070		0,00050
2007	935,874		0,00093
2008	2 690,792		0,00268
2009	2 885,877		0,00288
2010	484,245		0,00048
2011	4 439,304		0,00443
2012	1 522,040		0,00152
2013	893,428		0,00089
2014	4 695,883		0,00468
2015	5 420,876		0,00541

FUENTE: INFORMACIÓN DE SISFOR (2017); SESFOR (2000-2015).

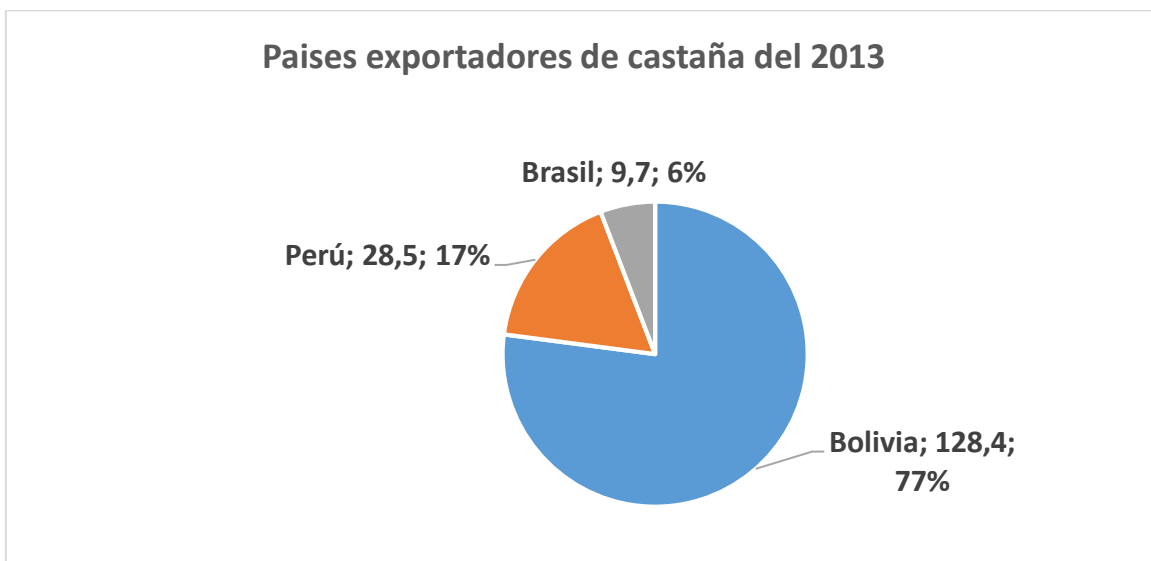
En la figura 3 se presenta la variación gráfica de la producción de castañas, observándose una tendencia irregular.



**Figura 3: Producción de castaña en cáscara en Madre de Dios.**

*FUENTE: ADAPTADO DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, INRENA Y/O SERFOR. (2000-2015).*

Según ADEX (2005), la producción de castaña tiene años buenos y años malos, es por eso que, para el año en estudio, la exportación alcanzó los 18 millones de dólares. En la figura 4 se observa la posición del Perú como exportador de castaña y en la figura 5 se muestra la tendencia de las exportaciones del año 2002 al 2013.



**Figura 4: Exportaciones de castaña de países productores del 2013, expresado en millones de US\$ y su porcentaje de participación.**

*FUENTE: EUROECOTRADE (2015).*



**Figura 5: Valores de exportación anual.**

*FUENTE:EUROECOTRADE (2015).*

De otro lado, dentro de la economía regional, la castaña provee un ingreso substancial para un gran número de familias, creando empleo para un sector empobrecido. (Zuidema, 2003). La actividad castañera constituye una de las mayores actividades con significado económico debido a que genera muchos puestos de trabajo en todas sus fases de aprovechamiento. Alrededor del 25 por ciento de la población del departamento depende directa e indirectamente de esta actividad, aproximadamente 20 000 habitantes. De los cuales, se estima que alrededor de 10 000 personas están ligadas tan sólo a la recolección del fruto de la castaña. Además, para las familias que cuentan con una concesión castañera, este fruto contribuye con el 67 por ciento del total de sus ingresos anuales familiares. (MINAGRI, 2008 e IIAP, 2001).

### **3. CADENA DE VALOR DE LA CASTAÑA EN MADRE DE DIOS.**

*Cayeros et al. (2016)* citando a *Isaza*, indica que “la cadena de valor comprende la secuencia de actividades dependientes y relacionadas que son necesarias para llevar un producto satisfactoriamente, desde la etapa de la producción hasta el consumo”. Por otro lado, *Lundy et al. (2003)* define a la cadena de valor como “Una alianza vertical o red estratégica entre un número de organizaciones empresariales independientes dentro de una cadena productiva”.

Entonces, la cadena productiva se define como “Un sistema constituido por actores interrelacionados y por una sucesión de operaciones de producción, transformación y comercialización de un producto o un grupo de productos en un entorno determinado” CICDA (2004). Las diferencias entre cadena de valor y cadena productiva se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4: Diferencias entre cadena productiva y cadena de valor.**

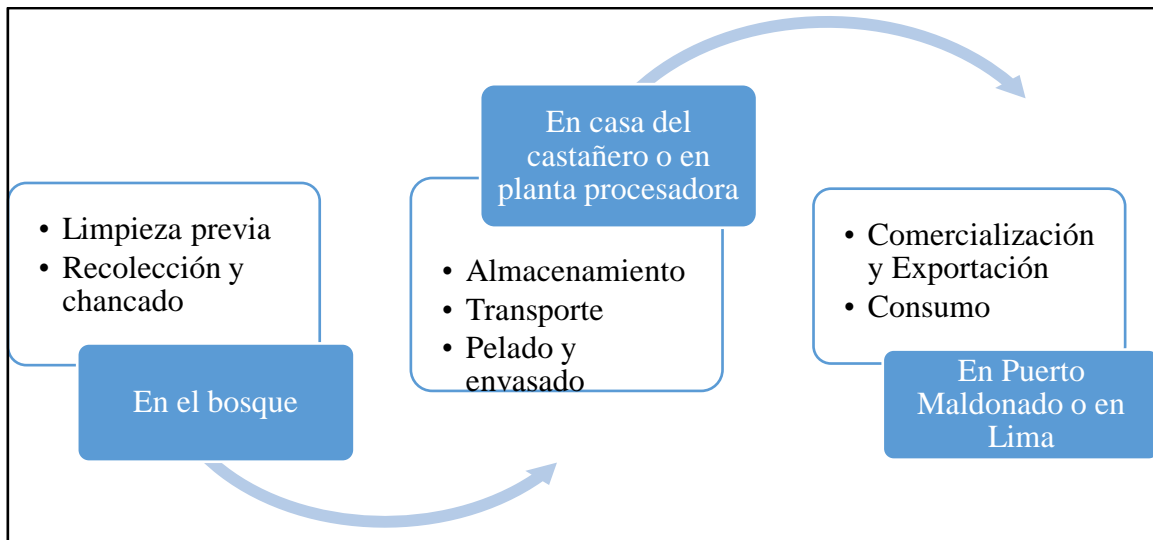
<i>Cadena productiva</i>	<i>Cadena de valor</i>
Actores independientes	Actores dependientes
Se rige por la oferta	Se rige por la demanda
Producto potencial de mercado	Nicho y negocios concretos
Costo /precio como elemento principal	Valor/ calidad como elemento principal
Productos básicos	Productos diferenciados
Relación entre actores informal	Relación entre actores formal
Visión de la relación a corto plazo	Visión de la relación a largo plazo
Bajo nivel de confianza	Alto nivel de confianza
Escaso flujo de información	Amplio flujo de información

*FUENTE: CAYEROS ET AL. (2016) CITANDO A CODESPA.*

### **3.1. LA ACTIVIDAD CASTAÑERA**

El total de la castaña comercializada en la región procede de la recolección en concesiones de bosques naturales, dado que las plantaciones establecidas en pequeñas superficies, aún no están en producción. La castaña es un producto orientado fundamentalmente a los mercados internacionales, comercializándose de dos formas: como almendras en cáscara (in-shell) y como almendra sin cáscara (kernels). (MINAGRI, 2008; Zuidema, 2003).

La recolección y pelado de castañas, se realiza en forma manual, durante el periodo diciembre – marzo (MINAGRI, 2008), a lo largo de este proceso el producto pasa por distintas etapas y diversos actores de la cadena de valor. De forma general, son tres etapas de acuerdo a los lugares donde se realizan y esto se muestra en la figura 6.



**Figura 6: Fases de la actividad castañera.**

*FUENTE: ADAPTADO DE ACCA (2011) Y ZUIDEMA (2003).*

**a. EN EL BOSQUE**

Los recolectores de castaña recorren el bosque en busca de los árboles productivos de castaña, se establecen sendas angostas en el campo que conectan a los árboles de castaña seleccionados. La actividad de recolección la realizan en la época de lluvia, que es el momento cuando los frutos de castaña caen desde la corona del árbol. Previamente, antes de la caída de frutos, los recolectores entran al bosque a realizar el deshierbe del área perimétrica del árbol de castaña. (Zuidema, 2003). El mismo autor indica que la recolección se realiza con ayuda de una horqueta de palo y se juntan los cocos caídos para después abrirlos con la ayuda de un machete y así extraer las semillas con cáscara. Las castañas en cáscara son acumuladas en bolsas llamadas barricas que en promedio pesan 70 kg, y se trasladada a los campamentos (almacenes precarios).

Según el MINAGRI (2008), un árbol productivo de castaña llega a producir aproximadamente una barrica al año.

**b. EN LA CASA DEL CASTAÑERO O EN LA PLANTA PROCESADORA**

En el caso del procesamiento artesanal en las casas de los pobladores, se realiza primero el secado al sol y posteriormente el pelado de la castaña. Este último paso se realiza con la ayuda de una herramienta de palanca que rompe la cáscara de la nuez. El manejo post-cosecha, que comprende el secado y pelado, es la fase más compleja y crítica; de aquí depende el logro de

mayor o menor porcentaje de almendras de buena calidad. (MINAGRI, 2008). En el caso del transporte, este se realiza por vía fluvial si hay acceso a ríos navegables o por vía terrestre según sea el caso. Las barricas de castaña se movilizan a zonas de comercio directo tipo “in-shell” o a las plantas beneficiadoras de castaña que realizan el “beneficio de la castaña”, siguiendo la siguiente secuencia, basada en Zuidema (2003):

- La castaña es colectada y es secada en secadores rotativos a al aire.
- La castaña es remojada en agua, cocida a vapor e inmersa en agua fría, para separar la cáscara de la almendra.
- Posteriormente, se realiza el pelado de la semilla mediante un proceso manual con la ayuda de una pequeña máquina que ejerce presión sobre la cáscara.

De manera similar que, en el procesamiento artesanal, la etapa crucial es la del pelado, ya que, si la almendra resulta dañada, su clasificación disminuye y por lo tanto su valor también. (Zuidema, 2003).

#### **c. EN PUERTO MALDONADO O EN LIMA**

La castaña pelada y embolsada se coloca al igual que los diferentes subproductos de la castaña en el mercado nacional e internacional. Los principales importadores de castaña peruana son países de Europa y Norteamérica. (Williams, 1999)

### **3.2. COMPONENTES DE LA CADENA DE VALOR.**

La cadena de valor de la castaña presenta varios eslabones, la figura 7 muestra que son siete eslabones y cada uno cuenta con diferentes actores. En cada eslabón el producto va adquiriendo valor en relación a las actividades que se realizan. De los eslabones de la cadena de valor de la castaña, dos son los que generan mayor cantidad de residuos orgánicos (Recolección y transporte, y beneficiado), por lo tanto son los de importancia para el estudio.

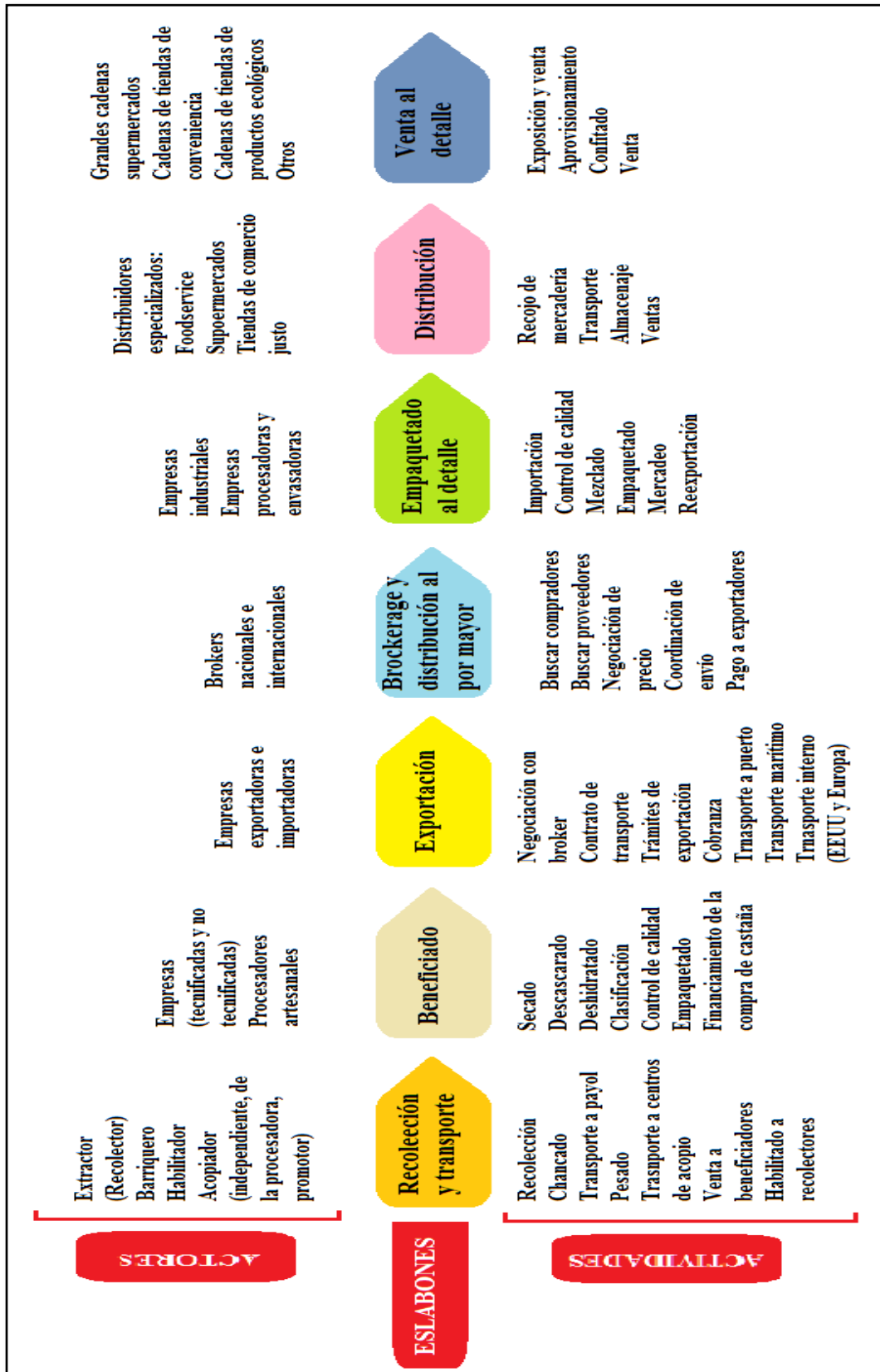


Figura 7: Actores de la cadena de valor de la castaña

FUENTE: ADAPTADO DE EUROECOTRADE (2015).



#### 4. LOS RESIDUOS DE LA CASTAÑA

Los principales residuos se obtienen de las etapas de recolección y beneficiado del fruto de la castaña. Estos son presentados en la tabla 5.

