



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Caracterización física y energética del residuo fibroso proveniente del  
procesamiento de la palma africana variando el porcentaje de humedad para  
aprovechamiento bioenergético en la empresa Quevepalma**

Vergara Carpio, Richard Gabriel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Gutiérrez Gualotuña, Eduardo Roberto

16 de Febrero del 2022



RICHARD\_VERGARA\_TESIS\_COMPROBACIÓN.pdf

Scanned on: 13:57 February 10, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	52
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	14
Ommited Words	0

  
Ing. Eduardo Quiroz



Website | Education | Businesses



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "**Caracterización física y energética del residuo fibroso proveniente del procesamiento de la palma africana variando el porcentaje de humedad para aprovechamiento bioenergético en la empresa Quevepalma**" fue realizado por el señor **Vergara Carpio, Richard Gabriel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de Febrero de 2022

Firma:

Ing. Eduardo Roberto Gutiérrez Gualotuña, MSc

CI: 1711011385



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Vergara Carpio Richard Gabriel**, con cédula de identidad N° 1716611171, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Caracterización física y energética del residuo fibroso proveniente del procesamiento de la palma africana variando el porcentaje de humedad para aprovechamiento bioenergético en la empresa Quevepalma"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 16 de Febrero de 2022

Richard Gabriel Vergara Carpio

CI: 1716611171



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, Richard Gabriel Vergara Carpio, con cédula de identidad N° 1716611171, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Caracterización física y energética del residuo fibroso proveniente del procesamiento de la palma africana variando el porcentaje de humedad para aprovechamiento bioenergético en la empresa Quevepalma”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 16 de Febrero de 2022



Richard Gabriel Vergara Carpio

CI: 1716611171

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto de Titulación a Dios sin el nada de esto hubiera sido posible, Dios es bueno todo el tiempo y todo el tiempo Dios es bueno, a mi madre Elizabeth Carpio Saltos por todo el apoyo y confianza que me mostro siempre creyendo en su hijo, a mi hermano Andrés y a mi hermana Angie con mucho cariño, a mi padre Miguel Vergara Cancio al igual que al compañero de vida de mi madre Stalin Rodríguez que su apoyo y consejos me ayudaron a no botar la toalla.

## **Agradecimiento**

Inicialmente agradecerle a Dios por estar ahí presente en cada paso, a mi familia que son el motor y mi sustento para seguir adelante ya que sin su apoyo permanente esto no habría sido posible. De igual forma, un agradecimiento muy especial a mi tutor de tesis el Ingeniero Roberto Gutiérrez quien siempre estuvo pendiente y atento en cada paso de la construcción de la tesis.

Agradezco a la Universidad De Las Fuerzas Armadas Espe, a la Facultad de Ciencias de Energía y Mecánica en especial a la carrera de Ingeniería Mecánica por haberme aceptado y ser parte de ella.

Mi agradecimiento también va dirigido al gerente general de la EXTRACTORA QUEVEPALMA S.A. Econ. David Juez por permitirme realizar mi proyecto de investigación en su prestigiosa empresa.

ÍNDICE	
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de tablas .....	10
Índice de figura .....	11
Resumen .....	12
Abstract .....	13
Capítulo 1 .....	14
Descripción general del proyecto .....	14
1.1 Introducción .....	14
1.2 Antecedentes .....	15
1.3 Objetivos .....	19
1.3.1 Objetivo general .....	19
1.3.2 Objetivos específicos .....	19
1.4 Justificación .....	19
1.5 Alcance .....	20
Capítulo 2 .....	21
2.1 Marco teórico .....	21
2.1.1 Biomasa .....	21
2.1.2 Tipos de biomasa .....	23
2.1.3 Palma africana en el Ecuador .....	24
2.2 Residuos de palma africana .....	25
2.2.1 Palma africana y palmiste .....	26
2.2.2 Cuesco .....	26
2.2.3 Raquis .....	27
2.3 Uso de residuos fibroso de palma africana .....	28



2.4	Características físicas y energéticas de la biomasa .....	29
2.4.1	Porcentaje de humedad en la biomasa.....	29
2.4.2	Poder Calorífico .....	30
Capítulo 3	.....	31
3.1	Caracterización física del residuo fibroso de palma africana .....	31
3.1.1	Descripción del procesamiento de palma africana .....	31
3.1.2	Análisis de las propiedades físicas del residuo fibroso .....	32
3.1.2.1	Residuo fibroso Quevepalma .....	32
3.1.2.2	Parámetros de humedad.....	32
3.1.2.3	Proceso de secado.....	33
3.1.3	Balance de resultados .....	35
Capítulo 4	.....	35
4.1	Caracterización energética del residuo fibroso palma africana.....	35
4.1.1	Análisis del poder calorífico.....	35
4.1.2	Secado del residuo fibroso .....	36
4.1.3	Bomba Calorimétrica .....	36
4.2	Resultados .....	37
4.2.1	Graficas de regresión .....	45
4.3	Procedimiento para la obtención del poder calorífico .....	46
4.4	Factor de corrección .....	47
Capítulo 5	.....	48
5.1	Conclusiones y Recomendaciones .....	48
6	Referencias bibliográficas .....	51
Anexos	.....	54

**Índice de tablas**

Tabla 1 Tipos de residuos de biomasa _____	23
Tabla 2 Propiedades físicas, químicas y energéticas de la biomasa _____	29
Tabla 3 Características de la biomasa producida en Quevepalma _____	32
Tabla 4 Secado de la fibra al 20% de humedad _____	33
Tabla 5 Secado de la fibra al 28% de humedad _____	34
Tabla 6 Características de ácido benzoico _____	37
Tabla 7 Resumen del cálculo del poder calorífico para un porcentaje de humedad del 20% _____	38
Tabla 8 Resumen del cálculo del poder calorífico para un porcentaje de humedad del 28% _____	40
Tabla 9 Resumen del cálculo del poder calorífico para un porcentaje de humedad del 37% _____	42

## Índice de figura

Figura 1 Esquema de la procedencia de la biomasa _____	22
Figura 2 Partes de la planta de palma africana _____	25
Figura 3 Fruto de palma africana _____	26
Figura 4 Cascarilla o cuesco de nuez de palmiste _____	27
Figura 5 Raquis a partir de la extracción de aceite de palma africana _____	28
Figura 6 Proceso de utilización del residuo fibroso la palma aceitera _____	28
Figura 7 Energía vs % de humedad _____	30
Figura 8 Secado de la fibra mediante la RADWAG PMC 50 _____	34
Figura 9 Resumen estadístico e histograma de frecuencias del Poder Calorífico con porcentaje de humedad 20% _____	39
Figura 10 Resumen estadístico e histograma de frecuencias del Poder Calorífico con porcentaje de humedad 28% _____	41
Figura 11 Resumen estadístico e histograma de frecuencias del Poder Calorífico con porcentaje de humedad 37% _____	43
Figura 12 Comparación del Poder Calorífico con porcentaje de humedad al 20%, 28% y 37% del residuo fibroso de palma africana _____	44
Figura 13 Grafica de línea ajustada con la ecuación respectiva del poder calorífico al 20% de humedad del residuo fibroso _____	45
Figura 14 Poder calorífico vs % humedad _____	46

## **Resumen**

En el presente trabajo se presenta la caracterización física y energética del residuo fibroso proveniente del procesamiento de la palma africana como aprovechamiento bioenergético para la empresa Extractora Quevepalma S.A, tomando como parámetros de análisis los diferentes porcentajes de humedad al igual que el grado de compactación y tamaño de grano siendo estos dos últimos valores constante durante todo el proceso, los porcentajes de humedad del residuo fibroso analizados fueron del 20%, 37% y la media aritmética entre estos, para lograr llevar el residuo fibroso a los estos porcentajes de humedad se utilizó la máquina de secado RADWAG PMC 50, mediante el uso de una bomba calorimétrica adiabática se determinó el poder calorífico del residuo fibroso con cada porcentaje de humedad, los valores de poder calorífico calculados van desde los 15 - 25 MJ/kg donde se tomó el valor mas alto de poder calorífico de cada porcentaje de humedad mencionado anteriormente con el fin de comparar estos valores obtenidos con el actual valor de 12 MJ/kg con el que trabaja la empresa Extractora Quevepalma S.A a un porcentaje de humedad del 37%, se obtuvo como resultado el porcentaje de humedad más óptimo al cual debe llegar el residuo fibroso para que su aprovechamiento bioenergético sea el mejor.

## **PALABRA CLAVE:**

- **RESIDUOS DE PALMA AFRICANA**
- **PODER CALORÍFICO**
- **BIOMASA**
- **COMBUSTIBLE**

**Abstract**

This paper presents the physical and energetic characterization of the fibrous residue from the African palm processing as bioenergetic use for the company Extractora Quevepalma SA, taking as analysis parameters the different percentages of humidity as well as the degree of compaction and size. of grain, these last two values being constant throughout the process, the moisture percentages of the fibrous residue analyzed were 20%, 37% and the arithmetic mean between these, to achieve bringing the fibrous residue to these moisture percentages the RADWAG PMC 50 drying machine, through the use of an adiabatic calorimetric bomb, the calorific value of the fibrous residue was determined with each percentage of humidity, the calculated calorific value values range from 15 - 25 MJ / kg where the wrong value was taken high calorific value of each percentage of moisture mentioned above in order to compare these Values obtained with the current value of 12 MJ / kg with which the company Extractora Quevepalma SA works at a humidity percentage of 37%, the result was the most optimal humidity percentage to which the fibrous waste must reach so that its use bioenergetic be the best.