**Tabla 5: Residuos por etapas y usos actuales.**

	<b>Etapas</b>			
	<b>Recolección</b>		<b>Beneficiado</b>	<b>Procesamiento secundario</b>
	<b>Etapas previa</b>	<b>Chancado</b>		
<b>Residuo</b>	Al momento del deshierbe y limpieza de senderos, los residuos que se obtienen son hierbas, arbustos y pequeños árboles de otras especies. (MINAM, 2014)	Sólo se transporta la castaña con cáscara. Los cocos representan el 75 por ciento del peso del fruto completo. (Corvera et al, 2010).	Se obtienen como residuos la cáscara. (Chuquimia, 2007)	En la extracción de aceite de la almendra de castaña, el residuo principal es la torta. (Chuquimia, 2007)
<b>Usos</b>	Se quedan en los bosques. (MINAM, 2014)	Los cocos y pupos de cocos se quedan en los bosques. Uso en artesanías. (Williams, 1999)	Se puede usar en los calderos y de forma artesanal. (Williams, 1999) (Chuquimia, 2007)	En la panificación y en la fabricación de alimentos para ganado. (Chuquimia, 2007)

A pesar que algunos autores indiquen sus posibles usos, estos residuos se acumulan tanto en el bosque como en las plantas procesadoras (MINAM, 2014). Es decir, existe una gran cantidad de biomasa residual de la cadena de valor de la castaña que no se usa, que podría constituirse en una fuente de energía. El uso de los residuos como fuente de energía, se denomina biocombustible y son denominados “energía de la biomasa”. Para lograr este fin, el residuo debe poseer características de cantidad y calidad que aseguren su uso como energético.

## **5. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA**

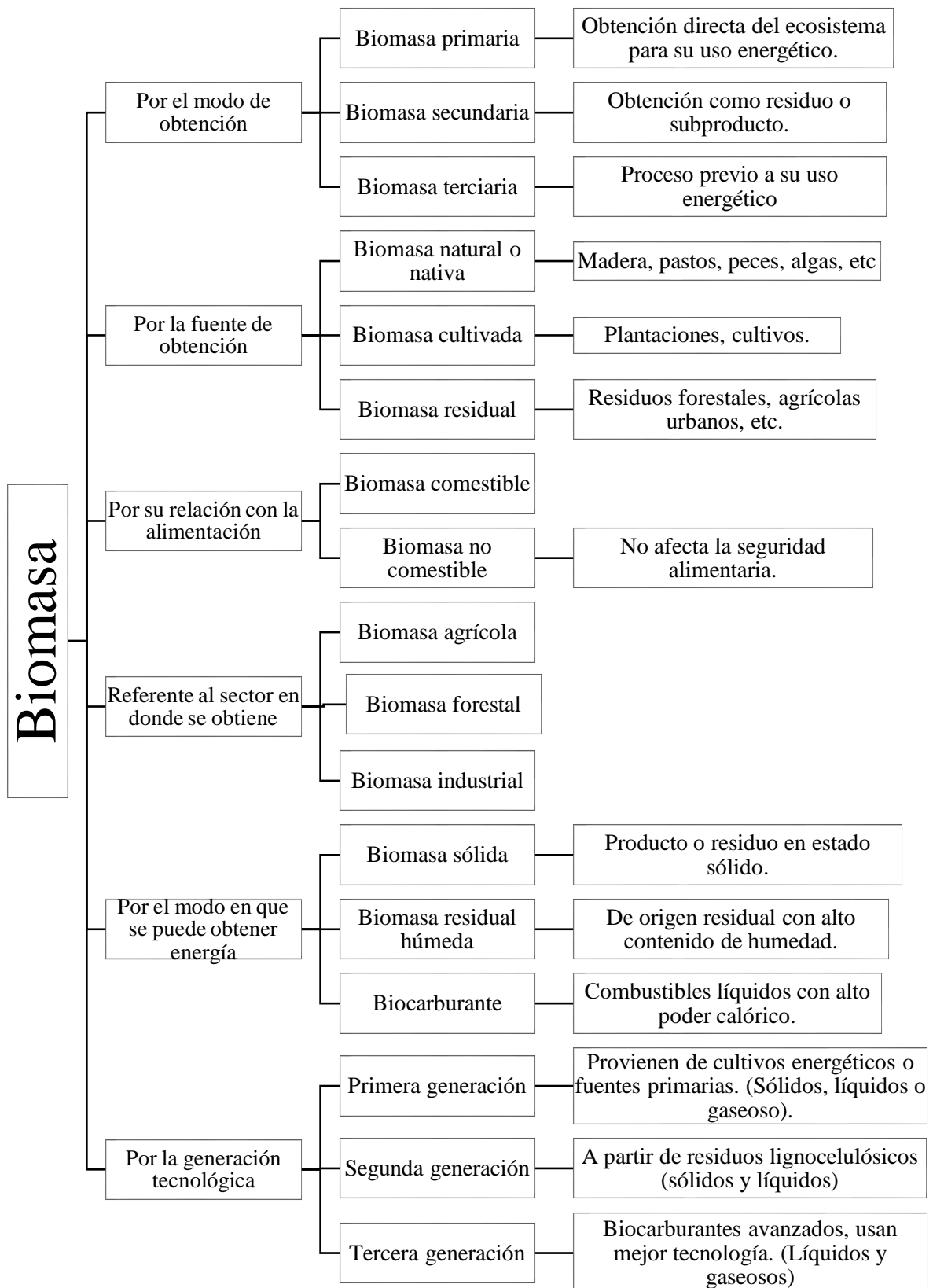
### **5.1. ENERGÍA DE LA BIOMASA**

La FAO (2017) define a la biomasa como toda materia de origen biológico (excluidas las formaciones fósiles) como los cultivos energéticos, desechos y subproductos agrícolas y forestales, estiércol o biomasa microbiana. Es decir cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial. Su disponibilidad está asociada a la posibilidad de recolección y facilidad de uso.

La bioenergía es la energía procedente de la biomasa, es un tipo de energía renovable. Comprende todas las formas de energía derivada de combustibles orgánicos de origen biológico utilizados para producir energía. Además, la energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos en compuestos orgánicos. (FAO, 2017).

### **5.2. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA**

La biomasa se puede clasificar en base a diferentes criterios, consideraciones, apelativos y nomenclatura utilizada por distintos autores, en la figura 8 se muestra un resumen de la clasificación existente.



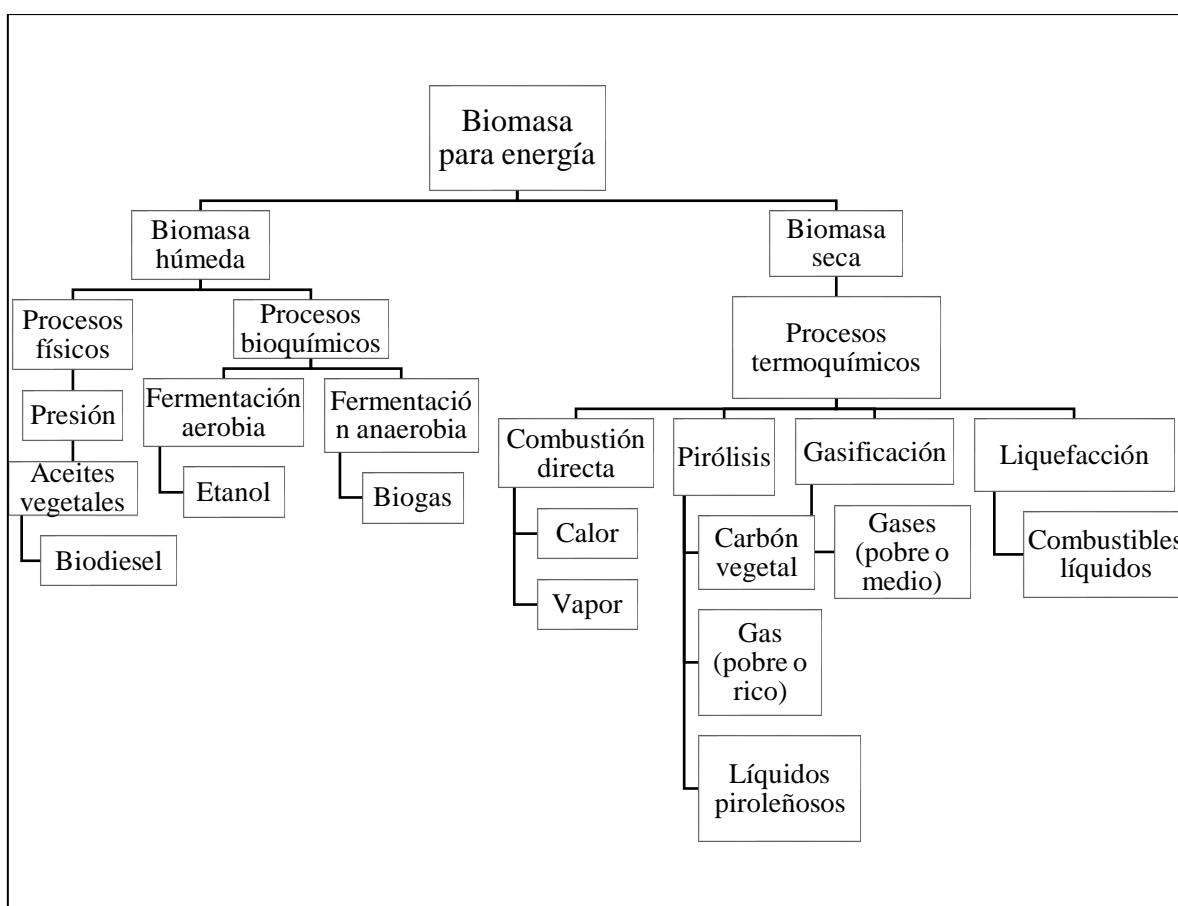
**Figura 8: Clasificación de la biomasa.**

FUENTE: ADAPTADO DE RAMÍREZ (2016).

### 5.3. OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA

La baja densidad energética de la biomasa, es decir la baja cantidad de calor por unidad de volumen, impone que el consumo de la misma se realice en las proximidades de la zona donde se encuentra disponible. La transformación de la biomasa en combustibles biomásicos, facilita el transporte y la disponibilidad en grandes distancias y mercados más amplios. (FAO, 2017).

Se puede aplicar diferentes procesos de conversión de biomasa en diferentes formas de energía, estos procesos pueden dividirse en físicos, físico-químicos, termoquímicos y biológicos. Estos son detallados en la figura 9.



**Figura 9: Opciones tecnológicas para aprovechar la biomasa.**

*FUENTE: ADAPTADO DE FAO (2017).*

#### 5.4. RECURSOS DE BIOMASA Y POTENCIAL ENERGÉTICO

La calidad de un combustible está determinada por la cantidad de energía que contiene y puede liberar en el proceso de conversión energética. Existen diferentes formas de expresar el contenido energético de los combustibles, Leach y Gowent, citado por Escalante et al. (2010) proponen las siguientes definiciones:

---

**Energía primaria** Indica la cantidad de energía contenida en un material en su forma natural.

---

**Energía entregada** Cantidad de energía liberada por un combustible para su consumo. Puede corresponder a una fracción o la totalidad de la energía primaria.

---

**Energía útil** Cantidad de energía empleada en los usos finales descontando las pérdidas, representa la cantidad de trabajo o calor que realmente fue útil en una determinada actividad.

---

**Intensidad energética** Es el consumo específico de un combustible, en términos generales es el valor medio de la energía necesaria para generar una unidad de riqueza.

---

Según Escalante et al. (2010), para cuantificar la energía contenida en una muestra, se emplean dos tipos de unidades:

---

**Unidades absolutas** Se utilizan para definir la cantidad total de energía presente en una materia sin hacer referencia a su masa, es usual expresarla como Mega Joule (MJ), Pico Joule (PJ) y tonelada equivalente de petróleo (tep).

---

**Unidades relativas** Indican la cantidad de energía producida o consumida en un periodo de tiempo o por unidad de masa. Estas unidades se emplean en la medición de energía primaria, energía disponible y energía útil y puede ser expresada en Mega Joule por kilogramo (MJ/kg) o Tera Joule por año (TJ/año).

---

## 6. PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS DE BIOMASA CON FINES ENERGÉTICOS

Los diferentes análisis para la caracterización de la biomasa con fines energéticos, son detallados a continuación:

### a. PARÁMETROS FÍSICOS:

**Densidad real y aparente:** La densidad real es aquella propia de la materia mientras la aparente tiene que ver con el modo de biocombustible sólido tiende a llenar un volumen (Sebastián et al, 2010). Los combustibles de 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 el contrario, cuando presentan baja densidad, se necesita mayor volumen de almacenamiento y transporte; y surgen problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos (Escalante et al., 2010).

**Humedad:** Es la cantidad de agua presente dentro de una muestra. El proceso de conversión energética de la biomasa se ve afectado por su contenido de humedad. La biomasa con una humedad inferior a 60 por ciento (biomasa seca) puede ser aprovechada técnicamente mediante procesos termoquímicos, como combustión directa, pirolisis o gasificación. (FAO, 2017). Caso contrario, cuando el contenido de humedad mayor a 60 por ciento (biomasa húmeda), es necesario antes de ingresar al proceso de conversión de energía, implementar operaciones de secado las cuales incrementan los costos de su aprovechamiento energético. Es recomendable que la biomasa húmeda sea aprovechada energéticamente mediante procesos físicos como la fabricación de aceites; o procesos bioquímicos como la fermentación aerobia o anaerobia. (FAO, 2017).

### b. PARÁMETROS QUÍMICOS:

#### **Análisis último o elemental**

Los resultados se expresan en base seca, por lo tanto, es necesario conocer el contenido de humedad. Con este análisis se determina el contenido de compuestos simples que se gasifican y que aportan energía en las reacciones de combustión. En base a Sebastián et al (2010), este análisis incluye:

- **Carbono (C)** de la materia o de carbonatos presentes, y puede ser entre 30 y 60 por ciento del peso.
- **Oxígeno (O)** que varía de 30 a 40 por ciento del peso seco. Éste, ayuda a reducir las necesidades de aire en la combustión y reduce su poder calórico.
- **Hidrogeno (H)** que varía entre cinco y seis por ciento del peso seco.
- **Azufre (S)** con valores inferiores a uno por ciento. Su presencia puede ser perjudicial por las escorias y óxidos corrosivos que forma.
- **Nitrógeno (N)** con valores inferiores a uno por ciento. Su presencia también puede ser perjudicial por la formación de óxidos.

Las relaciones H/C y O/C, determinan las eficiencias de conversión energética de los biocombustibles. Un incremento del poder calorífico implica que disminuye la relación O/C y aumenta la relación H/C. Por otro lado, la relación C/N expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. Esta relación es un índice significativo de la digestibilidad de un determinado material orgánico, lo cual indicaría su aptitud para producir biogás (Escalante et al., 2010).

### **Análisis proximal**

Se expresa en base seca, por lo que es necesario conocer el contenido de humedad. Este análisis determina el contenido de cenizas, material volátil y carbono fijo. Cuando se desea valorar una aplicación industrial de un residuo como fuente energética es recomendable incluir la cuantificación del contenido de proteínas, grasas y aceites.

**Cenizas:** Es la cantidad de materia sólida no combustible presente en un material. Influye en la cantidad de energía liberada, ya que un alto contenido de cenizas reduce su poder calórico. Debido a que se depositan en las tuberías de las calderas e intercambiadores, ocasionando dificultad en la transmisión del calor. La eliminación de las cenizas, implica el uso de tecnologías complejas y costosas (Castells et al., citado por Escalante et al., 2010). En base seca, la biomasa sólida puede contener entre uno y 20 por ciento de carbono fijo (Sebastián et al., 2010).

**Materia volátil:** Está constituido por combinaciones de carbono, hidrogeno y otros elementos. Estos se descomponen mediante la ruptura de enlaces químicos cuando la muestra llega a cerca de 950°C. El contenido de materia volátil da una idea de la longitud de la llama, en el caso que la biomasa se utilice en un proceso de incineración (Escalante et al., 2010). En base seca, la biomasa sólida puede contener entre 70 y 90 por ciento de materia volátil (Sebastián et al., 2010).

**Carbono fijo:** Es la fracción de carbono residual que permanece luego de retirar de la humedad, las cenizas y el material volátil. Este compuesto no se destila cuando se calienta un combustible (Escalante et al., 2010). En base seca, la biomasa sólida puede contener entre 10 y 30 por ciento de carbono fijo (Sebastián et al., 2010).

Desde el punto de vista energético, no todos los volátiles presentes en el material aportan energía. La cantidad de materia volátil y carbono fijo presentes en la biomasa, permiten establecer la facilidad con la cual el residuo reacciona, se oxida y gasifica. La ocurrencia de uno u otro tipo de reacción depende del tipo de proceso utilizado para el aprovechamiento energético de la biomasa (Escalante et al., 2010).

### **Análisis estructural o de composición**

Analiza la celulosa y lignina, su proporción es importante para seleccionar su proceso de aprovechamiento energético. La biodegradabilidad de la celulosa es mayor que la de la lignina, por lo tanto, la conversión promedio de las plantas que contienen carbón como celulosa es mayor que aquellas con altos contenidos de lignina. Un alto contenido de holocelulosa (celulosa y hemicelulosa), incrementa los rendimientos cuando se produce bio-etanol. (Escalante et al., 2010).

**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 (Escalante et al., 2010). La energía desprendida es mayor en recursos con mayor contenido de lignina, pero requieren mayor tiempo de residencia. (Sebastián et al., 2010).

**Celulosa:** Polisacárido de peso molecular elevado, insoluble en agua e insípido. Compuesta por unidades de D-glucosa unidas entre sí por enlaces B-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 (Escalante et al., 2010).

**Hemicelulosa:** Son carbohidratos que forman una estructura polimérica compleja, ramificada compuesta por la unión de diferentes unidades de pentosas, hexosas y ácidos de estos azúcares. Brinda rigidez a la estructura vegetal (Escalante et al., 2010).

### c. CONTENIDO ENERGÉTICO

**Poder Calórico Inferior:** Para analizar el contenido energético, se determina el poder calórico inferior (PCI) que corresponde a la cantidad de energía disponible en el material. Los combustibles son compuestos que poseen carbono, el cual, al reaccionar con el oxígeno, en procesos térmicos o en las celdas de combustible, libera energía en forma de calor (Escalante et al., 2010).

**Poder Calórico Superior:** Se determina el poder calórico superior (PCS) o poder calórico anhidro, el cual será usado para las ecuaciones correspondientes de estimación de energía. Se refiere al poder calórico con el agua condensada por lo tanto resulta mayor que el poder calórico inferior (PCI). (Serrato y Lesmes, 2016)

## 7. METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA

Según Sebastián et al (2010), es importante evaluar la biomasa ya que a partir de esta se pueda conocer el tamaño o la capacidad de producción de energía en una zona, en otras palabras, para estimar el potencial energético. El mismo autor señala que hay tres grandes métodos, y la tabla 6 muestra las principales ventajas y desventajas de los mismos.

**Métodos con ratios:** Es la metodología más usada, partiendo de datos de superficie en hectáreas y multiplicándolos por el ratio **RRS** (ratio de residuos por unidad de superficie) para estimar la cantidad de biomasa producida en dicha área. Si se conoce el dato de producción y se multiplica por el ratio **RRP** (ratio de residuo por unidad de producto producido), también se puede estimar la cantidad de biomasa.

**Métodos con ecuaciones:** Usadas en el ámbito forestal. Se basa en ecuaciones alométricas obtenidas de inventarios. Éstas utilizan variables como altura, diámetro, etc., y permiten estimar la biomasa esperada.

**Métodos basados en modelos:** Los modelos intentan reproducir una realidad desconocida (rendimiento de biomasa) a través de información conocida que influye en la realidad observada, pero que no permite evaluarla directamente. Pueden ser de dos tipos: (a) Métodos que no modelan el crecimiento y (b) métodos que modelan el crecimiento. El primer tipo, son métodos deterministas, menos complejos, basados en variables climáticas, geográficas y/o edáficas. Su implementación requiere un buen conocimiento de la especie para que la parametrización realizada sintetice de manera realista los requerimientos ecológicos de la especie. Por ejemplo, *García et al* (2016) trabajan con un modelo de regresión logística que usa técnicas de teledetección y SIG para obtener la estimación de la biomasa. El segundo tipo de métodos, los modelos son más avanzados, reproducen el crecimiento de la planta de manera dinámica, limitan y ponderan los resultados según los efectos climáticos, edáficos y/o biológicos.

**Tabla 6: Ventajas y desventajas de los métodos para estimación de biomasa.**

<b>Método</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
Métodos con ratios	Es más sencilla de obtener en campo.	Depende de muchas variables. No es recomendable su uso en el ámbito forestal por sus altas desviaciones. Requiere un amplio muestreo en campo.
Métodos con ecuaciones	Más exacto que el método por ratios. Permite el uso de inventarios detallados.	Son específicas por especie y zona geográfica. Su uso en el ámbito agrícola es limitado.
Métodos basados en modelos	Bien realizado puede ser más certero que los métodos anteriores.	Requiere mucha dedicación en el diseño del modelo, la programación, la interpretación, la implementación y la recopilación de base de datos climáticos detallados.

FUENTE: ADAPTADO DE SEBASTIÁN ET AL (2010).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio fue la Región de Madre de Dios, comprendiendo las provincias de Tambopata y Tahuamanu. Las zonas visitadas fueron las siguientes:

##### **a. RECOJO DE INFORMACIÓN Y ENTREVISTAS A INFORMANTES CLAVE:**

- Ciudad de Puerto Maldonado, Provincia de Tambopata.
- Centro poblado La Joya, distrito de Puerto Maldonado, provincia de Tambopata.

##### **b. RECOLECCIÓN DE COCOS DE CASTAÑA:**

- Distrito Las Piedras, provincia de Tambopata.

##### **c. RECOLECCIÓN DE CÁSCARAS DE CASTAÑA:**

- Centro poblado El Triunfo, distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata.

#### **2. MATERIALES**

Los materiales utilizados para la recolección de muestras en la zona de estudio, fueron los siguientes:

- Libreta de campo y útiles de escritorio
- Cámara fotográfica
- Bolsas herméticas de capacidad 500 g
- Regla
- Estufa de secado a 105°C
- Material de vidrio: vasos de precipitado (100 mL), matraces 250 mL, crisoles de porcelana 100 mL

- Campana Desecadora
- Analizador termogravimétrico TGA
- Bomba calorimétrica – AC600
- Mufla a 1000 °C
- Espectrofotómetro

## **2.1. ANÁLISIS DOCUMENTAL Y FUENTES**

Se recopiló información, bases de datos e inventarios de producción de castaña en cáscara de las siguientes fuentes:

- Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre de Madre de Dios. ATFFS-Madre de Dios.
- Gobierno Regional de Madre de Dios - GOREMAD.
- Cooperazione e Sviluppo, en Madre de Dios - CESVI.
- Instituto de Investigación Amazónica. IIAP – Madre de Dios.
- Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios - DRAMDD.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR.
- Oficina de Electro Sur Este de Puerto Maldonado - ELSE.

Además, se buscó información de las asociaciones de recolectores castañeros de Madre de Dios y de proyectos específicos para la castaña en la Región.

La información obtenida se valoró, aceptó o descartó en función de la rigurosidad, origen de los datos, así como su horizonte temporal.

## **2.2. OBSERVACIÓN DIRECTA Y ENTREVISTAS A INFORMANTES CLAVE**

Se realizó una observación directa en la zona de estudio, para ello se programó una visita a la zona de estudio con una duración de 5 días con la finalidad de recolectar información sobre la gestión de los residuos de la castaña y la situación del acceso a la energía de la población.

Además se realizó consultas a especialistas y expertos mediante entrevistas no estructuradas, con la finalidad de recoger opinión acerca de la situación de la castaña en la Región.

### **2.3. GENERACIÓN DE BASE DE DATOS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

En base a la revisión bibliográfica sobre la producción de castaña, los factores de conversión y/o ratios de productos/residuos y la disponibilidad de los residuos, se elaboró una base de dato y se generaron tablas y gráficos mediante el uso de Microsoft Excel. La información procesada y su ubicación se muestran mediante la generación de mapas temáticos utilizando Sistemas de Información Geográfico (SIG).

## **3. MÉTODOS**

### **3.1. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES DE CADENA DE VALOR DEL FRUTO DE CASTAÑA Y ESTABLECIMIENTO DE FLUJOS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS, DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD.**

En base a los eslabones de la cadena de valor del fruto de la castaña en la Región Madre de Dios, (Figura 7, adaptada de EUROECOTRADE, 2015 y MINAM, 2014), se identificó aquellos que contienen los flujos de producción de residuos. La biomasa que se genera se denominó potencial y aquella que es factible de utilizar se denominó posible.

Al respecto, se plantearon tres pasos en esta parte del estudio:

**Paso 1:** Estudio sobre la disponibilidad de residuos en la cadena de valor del fruto de la castaña.

Se identificó la disponibilidad de residuos mediante el estudio de los principales indicadores económicos: producción, superficie y rendimientos; y los porcentajes de generación de residuos. Esta información fue recopilada de los anuarios forestales del año 2000 al 2015 del MINAGRI y SERFOR; y la plataforma del SISFOR. Finalmente, sirve de base para la realización de los siguientes pasos.

**Paso 2:** Elaboración del flujograma de producción.

En base a la figura 7 se identificaron los principales eslabones de la cadena de valor que generan residuos, con sus productos correspondientes, así mismo se buscaron los valores de rendimiento en cada proceso, usando los valores publicados por *Corvera et al (2010)*, *MACIA*

(2003) e *IICA (1988)*. Se determinó que la producción de residuos biomásicos se daba en los primeros eslabones, como se puede observar en la figura 10.

Además, se elaboró un flujograma de producción preliminar, el cual se contrastó con la información obtenida en campo mediante entrevistas no estructuradas y toma de datos en la zona de producción del fruto de la castaña (Concesionarios castañeros, Instituciones involucradas en el desarrollo de la actividad castañera y empresarios castañeros en general).

Finalmente se elaboró un flujo de producción actualizada, basándose en el modelo presentado por Ramírez (2016); se decidió que el flujograma tenga cuatro eslabones: (a) Labores culturales, (b) Recolección, (c) Procesamiento primario y (d) Procesamiento secundario.

### **Paso 3:** Flujos de producción.

Se utilizó el método con ratios RRP (ratio de residuo por unidad de producto producido) para la estimación de biomasa, debido a la facilidad en la obtención de datos. Se elaboraron dos cuadros para analizar los flujos de producción, distribución y disponibilidad de los residuos del procesamiento del fruto de la castaña.

A partir de la identificación de los residuos por cada eslabón con sus factores de generación de residuos y analizando el uso actual de los mismos, se seleccionó la biomasa residual disponible y potencial.

Luego se estimó la producción de residuos en toneladas por año para la región Madre de Dios y sus provincias. Se utilizaron los valores de producción (t/año), superficie (ha) y rendimientos (t/ha) de los anuarios forestales del MINAGRI y SERFOR para el periodo del año 2000 al 2015. Se utilizaron ecuaciones para cada residuo, adaptadas de la ecuación planteada por Ramírez (2016). Además, se tomó en cuenta el porcentaje de residuos generados en campo que debería quedarse sobre el suelo con fines de conservación; el valor propuesto por FAO (2014) es de 25 por ciento.

Así, de esta manera, se plantearon 2 ecuaciones para estimar la producción de residuos:

### **Cocos de castaña**

$$BRD = \frac{Producción \times FGR}{16} \times 0.75 \quad \dots (1)$$

Donde:

BRD : Biomasa residual disponible (t)

Producción : Producción de castaña en cáscara (t)

FGR : Factor de generación de residuos de cocos (%)

75% : (1 - 25%) Siendo 25% el valor que se debe dejar en campo.

### **Cáscaras de castaña**

$$BRD = Producción \times FGR \quad \dots (2)$$

Donde:

BRD : Biomasa residual disponible (t)

Producción : Producción de castaña en cáscara (t)

FGR : Factor de generación de residuos de cáscaras (%)

Después de estimar la producción de residuos para el periodo 2000 – 2015, se realizó un pronóstico de la producción de residuos para el siguiente año 2016. Debido a las diferentes variables que influyen en la producción de la castaña y su tendencia irregular, se hizo el pronóstico de producción, el cual fue el promedio o media aritmética de la producción de residuos. Toda la información se procesó en hojas Excel.

Finalmente se elaboró un mapa que muestra la ubicación de los residuos en la Región, usando mapas bases en formato *shape*, las cuales se procesaron en ARCGIS 10.3.

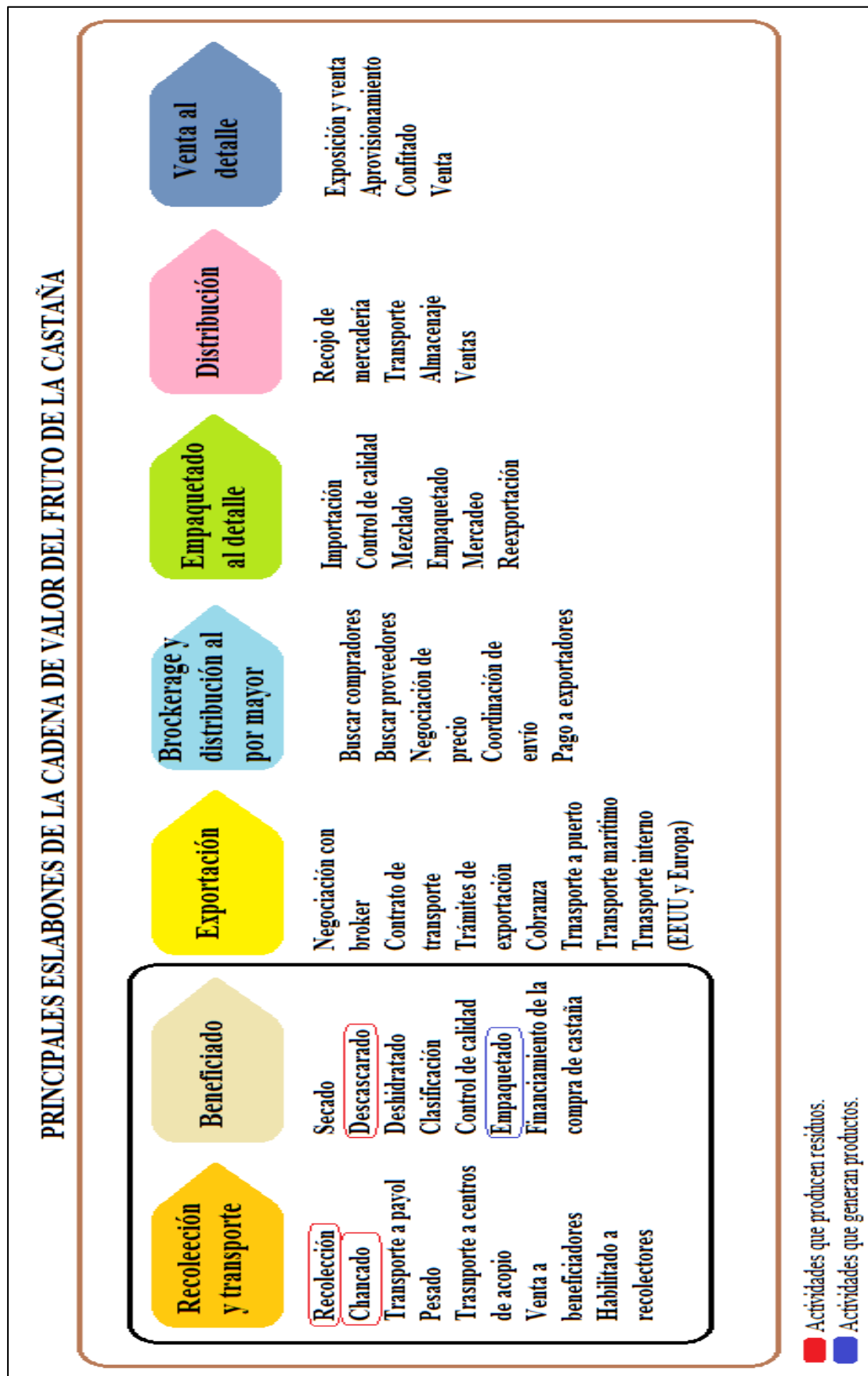


Figura 10: Principales eslabones de la cadena de valor del fruto de la castaña que generan residuos biomásicos.