**KEY WORD:**

- **AFRICAN PALM WASTE**
- **CALORIFIC VALUE**
- **BIOMASS**
- **FUEL**

## Capítulo 1

### Descripción general del proyecto

#### 1.1 Introducción

La palma africana es uno de los principales cultivos agroindustriales en el Ecuador. El rápido aumento de la superficie de plantaciones en el Ecuador. De un 187% entre los años 1995 y 2005, indica la importancia de la demanda de aceite de palma africana a nivel mundial. (ANCUPA, 2011)

Fue introducida en la provincia de Esmeraldas con plantaciones pequeñas, con el pasar del tiempo se cultivó en provincias como Esmeraldas, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, principalmente en la provincia de Los Ríos, cantón Quevedo, debido a las condiciones climáticas con la que desarrolla. (VELIZ, 2018)

Quevepalma es una compañía dedicada a la compra de palma africana para realizar la correspondiente extracción de aceite de palma, siendo este un producto de calidad y posteriormente se procede a la venta de la misma a diferentes empresas nacionales e internacionales que emplean como materia este tipo de aceite, satisfaciendo la demanda y las necesidades del mercado en el que se desenvuelve.

Entre los subproductos generador en el proceso de producción del aceite se tiene el raquis, del cual se obtiene las fibras provenientes del mesocarpio del fruto. (Chica, 2015).

Según (Vargas, 2011), la biomasa residual disponible de algunos procesos agroindustriales como el de caña de azúcar, arroz, café y palma africana, se consume directa y mayoritariamente en calderas como combustible para generar el vapor necesario y satisfacer los requerimientos energéticos de los respectivos procesos. De

esta forma, las biomásas se presentan como alternativas de sustitución total o parcial de los combustibles sólidos convencionales como el carbón y la leña.

El exceso de humedad en la materia prima, y el efecto del oxígeno, provoca que la combustión sea incompleta generando carbonilla (carbón) y monóxido de carbono CO. La materia sólida vegetal tiene un contenido original de agua superior al 50% en peso, como índice del contenido energético de un combustible se define el poder calorífico. (Rodríguez, 2000). El objetivo principal de este proyecto es caracterizar física y energéticamente el residuo fibroso proveniente del procesamiento de la palma africana variando sus porcentajes de humedad.

## **1.2 Antecedentes**

La utilización de residuos de palma africana se ha convertido con el pasar de los años en uno de los proyectos más importantes de los países de Europa y América Latina en la producción de biocombustibles, estos residuos agroindustriales se han considerado una excelente alternativa de sustitución a los combustibles tradicionales; el biodiesel es similar a los combustibles fósiles y en ocasiones a llegando a superar a dichos combustibles debido a su eficiencia energética además de no ser tóxico e inflamable. (Angulo & Perero, 2019)

En la última década el uso de biomasa como fuente de energía renovable ha ido tomado interés al ser conocida por su alto potencial energético el cual puede ser usado para satisfacer las necesidades energéticas de los países desarrollados o que están en desarrollo; se le conoce a la biomasa como toda fracción biodegradable de los productos, los desechos y los residuos procedentes de la agricultura, que por sus buenas propiedades físicas, químicas y caloríficas se usa para la producción de energía (calor y electricidad). (Chimá, 2013)

En la actualidad los residuos agroindustriales (biomasa) proveniente de la extracción de aceite de palma africana tiene grandes beneficios en la producción de vapor para el proceso de obtención de aceite vegetal gracias a su contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa. (Dickinson, y otros, 2019)

En países como Indonesia la biomasa es muy utilizada como fuente de energía renovable que puede llegar a producir cerca de 12.654 MW. (Ermawati, Wirjodirdjo, & Hadi, 2019)

El uso adecuado de los residuos agroindustriales como fuente de energía debe ser aprovechado en su totalidad en las propiedades energéticas en la que se destaca el poder calorífico que ha sido estudiado ampliamente para evaluar la calidad de la energía a partir de la producción de biomasa. (Quintero & Torres, 2019).

Por otro lado, existen varios estudios que mencionan el adecuado tratamiento que debe tener la biomasa para su aprovechamiento energético en los que se menciona la importancia del porcentaje de humedad de los residuos agroindustriales, la investigación realizada por la Universidad de Colombia en 2018 determina que el poder calorífico de la tusa y la fibra de la palma de aceite se puede incrementar entre 2,5 y 3 veces si tiene un porcentaje de humedad adecuado.

El exceso de humedad en la materia prima provoca que la combustión sea incompleta generando carbón y monóxido de carbono (CO), lo cual es perjudicial para la salud. La materia sólida vegetal tiene un contenido de agua superior al 50% en peso, siendo imprescindible secarla antes de quemarla para obtener un producto con un contenido en humedad inferior al 15% siendo este porcentaje el adecuado para un aprovechamiento por combustión directa (Rodríguez, 2000) y el porcentaje de humedad



aconsejable para un buen combustible mediante el uso de briquetas es menor o igual al 20%. (Madrigal & Garbanzo, 2018).

Las calderas de combustión de biomasa, pueden obtener eficiencias superiores al 86% sobre poder calorífico inferior (PCI), utilizan presiones de vapor de más de 30 bares y temperaturas del orden de los 450 °C. Además, detallan que el proceso más utilizado es en el Raquis aunque existen instalaciones con gasificación de biomasa para su posterior aprovechamiento en motores de combustión interna. Por tanto, la cantidad de calor desprendido por la combustión completa de la unidad de masa de un cuerpo no depende más que de la composición química del combustible, en países como Malasia, se han fijado objetivos para el uso de combustibles basados en la biomasa como un combustible renovable alternativo, la principal fuente de combustible son los residuos de palma aceitera, incluyendo racimos vacíos (EFB), conchas y las fibras. En Colombia, los sub-productos de la palma de aceite se utilizan solo parcialmente; la fibra y el cuesco se utilizan para generar vapor de agua para el proceso. (Quintero & Torres, 2019)

También, existe otra aplicaciones donde ese puede usar la fibra como menciona (Gamarra, 2016) en su investigación se planteó un uso alternativo de este residuo fibroso, donde evaluó la aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitera para la elaboración de tableros fibrocemento, estos residuos fibrosos fueron tratados en el desfibrador de discos Bauer a 10 por ciento de consistencia, el rendimiento de este proceso fue de 80,37%; los haces fibrosos obtenidos fueron caracterizados física y químicamente, en el cual los resultados superan los requerimientos descritos por la norma DIN 1101 uno de ellos la resistencia a la flexión que fluctúa entre 29,41 a 46,19 kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo a (Rojas, Piñeros, & Velásquez, 2011), la industria de palma de aceite genera cerca de 11,6 a 15,1% de fibra prensada respecto a la carga inicial de los

frutos procesados, este residuo presenta una estructura compleja compuesta de lignina, hemicelulosa y celulosa; haciéndolo susceptible de ser procesado para la obtención de diversos productos biotecnológicos de alto valor agregado. En esta investigación se evaluó la obtención de azúcares fermentables a partir de la fibra prensada de palma, realizando un pre-tratamiento biológico con los hongos.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado la fibra de palma africana es empleado como combustible, además, lo pueden combinar con otros materiales para formar un material compuesto y pueda ser aplicado en el campo de la ingeniería.

La biomasa de palma aceitera incluye racimos de frutas vacíos (EFB), fibras de mesocarpos, cáscaras de semillas, frondas de palma aceitera, troncos de palma aceitera, así como efluentes de molinos de aceite de palma (POME). Las hojas de palma aceitera representan el 70% de la biomasa total de palma aceitera producida, mientras que la EFB representa el 10% y los troncos de palma aceitera representan solo alrededor del 5% de la biomasa total producida.

Alrededor del 89% de la biomasa total de palma aceitera producida anualmente se utiliza como combustible, mantillo y fertilizante. La biomasa también se puede convertir en energía mediante un sistema de cogeneración. La abundancia de estos recursos de biomasa está aumentando con el rápido desarrollo de las industrias del aceite de palma. Estos desechos de palma aceitera se recolectan fácilmente de 190 regencias en Indonesia.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Caracterizar física y energéticamente el residuo fibroso proveniente del procesamiento de la palma africana variando el porcentaje de humedad para aprovechamiento bioenergético en la empresa QUEVEPALMA.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el porcentaje de humedad actual del residuo fibroso de palma africana.
- Elaborar el diseño experimental para determinar el intervalo adecuado de humedad del residuo fibroso.
- Comparar el poder calorífico del residuo fibroso que actualmente se utiliza en la empresa y el residuo fibroso con el intervalo de humedad adecuado.

### **1.4 Justificación**

En el Ecuador son mínimas las investigaciones realizadas sobre el aprovechamiento energético que se puede obtener a partir de los residuos agroindustriales de la palma africana, estos residuos han sido utilizados en varios países desarrollados como materia prima para el suministro de energía y en remplazo de combustibles tradicionales.

Además, el uso adecuado de los residuos como fuente de energía debe estar encaminados a su máximo aprovechamiento de sus propiedades energéticas en la que se destaca el poder calorífico (PC) el cual permite evaluar la calidad de la energía a partir de la combustión de biomasa.

Uno de los problemas que existe en la extractora de aceite QUEVEPALMA es la incorrecta utilización de los residuo fibroso de palma africana como combustible para el encendido de las calderas, dicha fibra ingresa con un porcentaje de humedad muy alto

cuyo valor es aproximadamente 40%, provocando una incorrecta combustión haciendo que el proceso demore y que la mayor parte de la energía se desperdicie, dicha empresa al no tener una adecuada información sobre el aprovechamiento energético que puede obtener si la fibra está en intervalos de humedad adecuados para provechar al máximo este residuo.