### **3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DISPONIBLES DEL FRUTO DE LA CASTAÑA.**

Siguiendo el objetivo de estimar el potencial energético de los residuos de la cadena de valor del fruto de la castaña. De la primera etapa, se obtuvieron los residuos potenciales para su uso energético, de los cuales se escogieron solo cocos y cáscaras del fruto, luego se viajó a la zona de estudio para la recolección de los mismos y su posterior análisis. Para el desarrollo de este apartado se siguió la siguiente secuencia:

#### **3.2.1. MUESTREO Y COLECCIÓN DE MUESTRAS**

##### **a. Muestreo**

Se estableció un protocolo de muestreo. El primer paso fue realizar una búsqueda de las características físicas de los residuos a recolectar como el contenido de humedad y la granulometría; para establecer el mejor método para su colección. Luego se determinó el área de muestreo y el tamaño de la muestra. Al tratarse de residuos, la metodología se adaptó de la norma española de muestreo de biocombustibles sólidos UNE-EN 14778 (2013) – Muestreo de pilas.

Para el muestreo de los cocos de castaña, el área de muestreo fue una concesión castañera de la región Madre de Dios; por razones de presupuesto se escogió una concesión en la provincia de Tambopata, distrito Las Piedras, cercana a la carretera interoceánica.

Para el muestreo de cáscara de castaña, el área de muestreo fue el patio de acopio de residuos de la planta peladora de castaña de ASCART (Asociación de castañeros de la Reserva de Tambopata) en el Centro Poblado de El Triunfo, Provincia de Tambopata, en Madre de Dios.

##### **b. Colección de muestras:**

Para los cocos de castaña, se escogieron tres pilas de residuos del chancado de cocos de la zafra anterior, de cada pila se extrajo una muestra de coco de castaña ubicado en la parte central de la pila. Cada coco se guardó en una bolsa hermética y se etiquetó con la fecha, lugar y tipo de muestra.

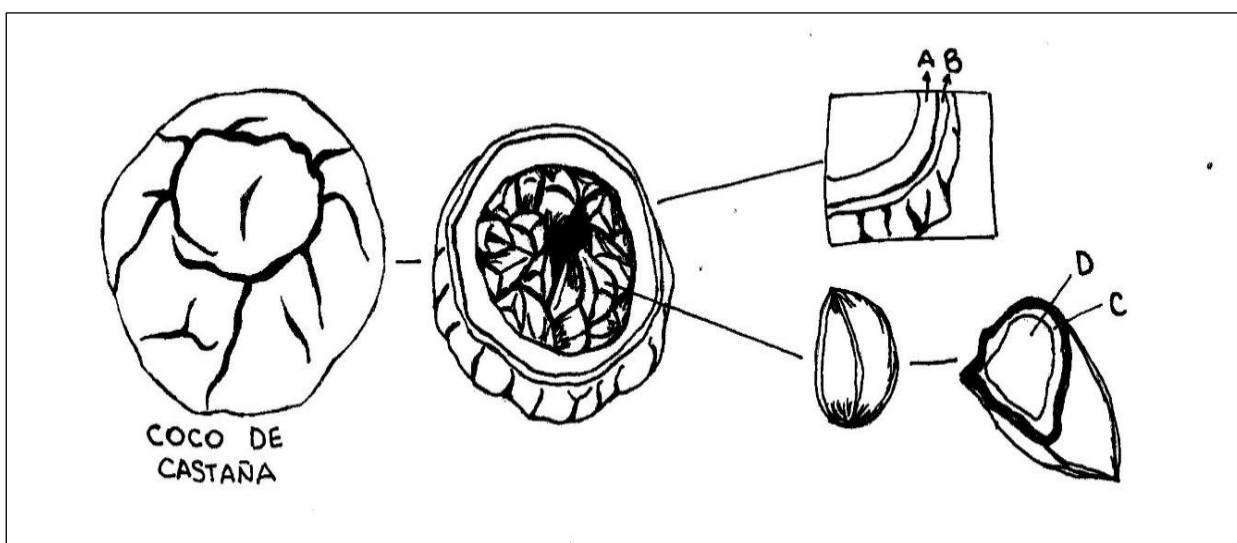
Para las cáscaras de castaña, se juntaron residuos de diferentes sacos y se formó una pila con lo acopiado en una superficie plana, y con la ayuda de una regla se realizó el método de cuarteo. La muestra final recolectada (alrededor de 500 g) fue guardada en bolsas herméticas y correctamente etiquetadas.

### 3.2.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA SU ANÁLISIS EN LABORATORIO

Cada muestra se dividió en tres bolsas para realizar los siguientes análisis:

- **Análisis de composición:** Laboratorio de Pulpa y Papel (Facultad de Ciencias Forestales – UNALM).
- **Análisis completo de tejido vegetal:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (Facultad de Agronomía – UNALM).
- **Análisis de poder calórico:** Laboratorio de Energías Renovables- Unidad biomasa energética (Facultad de Ingeniería Agrícola – UNALM).

Antes de separar las muestras, el coco de la castaña se dividió en dos muestras diferentes, teniendo en cuenta que las entrevistas no estructuradas de campo indican que el coco tiene dos capas diferentes (Externa e interna). A pesar de no encontrar mucha información publicada al respecto se determinó analizar cada capa por separado en el laboratorio para conocer sus características físicas, químicas y energéticas.



(A) Capa interna del coco de la castaña, (B) Capa externa del coco de la castaña, (C) Cáscara de castaña y (D) Almendra de castaña.

**Figura 11:** Partes del fruto de castaña.

En la figura 11 se observan las partes del fruto de la castaña, de éstas solo A, B, y C se analizaron, ya que corresponde a los residuos. La parte D es el producto comercializado.

- **Muestra 1 (Capa externa del coco de la castaña):** Se separó la primera capa de cada uno de los tres cocos y se combinó, seleccionando tres grupos de 40 g cada uno. Se guardó en tres bolsas herméticas correctamente etiquetadas, una por cada laboratorio y mencionando el análisis requerido.
- **Muestra 2 (Capa interna del coco de castaña):** Se dividió cada coco en pedazos más pequeños, se combinaron y se pesaron tres grupos de 50 g cada uno. Se guardó en tres bolsas herméticas correctamente etiquetadas, una para cada laboratorio y mencionando el análisis requerido.
- **Muestra 3 (Cáscara de castaña):** Se dividió la muestra en tres grupos de 40 g cada uno. Se guardaron en tres bolsas herméticas correctamente etiquetadas, una para cada laboratorio y mencionando el análisis requerido.



A

B

C

**Figura 12: Muestras preparadas para análisis. A: Capa externa de coco de castaña. B: Capa interna de coco de castaña. C: Cáscaras de castaña.**

### 3.2.3. ANÁLISIS COMPLETO DEL TEJIDO VEGETAL.

Los resultados de este análisis comprenden los elementos mayoritarios (Carbono orgánico total, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Azufre, Magnesio, Zinc, Cobre, y Boro), humedad y cenizas, de las muestras. Y permite determinar el análisis elemental. Los métodos usados para cada uno, se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7: Relación de elementos analizados y metodologías aplicadas.**

<i>Elemento</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método</i>
Materia seca	% (muestra fresca)	Método gravimétrico, TAPPI T 258 om-94.
Cenizas	%	Calcinación o pérdida por ignición, TAPPI T 211 om-93.
Carbono orgánico total	%	Método de Walkley y Black modificado.
N total	%	Método de nitrógeno total de K-jeldahl modificado.
P total.	%	Digestión vía húmeda (en solución nitro – perclórica) y posterior colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico.
K total, Ca total, Mg total, Na total.	%	Espectrofotometría de absorción atómica.
S total	%	Turbidimetría empleando cloruro de bario.
Fe total, Cu total, Zn total, Mn total	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica.
B total	ppm	Digestión vía seca (calcinación) y posterior colorimetría empleando el método de curcumina acética.

FUENTE: LASPAF – UNALM (2016).

### 3.2.4. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Los resultados de este análisis comprenden las cantidades de lignina, celulosa y hemicelulosa, cenizas y humedad. Los métodos usados para cada uno se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8: Relación de compuestos analizados y metodologías aplicadas.**

<i>Compuesto</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método</i>
Lignina	%	Método de Klason, TAPPI T 222 om-98.
Holocelulosa	%	Método de Jayme – Wise.
Cenizas	%	Método basado en la norma ASTM D-1762.
Humedad	% (base húmeda)	Método gravimétrico AOAC 1984.

FUENTE: LPP – UNALM (2016).

### 3.2.5. DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS.

Se determinó el poder calórico superior e inferior mediante uso de la bomba calorimétrica adiabática, usando el equipo analizador de la marca LECO modelo AC600, que utiliza una bomba con oxígeno a alta presión en base al método descrito en la norma ASTM D5865 -07. La muestra se analizó peletizada y preparada a un tamiz de malla 60.

Adicionalmente, se realizó el análisis termogravimétrico (cenizas, materia volátil y carbono fijo) de cada muestra. Se usó el equipo analizador de la marca LECO modelo TGA 701.

### 3.3. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL FRUTO DE LA CASTAÑA.

Finalmente, se estimó el potencial energético de los residuos de la cadena de valor del fruto de la castaña, realizando los siguientes cálculos.

$$PCI_H = PCS \times (1 - h) - 6 \times (h\%) \quad \dots (3)$$

$$EP = BRD \times PCI_H \quad \dots (4)$$

Donde:

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.

Después de obtener el potencial energético, se realizaron conversiones para obtener valores comparativos con otros combustibles de mayor importancia en la matriz energética de la región (petróleo y leña). Para las conversiones se utilizaron los factores de conversión de OLADE (2004).

- **Petróleo:**

$$BEP = 720.5649 \times Tcal \quad \dots (5)$$

$$tep = \frac{BEP}{7.205649} \quad \dots (6)$$

Donde:

BEP: Barril equivalente de petróleo.

Tcal: Tera calorías.

tep: Tonelada equivalente de petróleo.

- **Leña:**

$$m_{leña} = \frac{EP}{PCI_{leña}} \quad \dots (7)$$

Donde:

$m_{leña}$ : Masa de leña (20% humedad).

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

$PCI_{leña}$ : Poder calórico inferior de la leña (20% humedad) = 14.40 MJ/kg. (Francescato et al., 2008)

Con la intención de inferir un valor monetario de los residuos evaluados y propuestos como energéticos, se realizó el cálculo tomando como referencia el precio de un barril de petróleo BRENT. Los factores de conversión fueron de OLADE (2004).

- **Petróleo:**

$$Barril = \frac{BEP}{1.0015} \quad \dots (8)$$

$$USD = Barril \times Precio \text{ barril } \$ \quad \dots (9)$$

Donde:

Precio barril: 53.03 \$ – 54.07 \$ BRENT (Precio variable Setiembre 2017) (Preciopetroleo.net).

Asimismo, se estableció la demanda de energía en las zonas rurales a beneficiarse de la energía que se propone. La demanda se estimó usando la data de número de hogares en las zonas rurales de Madre de Dios, extraída del censo nacional 2007. También se usó el dato de consumo de leña por familia al día, dado por Heising, citado por Córdova (2012).

- **Demanda energética:**

$$DE = familias \times Consumo \times 365días \times PCI \quad \dots (10)$$

Donde:

DE: Demanda energética (MJ/año).

Familias: Número de hogares en la zona rural de Madre de Dios.

Consumo: Consumo de leña por familia por día = 6 kg/día\*familia.

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





## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS DEL FRUTO DE LA CASTAÑA

#### 1.1. FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN DEL FRUTO DE LA CASTAÑA.

En la figura 13, se muestra el flujograma de producción de residuos del fruto de la castaña con sus respectivos rendimientos; las operaciones se observan en color negro, los productos en color azul y los residuos en color rojo.

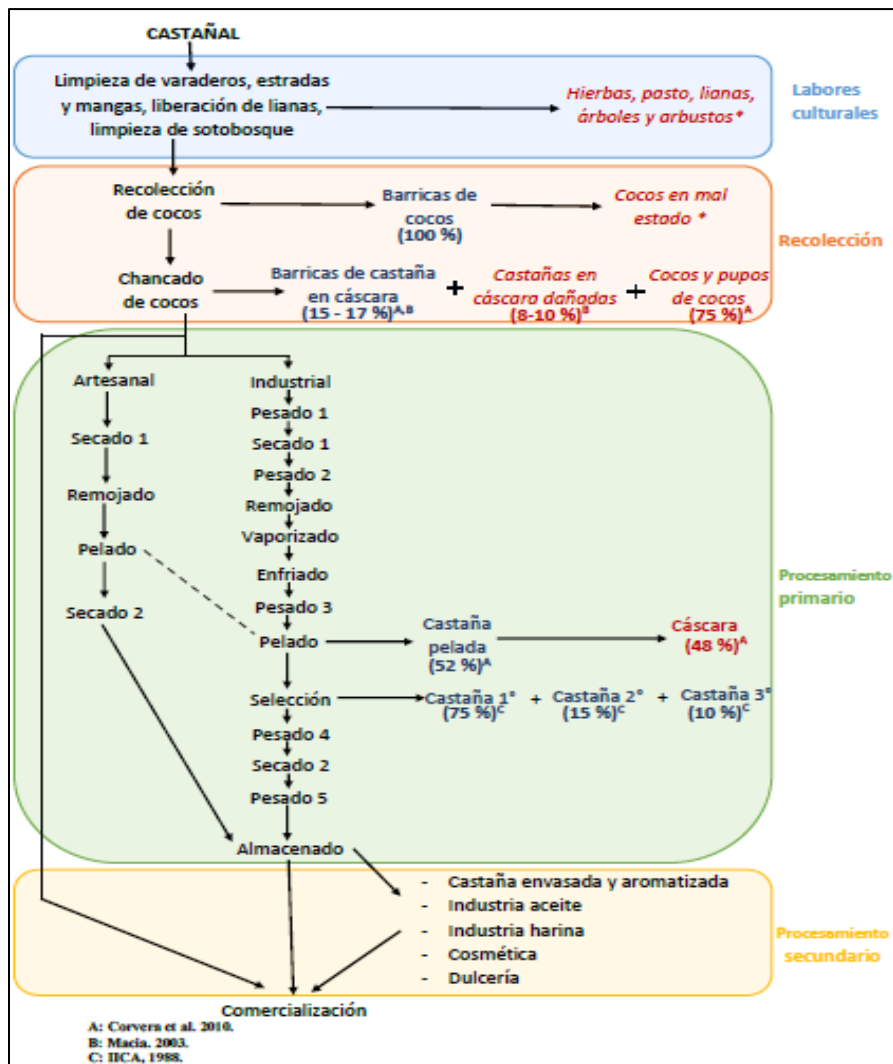


Figura 13: Flujograma de producción del fruto de la castaña.

**a. PRIMER ESLABÓN DEL FLUJOGRAMA – LABORES CULTURALES:**

Preparación antes de la zafra

El actor es el extractor o castañoero, el cual entra al bosque antes la caída de los frutos para realizar algunas labores culturales como la limpieza de varaderos, las estradas, las mangas, el área del campamento, liberación de lianas y la limpieza del sotobosque en un área correspondiente al diámetro de la copa de los árboles de castaña productivos. De estas actividades quedan residuos como árboles de otras especies, arbustos, pastos, hierbas y lianas. No se conoce la cantidad estos residuos ya que es variable y está relacionado a la diversidad y densidad del bosque.

**b. SEGUNDO ESLABÓN DEL FLUJOGRAMA – RECOLECCIÓN:**

Recolección 1

El actor es el castañoero, que entran al bosque para recolectar los frutos caídos de los árboles previamente seleccionados. Recolecta todos los cocos y después hace una clasificación de estos. Si se deja algún coco en mal estado, es un dato variable y no se conoce la cantidad exacta o aproximada.

Recolección 2

El castañoero, con la ayuda de un machete, realiza el chancado de cocos, abre los cocos y se separa las castañas en cáscara en las barricas; mientras que el coco, el ombligo y algunas castañas dañadas por el mal uso del machete o castañas vacías se quedan en el campo. Los cocos corresponden a un 75 por ciento del peso seco del fruto de la castaña, las castañas dañadas o vacías corresponden de un ocho por ciento a 10 por ciento y las semillas de castaña con cáscara que van a las barricas corresponden de un 15 por ciento a 17 por ciento.