La finalidad del proyecto es determinar el efecto que tendrá el poder calorífico variando el porcentaje de humedad del residuo fibroso proveniente de la extracción de aceite de palma africana para mejorar el aprovechamiento en la quema del mismo en los calderos que tiene la empresa QUEVEPALMA, además dicha empresa usualmente realiza un mantenimiento de los calderos cada 7 días lo cual hace que la producción de aceite quede parada por lo menos 1 hora donde las pérdidas económicas son considerables.

De acuerdo a lo antes mencionado, realizar un estudio adecuado sobre el verdadero porcentaje de humedad que tiene actualmente el residuo fibroso que es utilizado en los calderos de la empresa QUEVEPALMA ayudará a determinar qué cantidad de energía se está perdiendo, la presente investigación buscará dar la información necesaria a la empresa sobre el intervalo adecuado de humedad que debe tener el residuo fibroso para aprovechar la máxima capacidad energética de esta biomasa.

### **1.5 Alcance**

El alcance de este proyecto de titulación tendrá como fin caracterizar el residuo fibroso para un aprovechamiento eficiente de la energía en el proceso de combustión en las calderas de la empresa QUEVEPALMA, para lograr dicho proceso de combustión, se verificara con qué porcentaje de humedad se va a poder obtener un mejor poder calorífico de la fibra variando entre el 20 y 37 por ciento y tomando estadísticamente el

valor medio de ese rango y determinar los diferentes valores de poder calorífico, la caracterización energética se realizará por medio de la bomba calorimétrica adiabática regida bajo la norma NTE-ISO/IEC 17025 y con las muestras propias de la empresa el proceso de secado se lo podrá realizar en un secador RADWAG PMC 50 existente en el Laboratorio de Conversión de Energía. En función a estos se realizará además una comparación del poder calorífico obtenido con los diferentes porcentajes de humedad descritos anteriormente. Por consiguiente, se podrá determinar las posibles aplicaciones en el campo de los biocombustibles.

## **Capítulo 2**

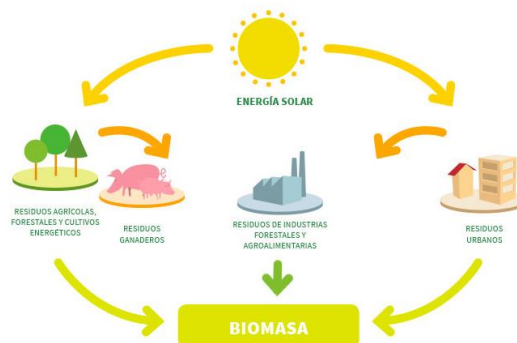
### **2.1 Marco teórico**

#### **2.1.1 Biomasa**

La biomasa es toda materia orgánica que se produce de las plantas y los desechos de animales (ver figura 1) que al ser tratados de una manera adecuada se puede convertir en energía, calor, biocombustibles, productos químicos y materiales de base biológica; el recurso de biomasa es renovable, neutral en carbono y abundante, por lo que tiene un gran potencial para convertirse en una fuente de energía primaria. (Liao, Pang, & Nazari, 2018)

## Figura 1

### Esquema de la procedencia de la biomasa



Nota. La imagen representa los diversos campos donde se puede obtener biomasa.

Tomado de (Galván, 2019)

La biomasa al ser comparada con otros combustibles se destaca ya que posee un contenido energético mayor, además, es el único recurso natural de carbono que contiene energía y es lo suficientemente grande en cantidad para ser utilizado como sustituto de los combustibles fósiles. (Khan, Paliwal, Vikram, & Kumar, 2015)

Además, la biomasa se puede convertir en energía térmica y en combustibles líquidos, sólidos o gaseosos a través de varios procesos de conversión como la combustión directa, gasificación, pirólisis, digestión anaeróbica y fermentación. (Khan, Paliwal, Vikram, & Kumar, 2015)

La biomasa tiene sus ventajas y desventajas entre sus grandes beneficios se encuentra el aprovechamiento forestal del territorio esto permitirá limpiar los bosques logrando prevenir incendios forestales, además de generar empleos de manera continua en la extracción de materias primas. (Perea, Samerón, & Perea, 2019)

En cuanto a las aplicaciones de la biomasa se la puede usar como biocarbón en remplazo al carbón tradicional para la generación de electricidad logrando con esto reducir las emisiones de gases que producen un efecto invernadero; la biomasa si es tratada correctamente se puede convertir en una fuente de energía barata para las poblaciones ya que cuenta con un gran potencial energético y es beneficiosa para el medio ambiente. (Bea, 2020)

### 2.1.2 Tipos de biomasa

La biomasa se presenta en diferentes estados físicos el cual se debe analizar y determinar su factibilidad tanto técnica como económica y su campo de aplicación. (Reinoso, 2014) En la tabla 1 se presenta la clasificación de la biomasa según el tipo de recurso, además la variable (humedad) que influye para su mejor aprovechamiento.

**Tabla 1**

*Tipos de residuos de biomasa*

<b>Residuos</b>	<b>Tipo de residuo</b>	<b>Propiedades físicas</b>
Forestales	Residuos de plantas: hojas, cascaras, corteza y raíces	Estado: sólido Humedad relativa mayor al 55%.
Industriales	Residuo del procesamiento de carne: grasas	Estado: sólido y líquido Alto contenido de humedad
Agropecuarios	Desperdicios de frutas y vegetales: Cáscara y pulpa	Estado: sólido Alto contenido de humedad.
Urbanos	Basura orgánica	Estado: sólido Alto contenido de humedad

*Nota.* Esta tabla muestra el tipo de residuo bioamásico y las propiedades físicas, de dicha biomasa. Tomado de (Reinoso, 2014)

### **2.1.3 Palma africana en el Ecuador**

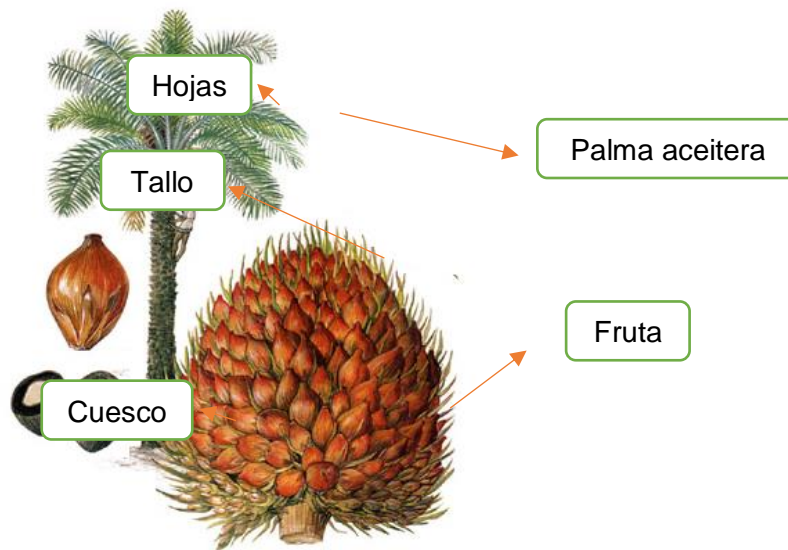
La palma africana o conocida también como palma aceitera es una planta de origen tropical que se da en climas cálidos y húmedos, siendo su origen en la región occidental del continente africano (golfo de Guinea) con el pasar de los años se ha ido expandiendo por todo el mundo llegando a América y América Latina. (Boschma, 2013)

En la figura 2 se muestra los elementos que componen a la planta de palma africana.



## Figura 2

### *Partes de la planta de palma africana*



*Nota.* La imagen representa las partes de la palma africana. Tomado de (Bea, 2020)

Las plantaciones de palma africana en el Ecuador se realizan desde el año 1950 en la Concordia estas plantaciones fueron creciendo por toda la zona por lo que es el segundo cultivo más producido en el país que generan cerca de 150 000 empleos directos e indirectos para los habitantes de los pueblos. Las provincias ecuatorianas que generan la mayor producción de la palma aceitera se encuentra en: Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Sucumbíos y Orellana. (Rivas, Moreno, Álvaro, & Leiva, 2017)

## 2.2 Residuos de palma africana

Los residuos de palma aceitera son altos en celulosa generalmente estos residuos son utilizados como biocombustibles en los que tenemos los racimos de frutas vacíos, el tronco, la cáscara y la ceniza de la palma aceitera. (Dungani, y otros, 2018)

### 2.2.1 Palma africana y palmiste

El fruto que obtiene de la palma aceitera tiene forma de un racimo carnoso (ver figura 3) estos son cultivados y transportados a las diferentes empleas industriales encargadas de extraer aceite de este fruto, después de varios procesos físicos y químicos. Existen varios de los subproductos generados en el proceso y son utilizados para la extracción de un aceite más fino conocido como aceite de palmiste, siendo el palmiste la semilla que se extrae a partir del fruto de palma africana, conocida también como almendra, pasa por un proceso de trituración para extraer el aceite de palmiste. (Uche, Harrison, & Akhator, 2015)

#### Figura 3

*Fruto de palma africana*



*Nota.* La imagen representa el fruto de palma aceitera. Tomado de (Bea, 2020) y QUEVEPALMA

### 2.2.2 Cuesco

Una vez que se extrae el aceite de palmiste de la semilla queda un residuo sólido que es conocido como cascarilla o cuesco de palmiste como se muestra en la figura 4, este residuo es liviano, tiene alta resistencia mecánica y una buena dureza; se usa principalmente como combustible para las calderas. (Reinoso, 2014)

**Figura 4**

*Cascarilla o cuesco de nuez de palmiste*



*Nota.* La imagen representa la cascarilla de palmiste que se obtienen una vez que se extrae el aceite. Tomado de (Reinoso, 2014)

**2.2.3 Raquis**

Se lo puede definir como el sustento del fruto de palma aceitera con gran cantidad de humedad que en muchas ocasiones tiene residuos de aceite provenientes del mismo fruto (ver figura 5), tiene una buena dureza y es impenetrable, lo que ocasiona que sea muy difícil de cortar, además de tener un gran tamaño con un tronco sólido capaz de soportar el peso que generan la cantidad de frutos. Se utiliza principalmente como abono y en países con alta tecnología han logrado utilizarlo como fuente para la obtención de biogás y bioetanol.