Transporte

El actor es el barriquero, que transporta las barricas de castaña en cáscara, fuera del bosque por vía terrestre o fluvial. Pueden tener tres destinos: la comercialización directa sin ningún tratamiento post cosecha (Habilitador), un tratamiento primario artesanal (Acopiador) o un tratamiento industrial.

### **c. TERCER ESLABÓN DEL FLUJOGRAMA – PROCESAMIENTO PRIMARIO**

#### Procesamiento artesanal

Los actores son los procesadores artesanales, que secan las castañas en cáscara, luego se remojan para ablandar la cáscara y posteriormente se pelan manualmente y se secan.

#### Procesamiento industrial

Los actores son las empresas o plantas peladoras. Las castañas en cáscara se pesan, se secan y se vuelven a pesar. Entran a la autoclave donde se calientan con vapor de agua, luego se enfrían y pasan al pelado. En el pelado manual, el producto principal es la castaña pelada que corresponde al 52 por ciento del peso de la castaña en cáscara, y el residuo es la cáscara de castaña que corresponde a un 48 por ciento. La castaña pelada pasa a una etapa de selección de calidad donde básicamente la castaña de primera (castaña entera) corresponde a un 70 por ciento, la castaña de segunda (enteras con rajaduras o cortes) corresponde a 15 por ciento y finalmente la castaña de tercera (castaña con pudrición) corresponde a un 10 por ciento. La castaña seleccionada se pesa, se vuelve a secar, se pesa de nuevo y finalmente se almacena.

### **d. CUARTO ESLABÓN DEL FLUJOGRAMA – PROCESAMIENTO SECUNDARIO**

#### Comercialización

La castaña pelada, seleccionada y envasada puede ir directo a la comercialización y/o exportación (El actor puede ser el cliente o la empresa exportadora) o puede entrar al Procesamiento secundario (Los actores son las empresas transformadoras) que transforman las castañas en aceites, harinas, cosméticos o dulces. En Madre de Dios hay pocas empresas que industrializan la castaña pelada, es por eso que no se analizaron los residuos de esta etapa.

En la figura 14, se muestra el flujograma con las imágenes de productos y residuos, y las zonas donde se almacenan.

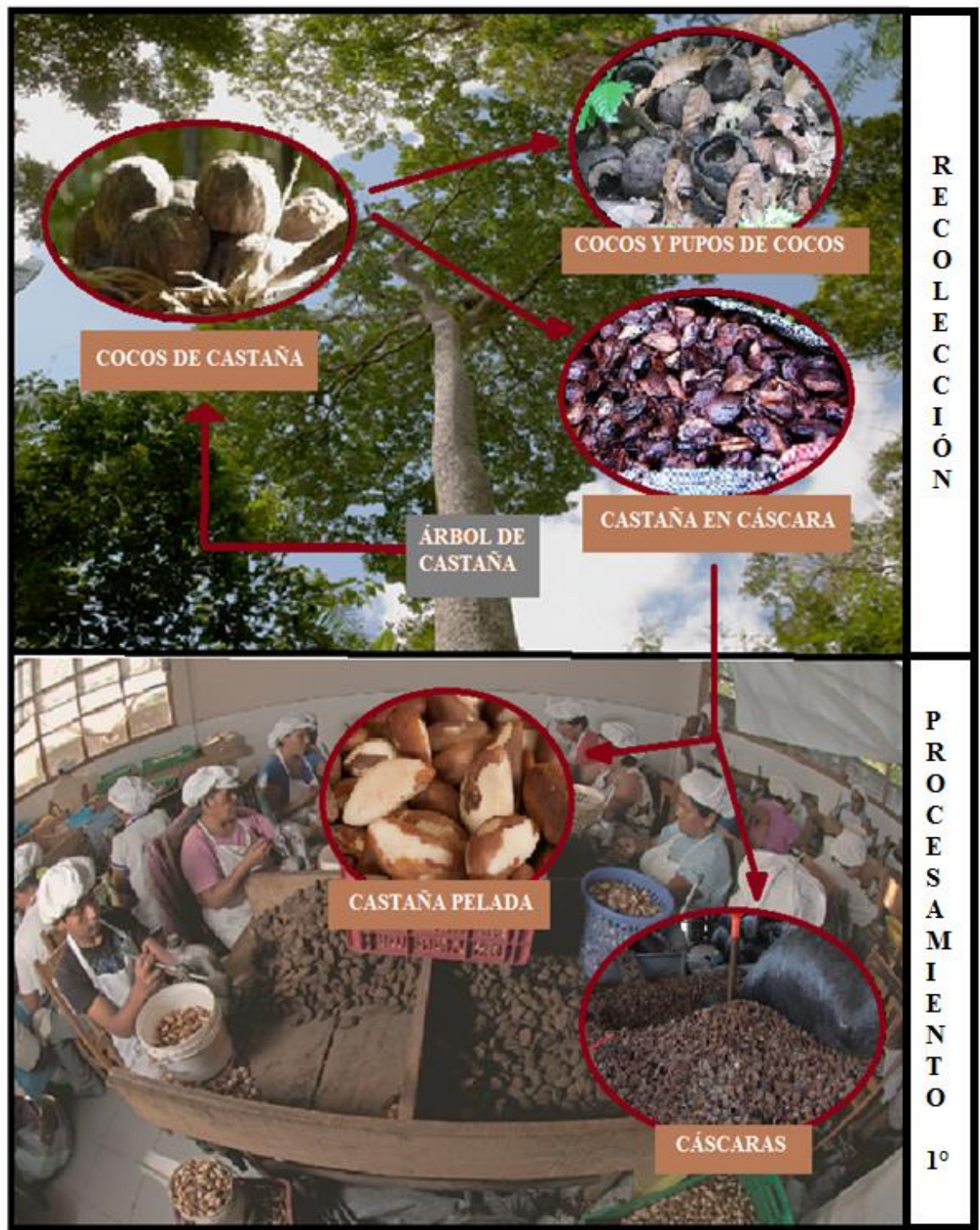


Figura 14: Flujograma de producción del fruto de la castaña.

## 1.2. FLUJOS DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS DEL FRUTO DE LA CASTAÑA.

En la tabla 9, se muestran los residuos producidos en las diferentes etapas de la cadena productiva del fruto de la castaña, además se incluyen los factores de generación de residuos en porcentajes y los usos que tienen estos residuos en la zona de estudio.

**Tabla 9: Tipos de residuos producidos y factores de producción de residuos.**

<i>Etapa</i>	<i>Residuo</i>	<i>Factores de generación de residuos (FGR) %</i>	<i>Uso Actual</i>
Labores culturales	Hierbas, pasto, lianas, árboles y arbustos	Sin información	Se dispone al ambiente.
Recolección	Cocos en mal estado	Sin información	Se dispone al ambiente.
	Cocos y pupos de cocos	75	Se dispone al ambiente y tiene uso artesanal.
	Castaña en cáscara dañadas	8-10	Se dispone al ambiente.
Procesamiento primario	Cáscara	48	Se dispone al ambiente y tiene uso industrial.

Del cuadro anterior se observa que todos los residuos tienen como uso la disposición al ambiente; en el caso de los residuos de las labores culturales, los cocos en mal estado, los cocos y pupos de cocos y las castañas en cáscara dañada se quedan en el bosque, mientras que las cáscaras se quedan en las plantas peladoras de castaña.

Los residuos de las labores culturales y los cocos en mal estado no son considerados como biomasa residual disponible ya que no se tiene datos de su rendimiento. En el caso de hierbas, pastos, lianas y demás se sabe que por zafra el área limpiada con fines de campamento y abertura de caminos es una hectárea.

El uso artesanal de los cocos de castaña es limitado ya que pocos castañeros extraen los cocos del bosque por el peso extra en el transporte. Durante la visita a la ciudad de Puerto Maldonado, se observó y se entrevistó a algunos dueños de tiendas de confitería basada en castañas tenían stands con artesanías basadas en cocos y cáscaras de castaña. Además, según entrevistas a estudiantes practicantes (2014) en INKATERRA- Tambopata, se usan los cocos de castaña con fines artesanales en sus hoteles ubicados en Madre de Dios.

Las castañas en cáscara dañadas no serán consideradas como residuo potencial, ya que sólo algunos castañeros cumplen con seleccionarlás (Entrevistas a castañeros en Puerto Maldonado, noviembre 2016), y se considera que se deben quedar en campo con fines ecológicos.

Como resultado de la entrevista al administrador de la planta peladora de ASCART en Puerto Maldonado en noviembre del 2016, la cáscara de castaña es usada en su planta ubicada en El Triunfo, como combustible para su caldero de producción de vapor de agua.

### **1.3. PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL POTENCIAL Y SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.**

En la tabla 10, se presentan la producción de biomasa residual potencial, basado en los factores de generación de residuos del cuadro anterior y la producción anual por provincias de la tabla 3. Se observa que la provincia de Tambopata tiene una mayor producción de residuos del fruto de la castaña en comparación con la provincia de Tahuamanu. En promedio, al año se producen en ambas provincias cerca de 9 500 toneladas de residuos, de los cuales menos de 1 000 toneladas son usadas con fines energéticos por la peladora de ASCART. (Entrevista a administrador de ASCART, noviembre del 2016).

Del pronóstico de producción de residuos para el año 2016:

- El que tiene mayor cantidad de residuos son los cocos con cerca de 9 000 toneladas al año.
- Le sigue las cáscaras de castaña con más de 1 000 toneladas al año.

**Tabla 10: Estimación de la producción de biomasa residual disponible a nivel regional y provincial.**

Años	Producción de residuos (t/año)					
	Regional		Tambopata		Tahuamanu	
	Cocos	Cáscara	Cocos	Cáscara	Cocos	Cáscara
2000	15 430,0	2 106,7	12 652,6	1 727,5	2 777,4	379,2
2001	104,6	14,3	85,8	11,7	18,8	2,6
2002	7 355,0	1 004,2	6 031,1	823,4	1 323,9	180,8
2003	7 786,4	1 063,1	6 384,8	871,7	1 401,5	191,4
2004	3 398,5	464,0	2 786,8	380,5	611,7	83,5
2005	15 420,3	2 105,4	12 644,6	1 726,4	2 775,6	379,0
2006	1 775,6	242,4	1 456,0	198,8	319,6	43,6
2007	3 290,2	449,2	2 697,9	368,4	592,2	80,9
2008	9 459,8	1 291,6	7 757,0	1 059,1	1 702,8	232,5
2009	10 145,7	1 385,2	8 319,4	1 135,9	1 826,2	249,3
2010	1 702,4	232,4	1 396,0	190,6	306,4	41,8
2011	15 606,9	2 130,9	12 797,7	1 747,3	2 809,2	383,6
2012	5 350,9	730,6	4 387,8	599,1	963,2	131,5
2013	3 141,0	428,8	2 575,6	351,7	565,4	77,2
2014	16 509,0	2 254,0	13 537,4	1 848,3	2 971,6	405,7
2015	19 057,8	2 602,0	15 627,4	2 133,7	3 430,4	468,4
2016	8 470,9	1 156,6	6 946,1	948,4	1 524,8	208,2

**a. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL:**

En la figura 15 se muestra un mapa con la ubicación de la biomasa residual disponible y potencial (Cocos y cáscaras). Se puede observar que la red eléctrica no es aislada, gracias a la carretera interoceánica. Sin embargo, la distribución energética a centros poblados alejados de esta vía es escasa. Por ejemplo, por observación directa en la visita a Puerto Maldonado en noviembre del 2016, se vio que en zonas muy cercanas a la carretera interoceánica (aproximadamente 500 metros) ya no se contaba con servicio eléctrico. Estas personas, utilizaban otras fuentes de energía como la leña o carbón, para la cocción de alimentos y demás actividades.

En la figura 16 se muestra un mapa con la disponibilidad de residuos (cocos y cáscaras). Se observa que aproximadamente el 88 por ciento de los residuos potenciales del fruto de la castaña se quedan en el bosque, en cada concesión castañera. Éstas tienen cercanía a la vía principal y a diferentes ríos por donde pueden trasladar los residuos. Por otro lado, se observa que aproximadamente el 22 por ciento de los residuos potenciales son disponibles ya se encuentran en la ciudad. Además, los distritos de Tambopata y Las piedras, pertenecientes a la provincia de Tambopata tienen más oferta del residuo coco; seguidos por Tahuamanu en Tahuamanu, Laberinto - Tambopata e Iberia- Tahuamanu. Por otro lado, el mayor porcentaje de cáscaras se encuentra en el distrito de Las Piedras en Tambopata.



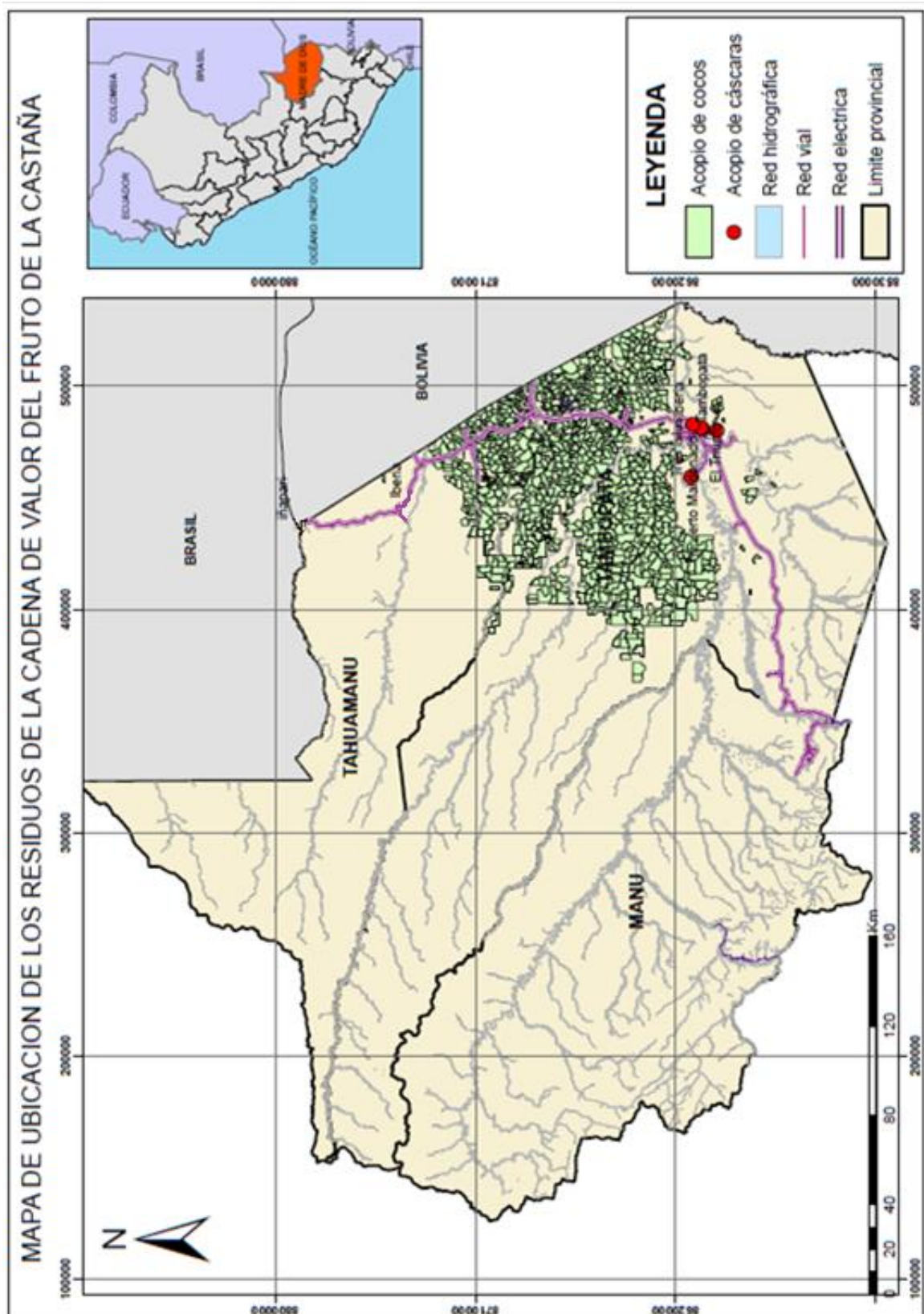


Figura 15: Mapa de ubicación de la biomasa residual disponible.