## Figura 5

*Raquis a partir de la extracción de aceite de palma africana*



*Nota.* La imagen representa el residuo de raquis. Tomado de (Reinoso, 2014)

### 2.3 Uso de residuos fibroso de palma africana

El residuo fibroso de la palma aceitera se genera después de la extracción de aceite, están inicialmente con un alto porcentaje de humedad (ver figura 6); su recolección se lo realiza de manera manual y se utiliza generalmente como combustible para encender las calderas. (Gamarra, 2016)

## Figura 6

*Proceso de utilización del residuo fibroso la palma aceitera*



*Nota.* La imagen representa el residuo de fibroso de palma africana y su utilización en las calderas. Tomado de (Reinoso, 2014)

En ocasiones el alto contenido de humedad de este residuo ha provocado que la combustión se incompleta provocando gases contaminantes como el óxido de carbono (CO) dañando el medio ambiente y la salud de los operadores. (Gamarra, 2016)

## 2.4 Características físicas y energéticas de la biomasa

Al caracterizar la biomasa nos permite determinar las propiedades físicas y energéticas y con ello identificar el uso eficiente que se le puede dar a la biomasa y así desarrollar tecnologías avanzadas permitiendo su máximo aprovechamiento. Las propiedades pueden clasificarse en físicas, químicas y energéticas. En la tabla 2 se resume las propiedades que se puede caracterizar de la biomasa.

**Tabla 2**

*Propiedades físicas, químicas y energéticas de la biomasa*

<b>Propiedades</b>	<b>Variables</b>
Físicas	Humedad, densidad
Químicas	Componentes estructurales
Energéticas	Poder calorífico

Nota. Esta tabla muestra las propiedades físicas, químicas y energéticas de la biomasa. Tomado de (Reinoso, 2014)

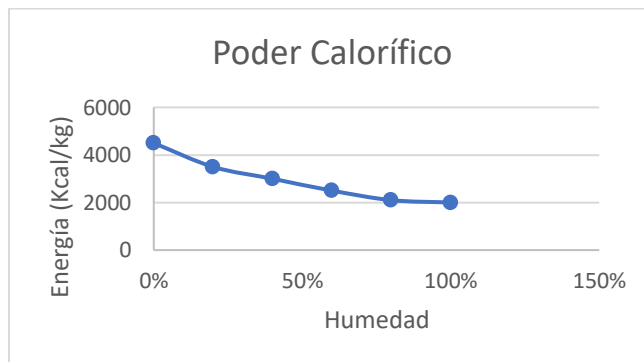
### 2.4.1 Porcentaje de humedad en la biomasa

El porcentaje de humedad contenido en la biomasa es un factor importante al momento de determinar el contenido energético neto. Al estar en un porcentaje de humedad adecuado (biomasa seca) se tiene un mayor poder calorífico (PC), ya que utiliza poca de su energía para evaporar la humedad. En la figura 6 se muestra la

relación entre energía y el contenido de humedad. El aumento de humedad significa menos aprovechamiento energía

### Figura 7

*Energía vs % de humedad*



*Nota.* La imagen representa como la humedad afecta al aprovechamiento de la energía. Tomado de (Reinoso, 2014).

En la ecuación 1 se presenta la fórmula para calcular el porcentaje de humedad

$$\%h = \frac{P_h - P_s}{P_h} \quad (1)$$

Donde

Ph: Es el peso de la muestra húmedo

Ps: Es el peso de la muestra seca

#### 2.4.2 Poder Calorífico

El poder calorífico comúnmente se expresa en dos, el poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). La diferencia se debe al calor de evaporación del agua que se forma a partir del hidrógeno en el material y la humedad, el poder calorífico

es el factor importante para evaluar la calidad del combustible y sus aplicaciones energéticas. (Arévalo, Villamizar, & Valencia, 2019)

El poder calorífico de un material está directamente relacionado con el contenido de humedad que tenga. Si el porcentaje de humedad es elevado disminuye la eficiencia de la combustión ya que gran parte de la energía lo utiliza para la evaporación del agua. (Hamzah, Tokimatsu, & Yoshikawa, 2019)

En la ecuación 2 se presenta la fórmula para calcular el poder calorífico inferior (PCI)

$$PCI = PCS - \frac{\%h}{100} * 560 \quad (2)$$

Donde

PCS: Poder calorífico superior

%h: porcentaje de humedad

### **Capítulo 3**

#### **3.1 Caracterización física del residuo fibroso de palma africana**

##### **3.1.1 Descripción del procesamiento de palma africana**

El procesamiento de la palma africana toma diferentes etapas siendo la recepción del fruto la primera de esta y llegado a su etapa final que es la clarificación, luego del proceso de recepción del fruto este debe pasar al área de pesado que se realiza mediante el uso de una báscula, los frutos una vez pasados son recogidos para que continúen con el proceso de calificación el cual es realizado por un operario de manera visual que a su vez separa el fruto suelto para ser pesado.

### 3.1.2 Análisis de las propiedades físicas del residuo fibroso

#### 3.1.2.1 Residuo fibroso Quevepalma

La empresa Quevepalma nos entregó el residuo fibroso cuyas características se puede evidenciar en la siguiente tabla.

**Tabla 3**

*Características de la biomasa producida en quevepalma*

CARACTERISTICAS DE LA BIOMASA PRODUCIDA EN LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA QUEVEPALMA		
Parámetro	Racimos	Residuo Fibroso
Humedad total %	24.94	37
Cenizas %	8.93	5.55
Materia volátil %	57.19	53.14
Carbono fijo %	8.94	12.56
Azufre total %	0.22	0.24
P. Calorífico, Kcal/kg	1441	3227
Carbono, C %	54.3	58.9
Hidrógeno, H%	18.7	20.15
Nitrógeno, N%	3.8	4.21
Oxígeno, O %	11.02	8.62

Nota. En esta tabla se puede evidencia las diferentes características de la biomasa que se producen en la extractora de aceite QUEVEPALMA.

#### 3.1.2.2 Parámetros de humedad

Para llegar a determinar el poder calorífico se necesita establecer valores apropiados de humedad en el residuo fibroso, la fibra generalmente posee un porcentaje de humedad que va del 12% al 42 %. (Chica, 2015), para realizar briquetas la biomasa tiene que estar en una humedad menor o igual al 20%. (Madrigal & Garbanzo, 2018). Para la presente experimentación se escogió el 20% que se usa para a hacer briquetas, el 37% que es con el que la empresa trabaja y el 28% que es el promedio entre ambas.



### 3.1.2.3 Proceso de secado

Para poder llegar a obtener los parámetros de humedad del 20%, 28% y 37% se utilizó la máquina de secado RADWAG PMC 50 en la que se secaron 45 muestras como se puede apreciar en las siguientes tablas.

**Tabla 4**

*Secado de la fibra al 20% de humedad*

Muestras	%H.Inicial	Temp. Secado °C	%H.Final
1	37	120	20
2	37	120	20
3	37	120	20
4	37	120	20
5	37	120	20
6	37	120	20
7	37	120	20
8	37	120	20
9	37	120	20
10	37	120	20
11	37	120	20
12	37	120	20
13	37	120	20
14	37	120	20
15	37	120	20

**Tabla 5**

*Secado de la fibra al 28% de humedad*

Muestras	%H.Inicial	Temp. Secado °C	%H.Final
1	37	120	28
2	37	120	28
3	37	120	28
4	37	120	28
5	37	120	28
6	37	120	28
7	37	120	28
8	37	120	28
9	37	120	28
10	37	120	28
11	37	120	28
12	37	120	28
13	37	120	28
14	37	120	28
15	37	120	28

**Figura 8**

*Secado de la fibra mediante la radwag pmc 50*



Nota. La imagen presenta como se va secando la fibra y como la temperatura de secando ira aumentado, al igual que el porcentaje de humedad que va perdiendo.

### 3.1.3 Balance de resultados

La determinación del porcentaje de humedad de la biomasa es primordial debido a su influencia en el poder calorífico ya que lo disminuye y en el consumo de combustible ya que lo aumenta. (Paucar, 2019).

Por lo general los residuos agroindustriales tienen un contenido de humedad 50-80%, en una investigación realizada por (Carranza, 2015) obtiene los siguientes parámetros experimentales.

%Humedad	%C	%H	%O	%N	%S
3.7	43.1	4.77	36.71	1.45	0.16
9.72	38.71	5.22	37.93	1.74	0.20

## Capítulo 4

### 4.1 Caracterización energética del residuo fibroso palma africana

#### 4.1.1 Análisis del poder calorífico

El residuo fibroso proveniente de la extracción de aceite de palma africana tiene un porcentaje de humedad que oscila entre el 60 y 75 por ciento por lo que su aprovechamiento energético a ese porcentaje de humedad es mínimo. (Ramírez, Silva, Garzón, & Yáñez, 2011)

El residuo fibroso al ser utilizado como combustible para las calderas de la empresa QUEVEPALMA, debe tener un porcentaje de humedad adecuado para su máximo aprovechamiento, según datos proporcionados por la empresa el residuo fibroso ingresa a las calderas con un porcentaje de humedad del 37 al 40 por ciento, por lo que en la presente experimentación se varió el porcentaje de humedad con los siguientes valores 20%, 28% y 37% y así ver su efecto en el poder calorífico.

Además, el poder calorífico depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su contenido de humedad. Estas características, junto con el bajo contenido en azufre, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente en la empresa QUEVEPALMA.

#### **4.1.2 Secado del residuo fibroso**

El proceso de secado de la biomasa es de suma importancia para su aprovechamiento como combustible, ya que mejora considerablemente la combustión, asimismo evita la degradación del residuo orgánico, facilita su transportación y almacenamiento. (Gallo, Gutierrez, Torres, & Villavicencio, 2018)

#### **4.1.3 Bomba Calorimétrica**

Para obtener el poder calorífico específico de una muestra se utiliza la bomba calorimétrica generalmente de acero inoxidable, para empezar, se necesita obtener la capacidad calorífica del sistema, la masa de muestra y el incremento de temperatura al momento de la combustión dentro de la celda del calorímetro.

Una vez obtenido los datos para la bomba calorimétrica se procede a su respectiva calibración con ácido benzoico que en condiciones estándar tiene un valor calorífico de 26454 J/gr, las mediciones se deben realizar con la norma ASTM 4868-2010, con una sensibilidad del 0.1%, además dicha norma nos indica que este método de prueba es especialmente útil para estimar, utilizando un número mínimo de pruebas. Esta norma no especifica cual es el número mínimo de pruebas, por lo que se investigó en la bibliografía (Quintero, 2017) y se encontró la norma CEN/TS 14778-1:2007 que se presenta como un complemento más actual que la norma ASTM 4868-2010, aquí se especifica entre otros parámetros que el número mínimo de ensayos debe ser mínimo de 17, en el caso del presente proyecto se realizaron tres tomas de 15 ensayos cada una de los cuales se tomó 15 en un primer plano y dos replicas más cumpliendo con el

número mínimo solicitado en lo referente a ensayos, los que luego fueron analizados estadísticamente.

## 4.2 Resultados

En la tabla 6 se presenta las características de ácido benzoico de acuerdo a la experimentación con las muestras a diferentes porcentajes de humedad.

**Tabla 6**

*Características de ácido benzoico*

Ácido Benzoico 1 gr						
<b>Muestras</b>	<b>%Humedad (Fibra)</b>	<b>E. Liberada [J]</b>	<b>T. Inicial [°C]</b>	<b>T. Final [°C]</b>	<b>Elevación de T.[°C]</b>	<b>Cap. Calorífica [J/°C]</b>
<b>1</b>	20	26454	21,03	23,00	1,97	13428,4264
<b>2</b>	28	26454	21,3	23,32	2,02	13096,0396
<b>3</b>	37	26454	21,3	23,45	2,15	12304,1860

A continuación, se presenta un resumen estadístico que se realizó del poder calorífico con la variación del porcentaje de humedad del residuo fibroso de palma africana

<b>Variable Cap. Calorífica</b>	<b>Media (MJ/kg)</b>	<b>Desv. Est. (MJ/kg)</b>	<b>Mínimo (MJ/kg)</b>	<b>Mediana (MJ/kg)</b>	<b>Máximo (MJ/kg)</b>
20% humedad	24,869	0,387	23,634	24,977	25,245
28% humedad	19,155	0,494	18,465	19,120	20,037
37 % humedad	14,978	0,473	14,396	14,888	15,995

En la tabla 7 se muestra los valores obtenidos del poder calorífico con un porcentaje de humedad del 20% para el residuo fibroso.

**Tabla 7**

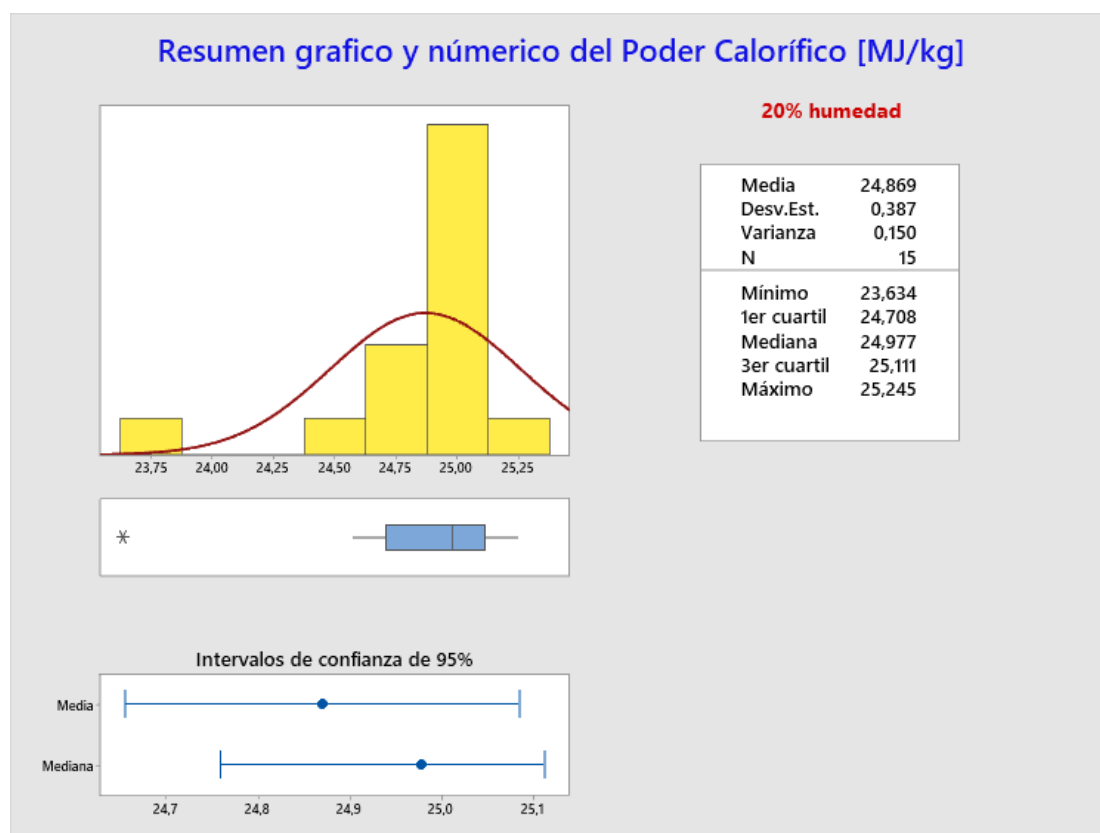
*Resumen del cálculo del poder calorífico para un porcentaje de humedad del 20%*

<b>Muestras</b>	<b>%Humedad (Fibra)</b>	<b>T. Inicial [°C]</b>	<b>T. Final [°C]</b>	<b>Elevación de T.[°C]</b>	<b>Cap. Calorífica [MJ/kg]</b>
1	20	21,35	23,20	1,85	24,843
2	20	21,28	23,15	1,87	25,111
3	20	21,35	23,19	1,84	24,708
4	20	21,36	23,22	1,86	24,977
5	20	21,25	23,12	1,87	25,111
6	20	21,3	23,17	1,87	25,111
7	20	21,37	23,13	1,76	23,634
8	20	21,35	23,21	1,86	24,977
9	20	21,29	23,15	1,86	24,977
10	20	21,25	23,11	1,86	24,977
11	20	21,37	23,21	1,84	24,708
12	20	21,32	23,18	1,86	24,977
13	20	21,26	23,13	1,87	25,111
14	20	21,34	23,17	1,83	24,574
15	20	21,28	23,16	1,88	25,245

En la figura 9 se presenta como los datos calculados del poder calorífico se dispersan según el número de muestra con un porcentaje de humedad del residuo fibroso de palma africana del 20%.

### Figura 9

*Resumen estadístico e histograma de frecuencias del poder calorífico con porcentaje de humedad 20%*



De acuerdo a la figura 10 se tiene una media de 24,869 MJ/kg, con una desviación estándar de 0.389 MJ/kg y una variación del 0.15 lo que permite decir que existe regularidad en los datos calculados del poder calorífico de las muestras.

En la tabla 8 se muestra los valores obtenidos del poder calorífico con un porcentaje de humedad del 28% para el residuo fibroso.