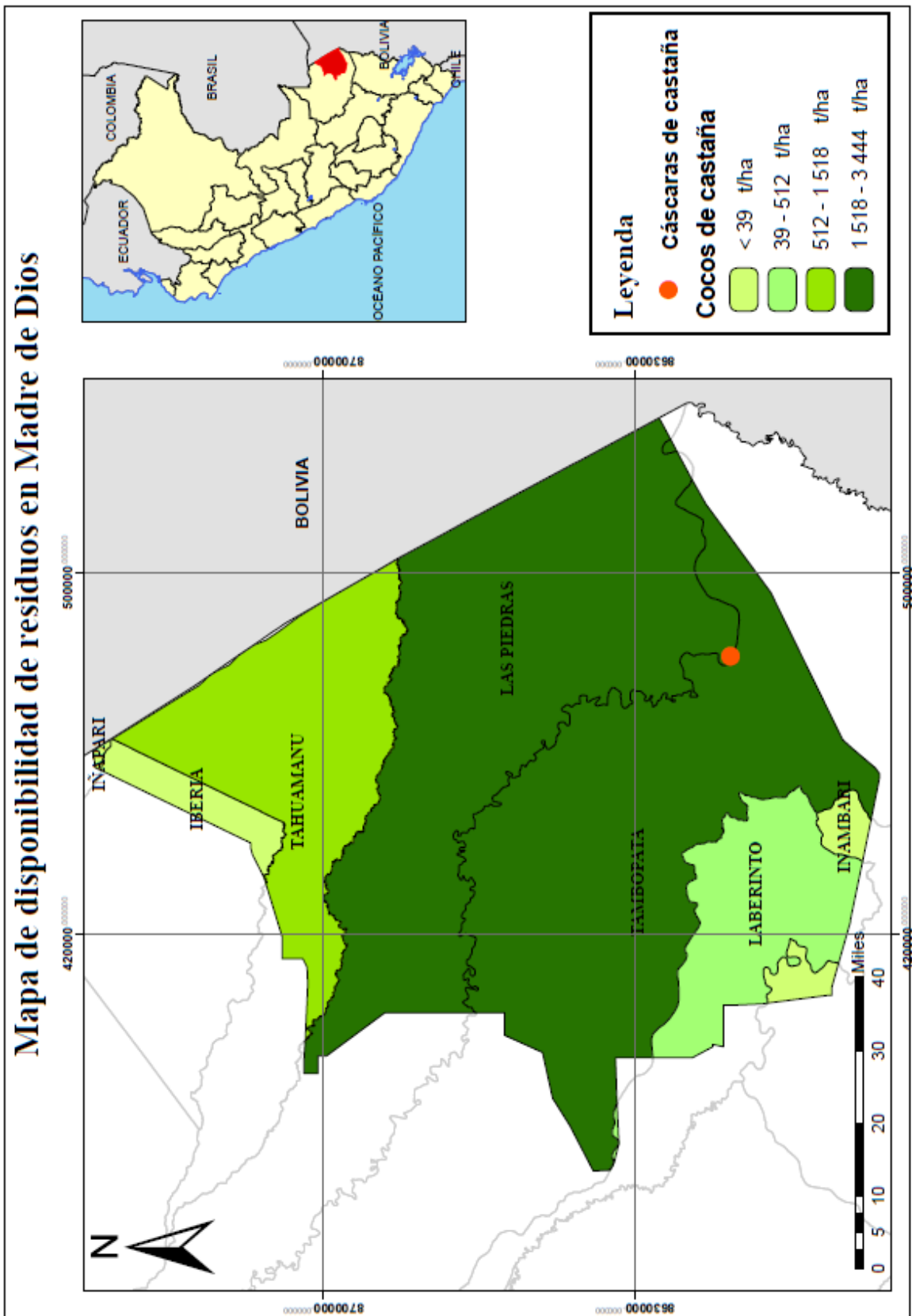


Figura 16: Mapa de disponibilidad de residuos (t/año), en la Región Madre de Dios.

## 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS.

### 2.1. ANÁLISIS FÍSICO - CONTENIDO DE HUMEDAD

En la tabla 11 se observa los resultados de contenidos de humedad de los tres residuos analizados.

**Tabla 11: Contenido de humedad de los residuos.**

<i>Residuos</i>	<i>Contenido de humedad (%)</i>	
	<i>Fresco</i>	<i>Seco</i>
CC1	49,19	10,17
CC2	43,12	08,32
CC3	27,93	11,09
PROMEDIO	40,08	9,86

CC1: Capa externa del coco de la castaña, CC2: Capa interna del coco de la castaña, CC3: Cáscaras de castaña.

Los tres residuos tienen un contenido de humedad fresco menor a 60 por ciento, por lo tanto, se consideran biomasa seca. El residuo CC1 es el más húmedo por ser el que tiene más contacto con el entorno. El residuo CC3 es el de menor contenido de humedad, para su aprovechamiento en forma térmica es el más adecuado.

### 2.2. ANÁLISIS ELEMENTAL

Este análisis incluye Carbono, Nitrógeno y Azufre; no se analizó Hidrógeno y Oxígeno. En la tabla 12 se muestran los resultados. Los resultados de laboratorio se muestran en el anexo 1.

**Tabla 12: Composición elemental de los residuos de la castaña.**

<i>Residuos</i>	<i>Porcentaje de peso</i>		
	<i>Carbono (C)</i>	<i>Nitrógeno (N)</i>	<i>Azufre (S)</i>
CC1	45,15	1,12	0,09
CC2	50,64	0,67	0,08
CC3	45,05	0,92	0,11
PROMEDIO	46,95	0,90	0,09

CC1: Capa externa del coco de la castaña, CC2: Capa interna del coco de la castaña, CC3: Cáscaras de castaña.

El residuo CC3 contiene 45,15 por ciento de carbono, valor similar al reportado por Bonelli (2001), de 50 por ciento y la cantidad de nitrógeno de 1,12 por ciento, difiere del 0,7 por ciento que indica el mismo autor. Los tres residuos presentan contenidos similares de azufre, todos

menores a uno por ciento. No sucede lo mismo con el nitrógeno, el residuo CC1 presenta 1,12 por ciento que es un valor inusual, lo más frecuente son valores menores a uno por ciento (Sebastián et al., 2010), como en el caso del residuo CC2 y CC3.

### 2.3. ANÁLISIS PROXIMAL

Los resultados de cantidad de cenizas, materia volátil, carbono fijo y humedad. Se muestran en la tabla 13. Los datos fueron obtenidos de la lectura del análisis termogravimétrico.

**Tabla 13: Análisis proximal para los tres residuos de la castaña.**

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Porcentaje (%) en base seca</i>		
	<i>Cenizas</i>	<i>Materia volátil</i>	<i>Carbono fijo</i>
CC1	6,24	70,30	23,46
CC2	4,03	83,91	12,05
CC3	5,66	70,62	23,72

CC1: Capa externa del coco de la castaña, CC2: Capa interna del coco de la castaña, CC3: Cáscaras de castaña.

El residuo CC3, presenta un contenido de cenizas de 5,66 por ciento, que difiere bastante del 1,7 por ciento reportado por Bonelli et al (2001). La cantidad de materia volátil también varía de 70,62 por ciento en este estudio a 76,1 por ciento según el mismo autor. El único valor similar es del carbono fijo.

No se han encontrado evidencia de análisis proximal para los residuos CC1 y CC2. Los rangos entre estos dos residuos son amplios: materia volátil de 70 -80 por ciento, cenizas de cuatro a seis por ciento y carbono fijo de 10 – 20 por ciento aproximadamente; por lo tanto, corrobora la hipótesis que sean dos capas diferentes.

## 2.4. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

En la figura 17, se muestra la pérdida de masa en relación a la temperatura del residuo CC1 (Capa externa del coco de castaña).

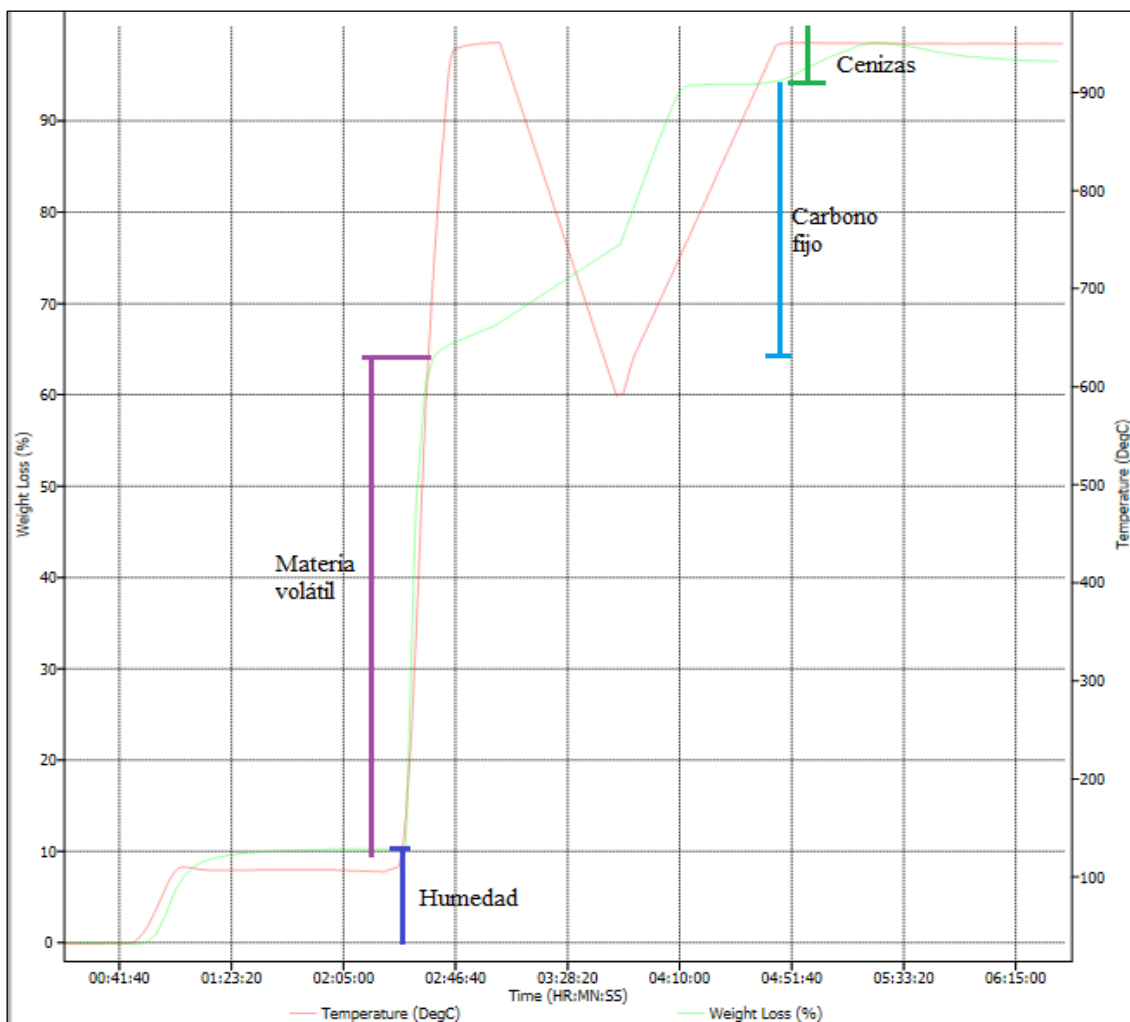
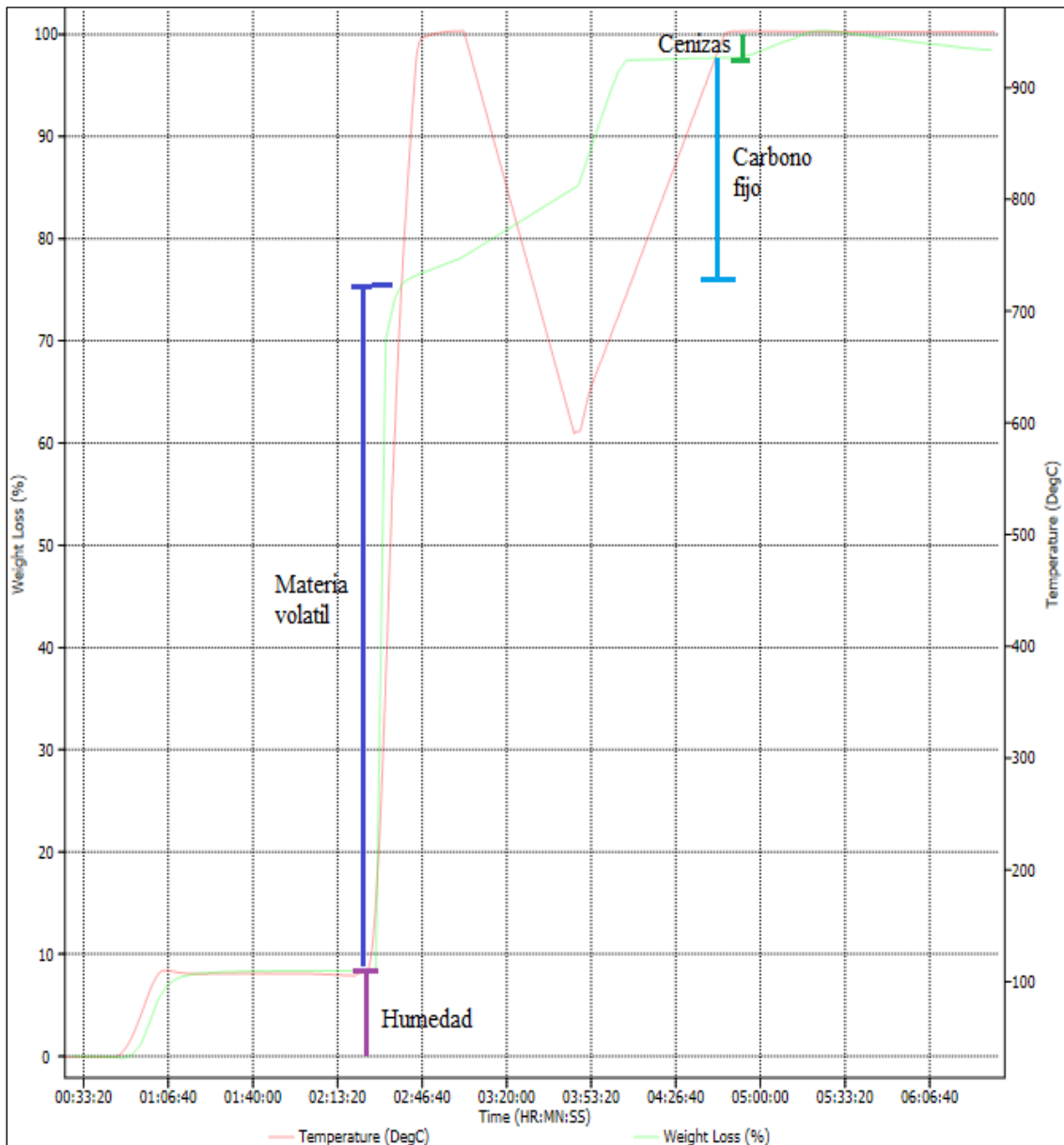


Figura 17: Curva termogravimétrica del residuo CC1.

FUENTE: MODIFICADO DE UBE-LER (2017).