**Tabla 8**

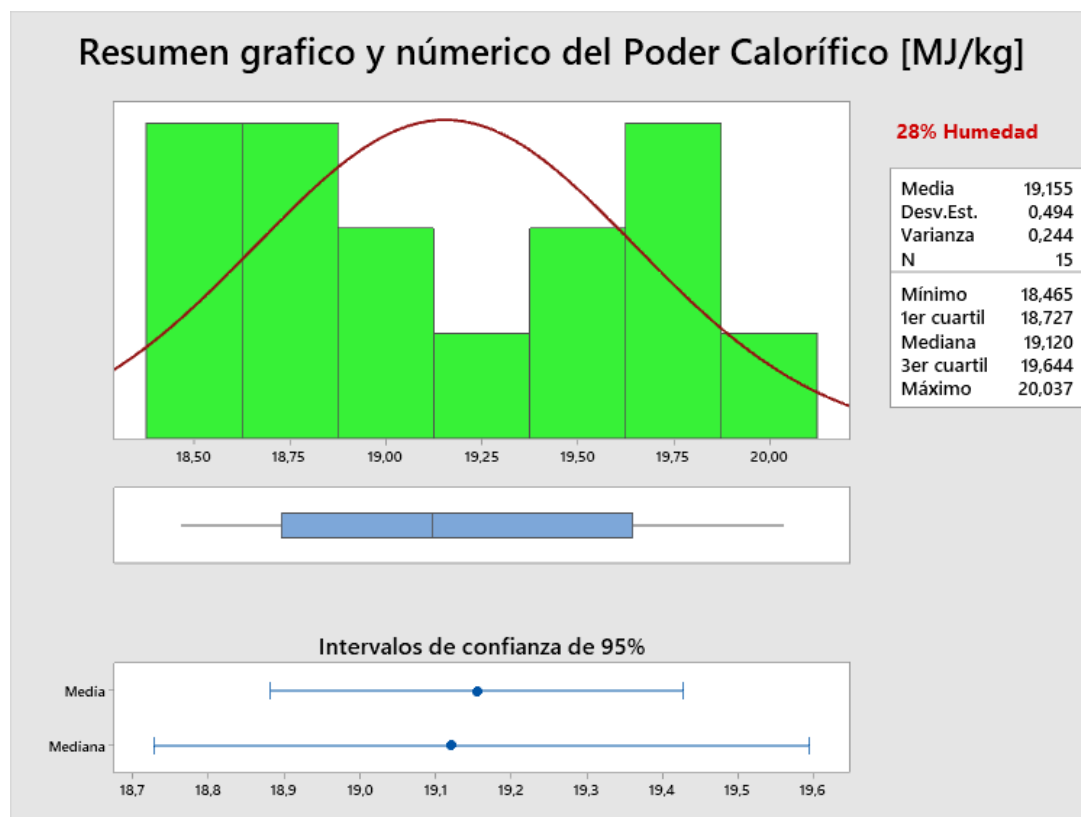
*Resumen del cálculo del poder calorífico para un porcentaje de humedad del 28%*

<b>Muestras</b>	<b>%Humedad (Fibra)</b>	<b>T. Inicial [°C]</b>	<b>T. Final [°C]</b>	<b>Elevación de T.[°C]</b>	<b>Cap. Calorífica [MJ/kg]</b>
1	28	21,04	22,46	1,42	18,596
2	28	21,01	22,45	1,44	18,858
3	28	21,05	22,53	1,48	19,382
4	28	21,04	22,51	1,47	19,251
5	28	21,04	22,57	1,53	20,037
6	28	21,03	22,49	1,46	19,120
7	28	21,01	22,42	1,41	18,465
8	28	21,05	22,56	1,51	19,775
9	28	21,04	22,54	1,50	19,644
10	28	21,02	22,45	1,43	18,727
11	28	21,01	22,43	1,42	18,596
12	28	21,05	22,54	1,49	19,513
13	28	21,03	22,48	1,45	18,989
14	28	21,01	22,44	1,43	18,727
15	28	21,05	22,55	1,50	19,644



**Figura 10**

*Resumen estadístico e histograma de frecuencias del poder calorífico con porcentaje de humedad 28%*



De acuerdo a la figura 10 se tiene una media de 19,155 MJ/kg, con una desviación estándar de 0.494 MJ/kg y una variación del 0.244 lo que permite decir que existe regularidad en los datos calculados del poder calorífico de las muestras.

En la tabla 9 se muestra los valores obtenidos del poder calorífico con un porcentaje de humedad del 37% para el residuo fibroso.

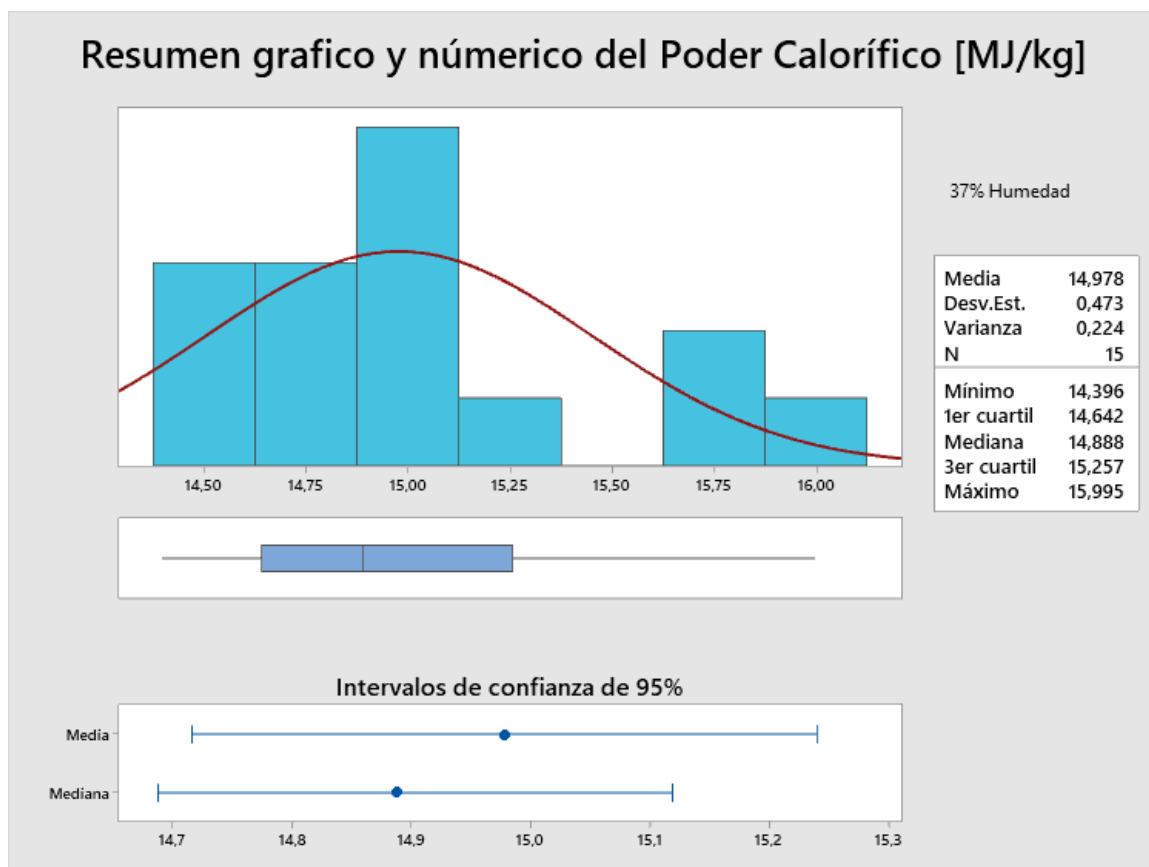
**Tabla 9**

*RESUMEN DEL CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO PARA UN PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL 37%*

<b>Muestras</b>	<b>%Humedad (Fibra)</b>	<b>T. Inicial [°C]</b>	<b>T. Final [°C]</b>	<b>Elevación de T.[°C]</b>	<b>Cap. Calorífica [MJ/kg]</b>
1	37	21,25	22,49	1,24	15,257
2	37	21,18	22,39	1,21	14,888
3	37	21,15	22,35	1,20	14,765
4	37	21,1	22,28	1,18	14,519
5	37	21,24	22,45	1,21	14,888
6	37	21,13	22,41	1,28	15,749
7	37	21,3	22,50	1,20	14,765
8	37	21,26	22,47	1,21	14,888
9	37	21,12	22,39	1,27	15,626
10	37	21,31	22,49	1,18	14,519
11	37	21,24	22,41	1,17	14,396
12	37	21,10	22,40	1,30	15,995
13	37	21,28	22,49	1,21	14,888
14	37	21,21	22,40	1,19	14,642
15	37	21,17	22,38	1,21	14,888

**Figura 11**

Resumen estadístico e histograma de frecuencias del poder calorífico con porcentaje de humedad 37%

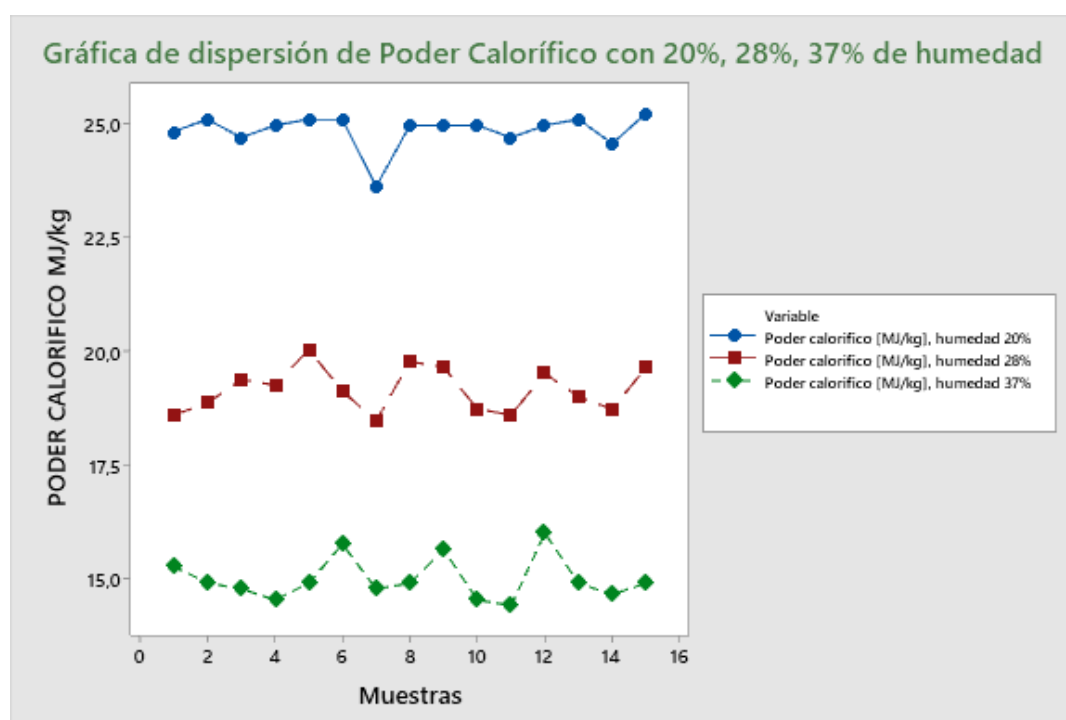


De acuerdo a la figura 11 se tiene una media de 14,978 MJ/kg, con una desviación estándar de 0.473 MJ/kg y una variación del 0.224 lo que permite decir que existe regularidad en los datos calculados del poder calorífico de las muestras.