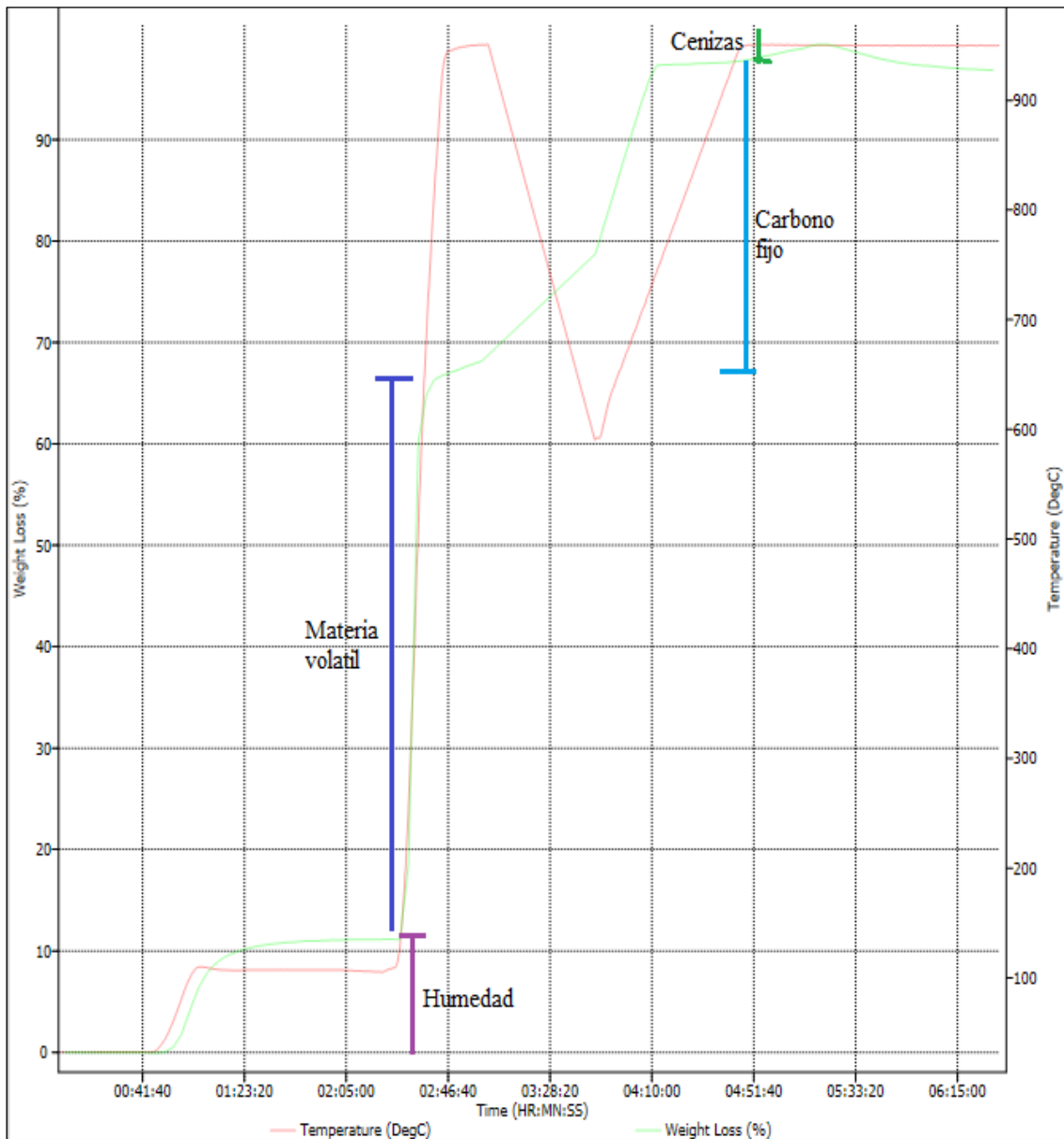
La curva termogravimétrica del residuo CC1, permite observar la deshidratación de la materia (de 33°C a 110°C), donde la muestra pierde 10,17 por ciento de su peso inicial. Luego, a partir de 110°C hasta los 630°C aproximadamente, se aprecia una etapa de desvolatilización intensa, con una pérdida del 63,15 por ciento de la masa. En la tercera fase, a partir de los 630°C, comienza la ignición del carbono fijo, donde se pierde el 21,08 por ciento de la masa. Al llegar a los 940°C aproximadamente solo queda 5,6 por ciento del peso inicial y corresponde a la cantidad de cenizas.



**Figura 18: Curva termogravimétrica del residuo CC2.**

*FUENTE: MODIFICADO DE UBE-LER (2017).*

En la figura 18, la curva termogravimétrica del residuo CC2 (capa interna del coco de castaña), permite apreciar la deshidratación de la materia (de 30°C a 105°C), donde la muestra pierde 8.32 por ciento de su peso inicial. Luego, a partir de 105°C hasta los 730°C aproximadamente, se aprecia una etapa de desvolatilización intensa, con una pérdida del 76,93 por ciento de la masa. En la tercera fase, a partir de los 730°C, comienza la ignición del carbono fijo, donde se pierde el 11,05 por ciento de la masa. Al llegar a los 945°C aproximadamente solo queda 3,7 por ciento del peso inicial y corresponde a la cantidad de cenizas.

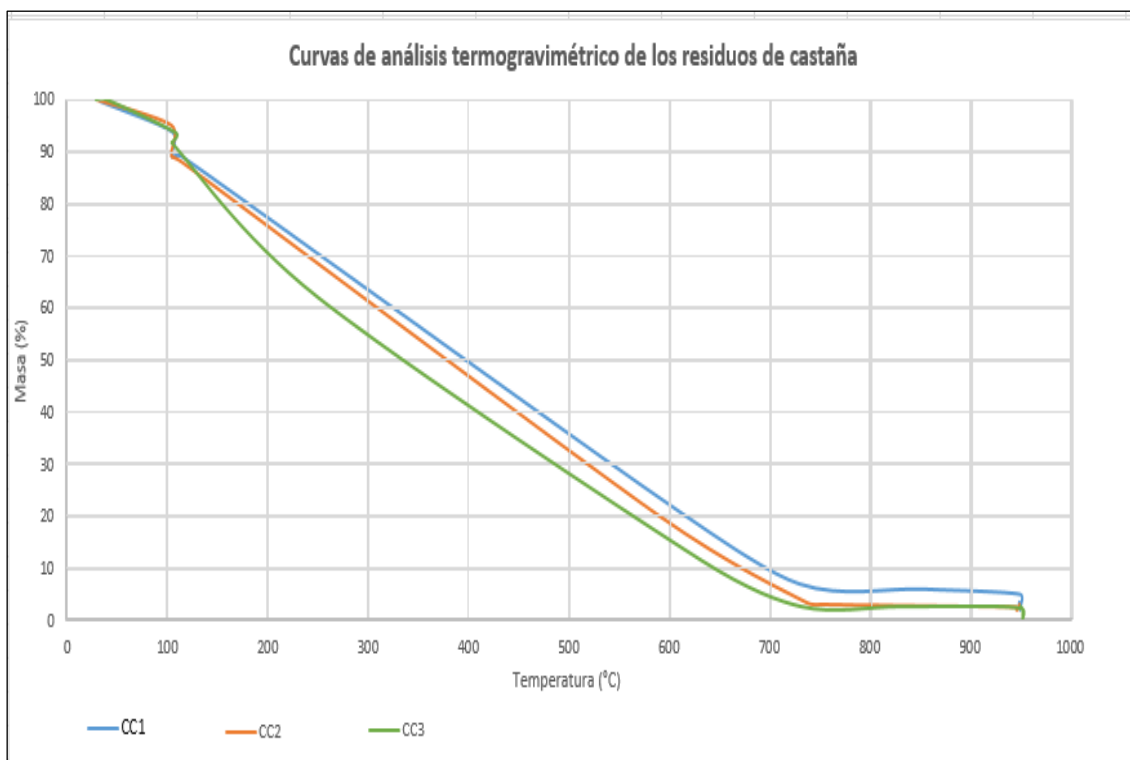


**Figura 19: Curva termogravimétrica del residuo CC3.**

*FUENTE: MODIFICADO DE UBE-LER (2017).*

En la figura 19, la curva termogravimétrica del residuo CC3 (cáscaras de castaña), permite apreciar la deshidratación de la materia (de 30°C a 115°C), donde la muestra pierde 11,09 por ciento de su peso inicial. Luego, a partir de 115°C hasta los 600°C aproximadamente, se aprecia una etapa de desvolatilización intensa, con una pérdida del 62,79 por ciento de la masa. En la tercera fase, a partir de los 600°C, comienza la ignición del carbono fijo, donde se pierde el 21,09 por ciento de la masa. Al llegar a los 950°C aproximadamente solo queda 5,03 por ciento del peso inicial y corresponde a la cantidad de cenizas.

Bonelli et al (2001), también estudió la curva termogravimétrica de este residuo. Sus resultados indican que la pérdida de agua es del 10 por ciento hasta los 200° C aproximadamente, similar a los resultados obtenidos. Sin embargo, indica que la desvolatilización se da hasta los 360 °C aproximadamente, con una pérdida de 40 por ciento de la masa, información que difiere con la de este estudio. Este último dato, indica que la muestra analizada por Bonelli, tenía menos contenido de materia volátil.



**Figura 20: Comparación de curvas termogravimétrica de los residuos de la castaña.**

En la figura 20 se observa que el comportamiento en el proceso de combustión de los tres residuos es similar. También se observa que de 150°C a 750°C aproximadamente, la temperatura de combustión del residuo CC1 es mayor al CC2 y este a su vez es mayor al CC3.



## 2.5. ANÁLISIS DE PODER CALÓRICO

En la tabla 14 se muestran resultados de poder calorífico anhidro y el contenido de humedad seco en estufa.

**Tabla 14: Caracterización energética de los residuos de la castaña.**

<i>Residuos</i>	<i>Poder calórico superior</i>	<i>Poder calórico inferior</i>	<i>Contenido de humedad secado a estufa</i>
	<i>kcal/kg</i>	<i>kcal/kg</i>	<i>% de masa</i>
CC1	3901,7	3504,9	10,17
CC2	4304,3	3946,2	8,32
CC3	4242,9	3772,4	11,09
PROMEDIO	4149,6	3741,2	9,86

CC1: Capa externa del coco de la castaña, CC2: Capa interna del coco de la castaña, CC3: Cáscaras de castaña.

Se observa que el mayor poder calorífico en base anhidra (PCS) corresponde al residuo CC2, seguido por el residuo CC3 y el de menor PCS es el residuo CC1. Si al momento de la combustión no se separan el residuo CC1 del CC2, el poder calorífico del segundo disminuirá.

No se han encontrado evidencias de análisis energético de estos residuos, a pesar que se comercializan pellets del residuo CC3<sup>1</sup>. Por lo tanto, los resultados presentados en el cuadro 14 son el primer aporte.

## 2.6. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la tabla 15 se muestra la cantidad de elementos mayoritarios de la biomasa lignocelulósica (lignina, holocelulosa y cenizas), información que permite decidir el tipo de tecnología para su aprovechamiento energético.

**Tabla 15: Composición química de los residuos de la castaña.**

<i>Residuos</i>	<i>% en masa</i>		
	<i>Lignina</i>	<i>Holocelulosa</i>	<i>Cenizas</i>
CC1	55,60	25,90	6,89
CC2	34,88	62,98	2,16
CC3	51,32	44,50	1,56
PROMEDIO	47,27	44,46	3,54

CC1: Capa externa del coco de la castaña, CC2: Capa interna del coco de la castaña, CC3: Cáscaras de castaña.

<sup>1</sup> Microempresa PelletBol - Bolivia.

Se aprecia que los contenidos de lignina y holocelulosa en el residuo CC3 son menores a los valores de lignina (59,4 por ciento) y holocelulosa (48,5 por ciento) encontrados por Bonelli et al (2001). También se observa que el residuo CC2, es el de mayor contenido de holocelulosa mientras que el residuo CC1 es el que presenta mayor contenido de lignina. Esto indica que el residuo CC1 al ser la capa más externa es la de protección por el mayor contenido de lignina.

Los valores de cenizas difieren de los valores mostrados en la tabla 13 correspondiente al análisis proximal, debido a que los métodos de análisis fueron diferentes. Se puede decir que el método usado en el análisis proximal debería ser revisado ya que esos resultados son los que más difieren del rango de los resultados de Bonelli et al (2001) y de la tabla 15.

No se han encontrado evidencias de análisis de composición química para los residuos CC1 y CC2, por lo que estos resultados son el primer aporte.

El residuo CC2, al tener un contenido alto de holocelulosa (62,98 por ciento), podría ser aprovechado como etanol con fines energéticos. Se requieren más estudios para evaluar ésta opción tecnológica.

Por otro lado, el residuo CC1, tiene un alto contenido de cenizas (6,89 por ciento), por lo tanto, no es recomendado para la combustión directa. Sin embargo, presenta un alto contenido de lignina (55,60 por ciento), que permitiría obtener buenos rendimientos cuando se aprovechan mediante la pirólisis para formar carbón vegetal.

## **2.7. INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES ENERGÉTICAS**

Los tres residuos son clasificados como biomasa seca, es decir deberían ser aprovechados mediante procesos termoquímicos. Sin embargo, el contenido de humedad que presentan en campo, disminuye su alto poder calórico. Solo la capa externa del coco de la castaña tiene un alto contenido de cenizas, por lo tanto, no se recomienda su quema directa. Debido a su alto contenido de lignina se puede recomendar su aprovechamiento mediante pirólisis. La capa interna de coco de la castaña tiene bajo contenido de cenizas, poco azufre y nitrógeno, por lo tanto, podría ser quemado directamente. Además, tiene un alto contenido de holocelulosa, por lo tanto, se puede recomendar su uso mediante la transformación a etanol. En el caso de la cáscara de castaña, tiene muy baja humedad, pocas cenizas, niveles bajos de azufre y nitrógeno, por lo que puede ser quemado de forma directa. Esta puede ser mediante la fabricación de densificados.

## 2.8. RESIDUOS DE CASTAÑA EN COMPARACIÓN CON OTROS COMBUSTIBLES.

Debido a que no hay muchos estudios sobre los residuos del fruto de la castaña, la tabla 16 presenta una comparación de los residuos propuestos y analizados con otros combustibles usados en las zonas rurales de Madre de Dios.

En la tabla 16, se aprecia que, para los residuos presentados, la leña y las briquetas de capirona, su poder calorífico está fuertemente ligado a los altos niveles de materia volátil, es decir requieren equipos de combustión de altas temperaturas. En cambio, para el carbón vegetal y el petróleo, existe una fuerte relación entre el poder calorífico y el contenido de carbono fijo. Además, se observa que el PCS de los residuos CC2 y CC3 es ligeramente menor al PCS de la leña que es uno de los combustibles más usados en la zona rural de Madre de Dios. En comparación con el carbón y el petróleo crudo, la diferencia es más elevada. También se observa que, los residuos de la castaña CC1 y CC2 tienen contenidos altos de cenizas en comparación con otros residuos. El residuo CC3, tiene contenido de cenizas similar al de carbón de shihuahuaco.

**Tabla 16: Composición de residuos de castaña en relación a otros combustibles.**

<i>Elementos</i>	<i>CC1</i>	<i>CC2</i>	<i>CC3</i>	<i>Leña<sup>B</sup></i>	<i>Carbón<sup>C</sup></i>	<i>Briqueta<sup>D</sup></i>	<i>Petróleo<sup>E</sup></i>
Análisis elemental							
C (%)	45,15	50,64	45,05	50	-	-	85,5
N (%)	1,12	0,67	0,92	<1	-	-	0,2
S (%)	0,09	0,08	0,11	<1	-	0,01	0,2
Análisis proximal							
Cenizas <sup>A</sup> (%)	6,89	2,16	1,56	-	1,62	0,77	0,75
Materia volátil <sup>A</sup> (%)	70,30	83,91	70,62	-	11,44	81,30	8,50
Carbono fijo <sup>A</sup> (%)	23,46	12,05	23,72	-	86,90	17,93	88,00
Humedad (%)	10,17	8,32	11,09	-	10,66*	11,06	3,00
Análisis de poder calorífico							
PCS (kcal/kg)	3901,7	4304,3	4242,9	4770	8145	4915	10500
Composición química							
Lignina	55,60	34,88	51,32	20	-	-	-
Holocelulosa	25,90	62,98	44,50	75	-	-	-

CC1: Capa externa del coco de la castaña, CC2: Capa interna del coco de la castaña, CC3: Cáscaras de castaña. A: En base seca. B: Leña latifoleadas (Córdoba, 2012). C: Carbón de shihuahuaco. (Maderera Bozovich, 2016) D: Briqueta de capirona (Corporación industrial forestal S.A.C, 2014) E: Petróleo crudo (Gary J, 2003 y MINEM Argentina).