En la figura 12 se muestra una comparación grafica de los diferentes poderes caloríficos con la variación del porcentaje de humedad 20%, 28% y 37% del residuo con el cual permite decir que con menor porcentaje de humedad se obtiene mejor poder calorífico, es decir la combustión es mejor.

**Figura 12**

*Comparación del poder calorífico con porcentaje de humedad al 20%, 28% y 37% del residuo fibroso de palma africana.*



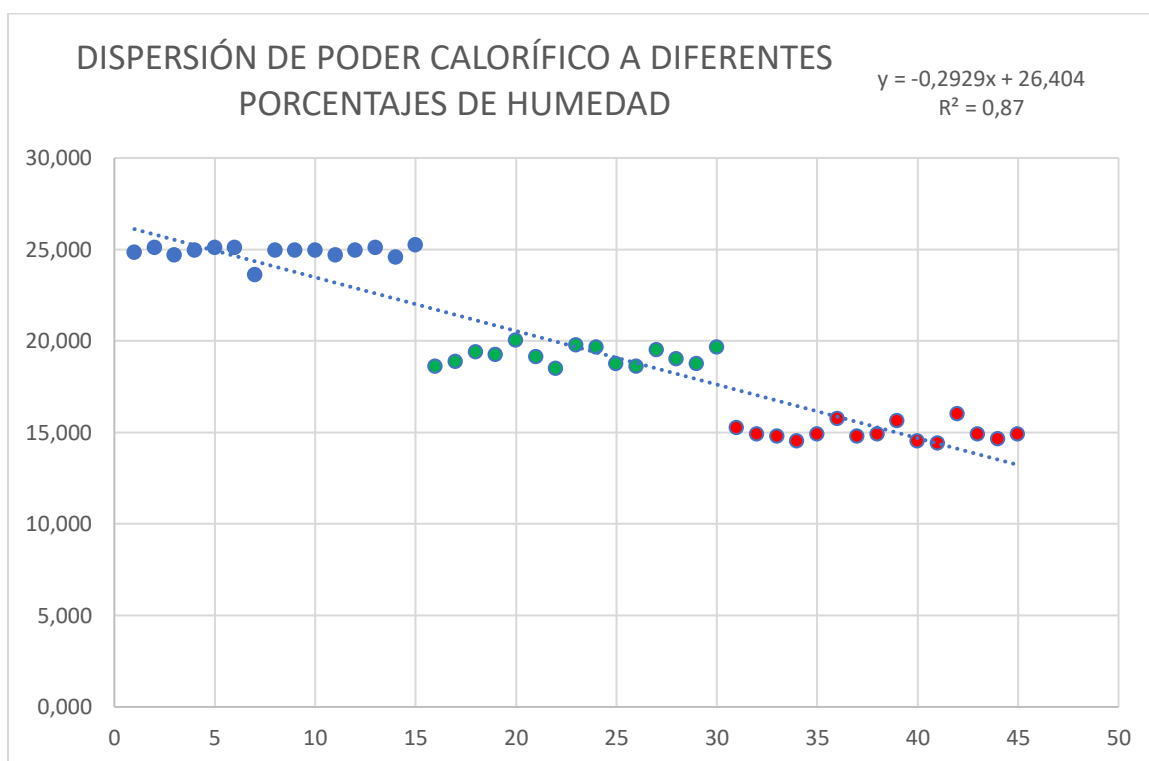
De acuerdo a la figura 12 se pudo determinar que al 20% de humedad del residuo fibroso de palma africana se obtuvo mejores resultados al calcular el poder calorífico, es decir, mientras la muestra se pueda secar más el poder calorífico aumentara siendo una relación directamente proporcional.

#### 4.2.1 Graficas de regresión

En cuanto la gráfica de regresión se presentan a continuación un resumen de la ecuación obtenida por el software estadístico para cada muestra tomada variando el porcentaje de humedad de la misma, tomando en cuenta los siguientes porcentajes de humedad 20%,28% y 37, para ello se utilizó una línea de tendencia lineal.

**Figura 13**

*Grafica de línea ajustada con la ecuación respectiva del poder calorífico al 20%,28% y 37% de humedad del residuo fibroso.*

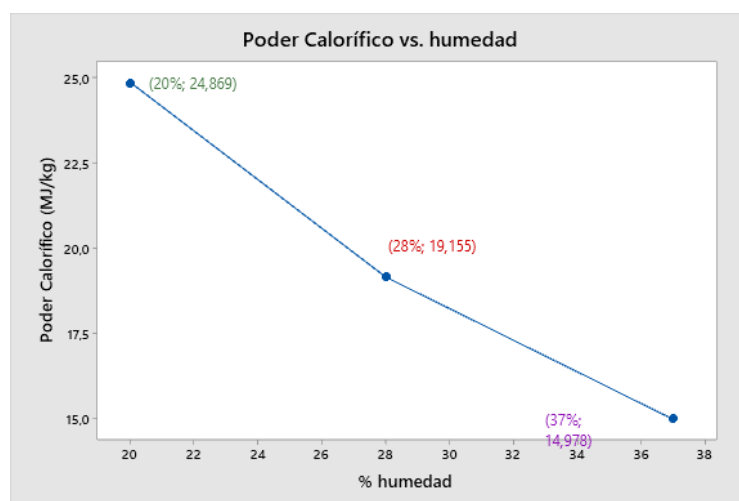


En la figura 13 se demuestró como se dispersan los datos del poder calorífico cuando se varía el porcentaje de humedad de las muestras, denotando con el valor del coeficiente de correlación de 0.87 una relación fuerte entre las variables poder calorífico y el porcentaje de humedad. Es decir, que al variar el porcentaje de humedad varía considerablemente el poder calorífico.

En la figura 14 se presenta la gráfica comparativa entre los diferentes porcentajes de humedad y la variación en el poder calorífico, determinando que a menor cantidad humedad mayor poder calorífico.

**Figura 14**

*Poder calorífico vs % humedad*



#### 4.3 Procedimiento para la obtención del poder calorífico

El respectivo procedimiento para la obtención del poder calorífico mediante el uso de la bomba calorimétrica de marca Gallenkamp se menciona en su capítulo 5 de su respectivo manual.

Se obtiene la capacidad calorífica total del aparato, cuyo punto de partida es establecer el valor calórico del Ácido Benzoico que es de 26454 J/g y teniendo como peso adecuado del Ácido Benzoico quemado el de 1 g la Energía liberada por el Ácido es:

$$\text{Energía Liberada} = \text{valor calorico del Acido} \times \text{el peso del Acido quemado}$$

$$\text{Energía Liberada del Ácido} = 26454 \frac{\text{J}}{\text{g}} \times 1\text{g}$$

$$\text{Energía Liberada del Ácido} = 26454 \text{ J}$$

$$\text{Capacidad Calorífica Total} = \frac{\text{Energía Liberada}}{\text{Elevación de la temperatura } (T_f - T_o)}$$

El cálculo para la obtención del poder calorífico siendo en este caso el Residuo fibroso de la palma áfrica será posible una vez encontrado la Capacidad Calórica Total del aparato.

$$\text{Energía Liberada de la muestra} = \text{Capacidad Calorífica Total} \times (T_{fm} - T_{om})$$

$$\text{Valor calorífico del residuo fibroso} = \frac{\text{Energía Liberada de la muestra}}{\text{Peso de la muestra}}$$

El valor del peso de la muestra al igual que la del Ácido Benzoico será de 1 g siendo estos valores de pesos de gran importancia para la correcta obtención de los valores caloríficos tanto del Ácido Benzoico como el de la muestra.

#### 4.4 Factor de corrección

Para realizar el análisis del factor de corrección en función de la norma establecida, es necesario verificar si el tamaño de la muestra sea  $\geq$  al 5% de la población, en el caso del presente proyecto la norma pide que el número de pruebas corresponda a 17, al realizar 15 pruebas y dos replicas correspondientes con el fin de aportar precisión al experimento además de que incrementan el rango de las condiciones estudiadas en el experimento es decir que se puede tomar como 45 unidades experimentales en este caso. (Melo, 2020), por lo que se estaría cumpliendo con la norma establecida.

Si se toman como 17 la población que es el número mínimo de muestras establecida en la norma y 15 la muestra de la población, que representaría el número de experimentos sin tomar en cuenta las réplicas se tiene que:

$15/17 = 0.88 = 80\%$  por lo tanto es mayor al 5% se puede aplicar la fórmula del factor de corrección de población finita:

$$FPC = \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$$

$$FPC = \sqrt{\frac{17 - 15}{17 - 1}} = \sqrt{\frac{2}{16}} = 0.35$$

El factor de corrección calculado permite analizar que la muestra se encuentra muy cercana a la población dada ya que se acerca a 1 y ayuda a corregir la lectura en función de la norma técnica establecida para el correcto cálculo del poder calorífico. Los cuales varían de acuerdo con el cuadro de medición experimental.

## Capítulo 5

### 5.1 Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- El valor del poder calorífico dependiendo sus porcentajes de humedad siendo estos al 20%, 28% y 37% fueron 25, 245 MJ/kg, 20,037 MJ/kg y 15,995 MJ/kg respectivamente, cuyos valores representan los máximos valores calculados para cada porcentaje de humedad.
- Para que una biomasa sea usada como buen combustible, su porcentaje de humedad debe ser menor o igual al 20% y debido a que la empresa Quevepalma trabaja con el residuo fibroso de la palma africana cuyo porcentaje



de humedad es del 37% se optó por un rango de humedad entre estos dos valores de humedad ya establecidos añadiendo un valor adicional de porcentaje de humedad que es la media entre estos dos valores.

- El poder calorífico De la biomasa (fibra) producida en la empresa Quevepalma es de 13.5 MJ/kg con un porcentaje de humedad Del 37% que al compararlo con nuestro poder calorífico obtenido de 15,995 MJ/kg este es un poco menor y esto se debe que la biomasa (Fibra) que ingresa a los calderos no tiene un porcentaje de humedad uniforme.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda que la empresa disponga de un secado previo de la fibra antes de ingresar a los Calderos, debido a que un porcentaje alto de humedad puede llegar a causar daños en los calderos siendo uno de estos debido por las incrustaciones que se pueden formar.
- Se recomienda que durante el proceso de elaboración de las briquetas hechas de la biomasa estas estén compactadas a una misma presión por lo que usar una máquina de ensayos universales es una gran alternativa.
- El uso correcto de la bomba calorimétrica adiabática es de suma importancia para la correcta toma de datos siendo la presión a la cual debe ser suministrado el oxígeno en la bomba de mínimo de 15 bares
- Debido a que la Empresa no dispone de un sistema de secado que ayude a bajar el porcentaje de humedad de la biomasa se tiene como referencia que al momento de la realización de la experimentación se obtuvo que a una temperatura de 120 grados se secó 1 kg de residuo fibroso en 6 horas en una máquina de secado RADWAG PMC 50 para obtener la fibra al 20 % de humedad, en la experimentación se tuvo un poder calorífico de 15,995 MJ/kg al

37% de humedad y para un 20% de humedad de 25, 245 MJ/kg esto quiere decir que se está perdiendo 10 MJ/kg de energía realizando un cálculo somero se estable que por relación se pierde 2.778 kWh por kg lo cual multiplicado por la biomasa quemada en un día en el proceso productivo nos da una cantidad apreciable de perdida de energía cuyo valor al año haciendo referencia al costo de kWh eléctrico (producido por centrales hidroeléctrica) tranquilamente podría sobrepasar los 60 000 \$ anuales, hay que establecer que el cálculo debe realizarse en función de la biomasa consumida por día y proyectada al número de días de trabajado al año.

- Debido a que la biomasa se la requiere dentro del proceso de una manera inmediata es decir que apenas sale del proceso va directo a los calderos por lo cual se recomienda a la empresa tener pilas de biomasa y se valla teniendo una pila como ahorro la cual se vaya secando y no sea consumida al instante, esto conlleva a que se tenga un almacenamiento y de este almacenamiento se tenga el proceso de secado, cuyo procedimiento se puede realizar mediante la elaboración de tarimas con una cámara en donde ingresen los gases de combustión que salen a una temperatura de 180 grados.

## 6. Referencias bibliográficas

- ANCUPA, A. N. (2011). *Estadísticas de la producción de palma africana en el Ecuador*. Ecuador. Obtenido de <https://www.ancupa.com>
- Angulo, T., & Perero, D. (2019). *La producción de biocombustible de palma africana como una alternativa para la reducción del consumo de combustibles fósiles en el Ecuador en el periodo 2010 – 2017*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Arévalo, A., Villamizar, D., & Valencia, B. (2019). Caracterización fisicoquímica de la biomasa residual obtenida a partir de la palma de aceite (*Eleaenis Guinnensis*) para posibles usos en la elaboración de tableros de partículas. *:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 60-70.
- Bea, D. (02 de Abril de 2020). *Oil Palm Biomass, a Source of Renewable Energy*. Obtenido de <https://www.bpdp.or.id/en/oil-palm-biomass-a-source-of-renewable-energy>
- Boschma, S. (2013). *Valorization of palm oil (mill) residues*. Wageningen: Wageningen UR, Food & Biobased Research.
- Carranza, E. (2015). *Pirólisis de la fibra de palma africana*. Bogota: Universidad de los Andes .
- Chica, C. (2015). *Caracterización del material compuesto Raquis-Cemento*. Bogota D.C.
- Chimá, K. (2013). *DETERMINATION OF CALORIFIC VALUE OF THE AGRO-INDUSTRIAL SOLID WASTE OF OIL PALM AS AN ALTERNATIVE OF RENEWABLE ENERGY*. Bogota: ISSN.
- Dickinson, E., Harrison, M., Parker, M., Donarski, J., Charlton, A., & Nolan., R. (2019). De los desechos a los alimentos: Optimización de la descomposición de los desechos de la palma de aceite para proporcionar sustrato para los insectos cultivados como alimento para animales. 50-62.
- Dungani, R., Aditiawati, P., Aprilia, S., Yuniarti, K., Karliati, T., Suwandhi, I., & Sumardi, I. (2018). Biomaterial de residuos de palma aceitera: propiedades, caracterización y aplicaciones. *Intechopen*.

- Ermawati, D., Wirjodirdjo, B., & Hadi, W. (2019). Disponibilidad de racimos de frutas vacíos como materia prima de biomasa para la sostenibilidad de los productos bioenergéticos. *AIP Conference Proceedings*, 01-05.
- Gallo, N., Gutierrez, E., Torres, G., & Villavicencio, Á. (2018). Caracterización energética del lechuguín y pasto alemán con 100%, 50% y 25% de humedad utilizando la bomba calorimétrica adiabática. *Aporte Santiaguino*, 36-38.
- Galván, G. (28 de Marzo de 2019). *Engimia*. Obtenido de <https://engimia.com/blog/energia-de-la-biomasa-que-es-y-para-que-sirve>
- Gamarra, L. (2016). *Aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) para la elaboración de tableros fibrocemento*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Hamzah, N., Tokimatsu, K., & Yoshikawa, K. (2019). Combustible sólido de residuos de biomasa de palma aceitera y Municipal Sólido Waste por Hydrothermal Treca para la generación de energía eléctrica en Malasia. *Sostenibilidad*, 02-10.
- Khan, S., Paliwal, V., Vikram, V., & Kumar, V. (2015). Biomass as renewable energy. *National Conference on Renewable Energy and Environment*, 301-305.
- Liao, B., Pang, S., & Nazari, L. (2018). Biomass Energy. *Comprehensive Energy Systems*, 770-794.
- Luis, Q. (2017). *Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar*. Colombia.
- Madrigal, Á., & Garbanzo, G. (2018). Uso de residuos agroindustriales en previveros de palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Arecaceae): crecimiento y absorción de nutrimentos. *Cuadernos de Investigación UNED*.
- Melo, O. (2020). *Diseño de experimentos, métodos y aplicaciones*. Bogotá, Colombia.
- Paucar, W. (2019). *Caracterización físico químico del cuesco y fibra obtenidos del procesamiento de palma africana*. Quito: SEK.

- Perea, M., Samerón, E., & Perea, A. (2019). Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 02-06.
- Quintero, L., & Torres, C. (2019). *Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar*. Medellín: USBmed.
- Ramírez, N., Silva, Á., Garzón, E., & Yáñez, E. (2011). *Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite*. Bogota: Centro de Investigación en Palma de Aceite.
- Reinoso, A. (2014). *Mezcla de cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generación eléctrica*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Rivas, F., Moreno, F., Álvaro, G., & Leiva, M. (2017). Incidencia, progresión e intensidad de la Pudrición del Cogollo de *Elaeis guineensis* Jacq. en San Lorenzo, Ecuador. *Centro Agrícola*, 28-35.
- Rodriguez, M. (2000). *Energías Renovables*. Madrid, ESPAÑA: Paraninfo.
- Rojas, L., Piñeros, Y., & Velásquez, M. (2011). *Producción de azúcares fermentables a partir de fibra prensada de palma de aceite pretratada biológicamente por *Pleurotus ostreatus* y *Phanerochaete chrysosporium**. Bucaramanga: ISSN.
- Uche, O., Harrison, I., & Akhator, P. (2015). Calor calorífico de los residuos de aceite de palma para la utilización de energía. *International Journal of Engineering Innovation & Research* , 664-669.
- Vargas, D. (2011). Cogeneración con biomasa de palma de aceite en el sistema eléctrico colombiano: barreras, perspectivas y oportunidades. *PALMAS*, 49-62.
- VELIZ, A. (2018). *Optimización del proceso de extracción de aceite rojo derivado de la palma en la industria extractora quevepalma*. Quevedo.
- Yosselin, V. P. (2018). *Optimización del proceso de extracción de aceite rojo derivado de la palma en la industria extractora quevepalma*. Quevedo, los rios .

**Anexos**