### 3. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS

En la tabla 17 se muestran los valores calculados de potencial energético de cada residuo por cada provincia, así como un valor equivalente con los combustibles de mayor uso en la zona y un valor monetario equivalente si se aprovecharían estos residuos con fines energéticos mediante el aprovechamiento térmico.

**Tabla 17: Potencial energético de los residuos del fruto de la castaña.**

<i>Provincia</i>	<i>Tipo de residuo</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Potencial</i>	<i>Residuo</i>		<i>Residuo</i>
		<i>residuos</i>	<i>energético</i>	<i>equivalencia</i>		<i>valorizado</i>
		<i>t /promedio año</i>	<i>TJ/año</i>	<i>TEP</i>	<i>t leña /año</i>	<i>millones \$ USD</i>
Tambopata	Coco de castaña	6946	64	1521	4419	0,59
	Cáscara de castaña	948	11	274	796	0,11
	Total provincial anual	7894	75	1795	5215	0,69
	Promedio provincial anual	3947	38	898	2608	0,35
Tahuamanu	Coco de castaña	1525	14	334	970	0,13
	Cáscara de castaña	208	3	60	175	0,02
	Total provincial anual	1733	16	394	1145	0,15
	Promedio provincial anual	866	8	197	572	0,08

Se observa que hay un mayor potencial energético en la provincia de Tambopata y esto se debe a que en esta provincia se concentra la mayor cantidad de concesiones castañeras de la región. Cabe destacar que aunque los cocos de castaña se caracterizan por su mayor potencial energético, presentan más dificultades para su traslado a la ciudad.

La energía equivalente para el petróleo es igual a 2 189 tep que se podría dejar de consumir, y para la leña es 6 360 toneladas de leña al año que se podría dejar extraer de los bosques, para darles un uso con mayor valor.

Si estos residuos se convirtieran en energía, se podría ahorrar en el consumo de combustibles fósiles importados aproximadamente 840 000 dólares americanos.

**Tabla 18: Balance energético en la Región Madre de Dios.**

<i>TJ/año</i>	
<i>Potencial energético de la Región</i>	<i>Demanda energética de leña en zona rural</i>
91	148,12

En la tabla 18 se aprecia que la demanda energética de las familias que consumen leña como fuente principal de energía para cocción de alimentos, es mayor que el potencial energético de los residuos de la castaña. Sin embargo, tan solo con este residuo, se podría satisfacer la demanda energética en un 61 por ciento. Si se incluyeran residuos de otras especies agrícolas y forestales como fuente de energía es muy probable se pueda satisfacer la demanda.

En la figura 21, se presenta un mapa con la oferta de energía potencial de la Región Madre de Dios, si se usan los residuos estudiados con fines energéticos mediante procesos térmicos. Se observa que el distrito de Las Piedras en Tambopata es el que presenta mayor potencial energético, seguido por Tambopata y Laberinto en Tambopata, y Tahuamanu en Tahuamanu. El resto de distritos no cuenta con potencial energético basado en residuos de la castaña.

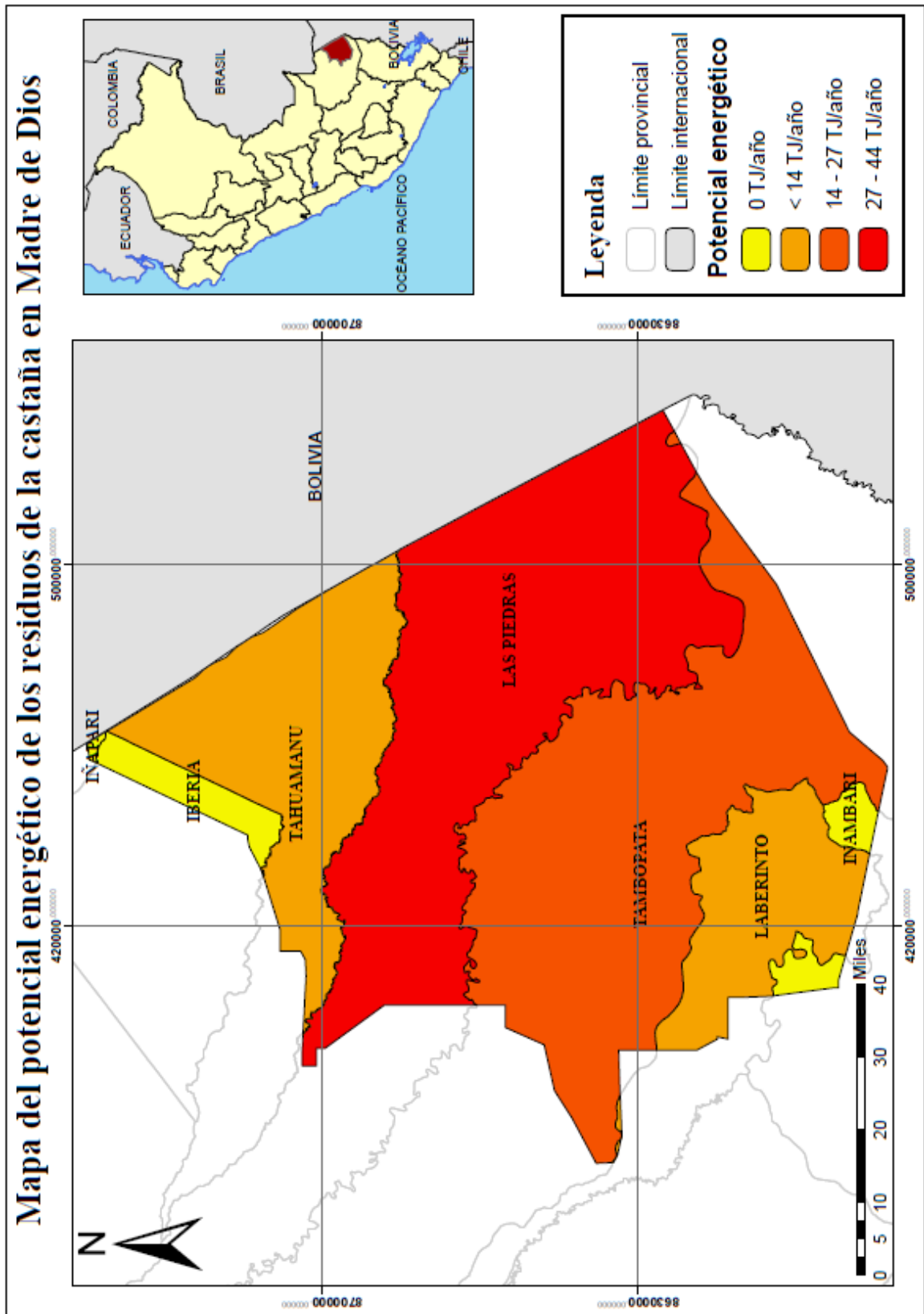


Figura 21: Mapa del potencial energético de los residuos de la castaña en Madre de Dios.

## V. CONCLUSIONES

- 1) La cadena de valor del fruto de la castaña tiene siete eslabones, siendo los dos primeros, que corresponden a las etapas labores culturales, recolección y procesamiento primario y secundario, los que generan la mayor cantidad de residuos biomásicos.
- 2) Las características físicas, químicas y energéticas de los residuos del fruto de la castaña se asemejan a las características de la leña y son buenas para su uso con fines energéticos.
- 3) El mayor potencial energético de la Región Madre de Dios estimado en base a los residuos de la cadena de valor del fruto de la castaña se localiza en la provincia de Tambopata.
- 4) La Región de Madre de Dios, cuenta con un potencial energético basado en la combustión de los residuos del fruto de la castaña, que mediante la combustión directa puede cubrir 61 por ciento de la demanda rural energética.





## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio técnico – económico posterior, que permita ver la viabilidad económica de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de plantas de transformación y producción de biocombustibles basados en residuos de la zona como el coco y cáscara de castaña.
  
- Realizar análisis de caracterización de biomasa con fines energéticos con otros residuos biomásicos forestales, agrícolas e industriales presentes en la Región Madre de Dios, para conocer su potencial energético y así se puedan considerar como una nueva fuente de energía para la Región.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCA (Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica, Perú). 2010. Manual del castaño 5: Manual para la elaboración del plan de general de manejo para el aprovechamiento de castaña *Bertholletia excelsa*. Madre de Dios, Perú. Serie: Manuales para el castaño de ACCA.
- ACCA (Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica, Perú). 2011. Manual del castaño 8: Manual para la identificación de costos y beneficios a través de la implementación de un plan de manejo de castaña *Bertholletia excelsa*. Madre de Dios, Perú. Serie: Manuales para el castaño de ACCA.
- ADEX (Asociación de Exportadores, Perú) 2005. Perú exporta: boletín semanal. (Boletín n° 131).
- Bonelli, P; Della, P; Cerrella, E; Cukierman, A. 2001. Effects of pyrolysis temperature on composition, Surface properties and thermal degradation rates of Brazil nut shells. Buenos Aires, Argentina. Bioresource technology 76; 15-22 p.
- Cárdenas, B. 2014. Árboles del trópico. Diseñador gráfico especialista en dibujos taxonómicos.
- Cardoso, B; Silva, G; Reis,B; Cozzolino, S. 2017. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. ELSEVIER 100(2), 30p.
- Cayeros, S; Robles, F; Soto, E. 2016. Cadenas productivas y cadenas de valor. EDUCATECONCIENCIA 10(11), 6-12 p.
- CICDA (Centro internacional de cooperación para el desarrollo agrícola, Francia), SNV (Perú) y INTERCOOPERATION (Ecuador). 2004. Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas. 90 p.
- Córdova P. 2012. Estudio del consumo de leña en dos comunidades nativas de la cuenca del río Bajo Urubamba. Tesis grado. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 73p.

- Corvera, R.; Del Castillo, D.; Suri, W.; Cusi, E.; Canal, A. 2010. La castaña amazónica (*Bertholletia excelsa*). Manual del cultivo. IIAP. Madre de Dios, Perú. 72 p.
- Choque, E. 2015. Caracterización morfológica y productiva de árboles plus de castaña (*Bertholletia excelsa Bonpl*) en la Región Madre de Dios – Perú. Tesis pre-grado. Madre de Dios, Perú. UNAMAD. 111p.
- Chuquimia, R. 2007. Estudio de la distribución geográfica de la castaña (*Bertholletia excelsa*) en el municipio de El Sena de la provincia Madre de Dios, Pando. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.100p.
- Escalante, H; Orduz, J; Zapata, H; Cardona, M; Duarte, M. 2010. Atlas del potencial energético de la biomasa residual de Colombia. Colombia. UPME, IDEAM, COLCIENCIAS. 180p.
- EUROECOTRADE (Programa de apoyo presupuestario a la política de promoción de las exportaciones de productos ecológicos. Convenio entre los estados peruano y la unión europea, Perú). 2015. Costos generados a lo largo de la cadena de castaña amazónica. Madre de Dios, Perú. 56p.
- FAO (Organización de las Naciones unidad para la alimentación y la agricultura, Argentina).2014. Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (BEFS RA) Manual de Usuario: Residuos agrícolas y residuos ganaderos. 40p.
- 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.
- Francescato, V; Antonini, E; Bergomi, L. 2008. Manual de combustibles de madera. Valladolid, España. AVEBIOM (Asociación española de valorización energética de la biomasa). 82p.
- García, A; Pérez, F; De la Rivera, J. 2016. Evaluación de los recursos de biomasa residual forestal mediante imágenes satelitales landsat y SIG. Zaragoza, España. GeoFocus n° 6. 205-230 p.
- IIAP (Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana). 2001. Propuesta de zonificación ecológica económica como base para el ordenamiento territorial. Madre de Dios, Perú. 153 p.



- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Bolivia). 1988. Estudio sobre comercialización de la castaña de Bolivia. La Paz, Bolivia. 65p.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). 2007. Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda. Primeros resultados, Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2007. Lima, Perú.
- Lundy, M; Gottret, M; Cifuentes, W; Ostertag, C; Best, R. 2003. Diseño de estrategias para aumentar la competitividad de cadenas productivas con productores de pequeña escala: Manual de campo. CIAT – Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales. 83p.
- MACIA (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, Bolivia). 2003. Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo de la cadena productiva de la castaña. 191p.
- MACROCONSULT S.A. 2013. Análisis desde una aproximación económica de la minería aurífera y otras actividades productivas que se desarrollan en Madre de Dios.
- MEM (Ministerio de Energía y Minas, Perú). 2010. Estadística eléctrica por regiones – Parte 2. (En línea). Disponible en: [www.minem.gob.pe/minem/archivos](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos)
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). GOREMAD (Gobierno Regional de Madre de Dios, Perú), DRA (Dirección Regional de Agricultura, Perú). 2008. Plan estratégico regional del sector agrario Madre de Dios 2008 – 2015. Madre de Dios, Perú. 67 p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). S/F. Línea de cultivos emergentes: Nuez de Brasil. Recuperado de: [www.minagri.gob.pe](http://www.minagri.gob.pe).
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú) y SERFOR (Servicio nacional forestal, Perú). 2000 – 2015. Anuario forestal y/o Perú forestal en números.
- MINAM (Ministerio del ambiente, Perú). 2014. Sistematización de experiencias de investigación y manejo de castaña (*Bertholletia excelsa*) en ecosistemas de terrazas altas en el Departamento de Madre de Dios. Lima, Perú. 109p.
- Ramírez, J. 2016. Biomasa residual agrícola con potencial energético en la provincia de Tocache, Departamento de San Martín. Tesis MSc. Lima, Perú, UNALM. 126 p.

- Sebastián, F; García-Galindo, D; Rezeau, A. 2010. Energía de la biomasa. Zaragoza, España. 557p.
- Serrato, C; Lesmes, V. 2016. Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca. Tesis pregrado. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 79p.
- SISFOR (Sistema de información geográfica de supervisiones forestales y de fauna silvestre del OSINFOR, Perú). 2017. Disponible en: [sisfor.osinfor.gob.pe](http://sisfor.osinfor.gob.pe)
- OLADE (Organismo Latinoamericano de Energía, Ecuador), 2004. Metodología De Conversión De Unidades, Guía M-5. 22 p.
- Williams, J y Wilson, D. 1999. Informe sobre el problema de aflatoxinas de la castaña (*Bertholletia excelsa*) en Bolivia. Bolivia. BOLFOR. 31p.
- Zuidema, P. 2003. Ecología y manejo del árbol de Castaña (*Bertholletia excelsa*). Bolivia. PROMAB n (6). 120pp.

# VIII. ANEXOS

## ANEXO 1

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

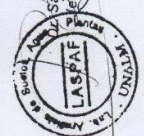
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

### 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	Catubo - CR - 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	Catubo - PO - 3C	1.01	0.09	1.39	0.64	0.23	0.05	0.01	29	6	113	27	14	71.59	54.02	4.15
6109	CS - CO - 1C	0.67	0.02	0.76	0.23	0.06	0.08	0.01	9	12	36	12	61.46	50.84	2.03	
6110	CS - CR - 2C	1.12	0.05	1.31	0.22	0.06	0.09	0.01	17	11	36	561	19	67.16	45.15	8.23

  
 Sergio García Bendequí  
 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

Código CS-CO-1C: corresponde a capa interna del coco de castaña.

Código CS-CR-2C: corresponde a capa externa del coco de castaña.



**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 ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm	M.S. %	C %	Cenizas %
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 Berdezi  
 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



## 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)

4

Código CS-CA-3L: corresponde a cáscara de castaña.  
Código CS-CR-2L: corresponde a capa externa del coco de castaña.  
Código CS-CO-1L: corresponde a capa interna del coco de castaña.

## 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

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

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

5

Código CS-CA-3L: corresponde a cáscara de castaña.

Código CS-CR-2L: corresponde a capa externa del coco de castaña.

Código CS-CO-1L: corresponde a capa interna del coco de castaña.