

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA DE RESIDUOS MADEREROS
DE PINO, TECA Y RAQUIS DE PALMA AFRICANA COMO
COMBUSTIBLE TÉRMICO”**

Realizado por:

**FRANCISCO XAVIER MORÁN
CARRERA**

Director del proyecto:

Rodolfo Jefferson Rubio Aguiar, Msc.

Como requisito para la obtención del título de:

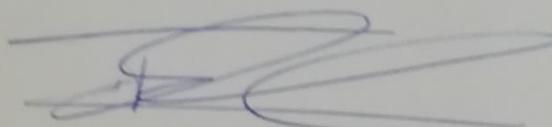
INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 26 de julio de 2017

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, FRANCISCO XAVIER MORÁN CARRERA, con cédula de identidad # 171739352-2, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA Y CÉDULA

1717393522

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA DE RESIDUOS MADEREROS
DE PINO, TECA Y RAQUIS DE PALMA AFRICANA COMO
COMBUSTIBLE TÉRMICO”**

Realizado por:

**FRANCISCO XAVIER MORÁN
CARRERA**

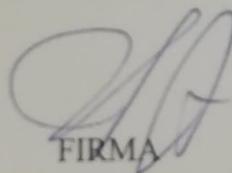
como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUIAR

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

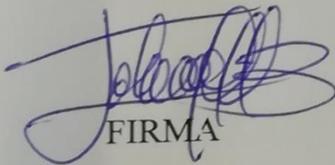
JOHANNA MEDRANO

WALBERTO GALLEGOS

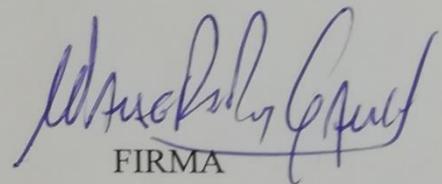
Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral

ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 26 de JULIO de 2017

Resumen

El presente trabajo busca en los residuos sólidos obtenidos de procesos industriales que utilizan madera de pino, teca y raquis de palma, un combustible de biomasa para brindar solución a uno de los problemas ambientales causantes del cambio climático. En el Ecuador la cantidad obtenida de estos tres tipos de residuos madereros, según estudios nacionales, pueden justificar la necesidad de promover el cambio de la matriz energética mediante el uso de biocombustibles. Por esta razón, el objetivo del proyecto es caracterizar la biomasa de residuos madereros de pino, teca y raquis de palma africana como un combustible térmico. Dichos residuos pueden caracterizarse en función de parámetros establecidos y mediante ensayos de peletización, humedad, poder calorífico, diámetro y longitud. Estos resultados se compararon con la norma ISO 17225-2 de biocombustibles sólidos, determinando que el pellet obtenido es apto para su uso en procesos de combustión dentro de calderas a nivel industrial; generando economía circular y evitando el rubro económico, que se requiere en combustibles fósiles, para el calentamiento en procesos industriales que provocan las emisiones de efecto invernadero provenientes de la quema de combustibles fósiles en los calderos.

Palabras clave: Pellets, Biocombustible, Residuos, Biomasa, Pino, Teca, Raquis de Palma

Abstract

The present work looks at the solid waste obtained from industrial processes that use pine, teak and palm rachis as a biomass fuel, to provide a solution to one of the environmental problems that cause climate change. In Ecuador, the amount obtained from these three types of wood waste, according to national studies, may justify the need to promote the change of the energy matrix through the use of biofuels. For this reason, the objective of the project is to characterize the biomass of wood residues of pine, teak and African palm rachis as a thermal fuel. Which can be characterized according to established parameters and by means of pelletisation, humidity, calorific value, diameter and length tests. These results were compared with the ISO 17225-2 standard of solid biofuels, determining that the pellets obtained are suitable for use in industrial combustion processes within boilers. Generating a circular economy and avoiding the economic item, which is required in fossil fuels, for heating in industrial processes and causing emissions in the cauldrons.

Keywords: Pellets, Biofuel, Residues, Biomass, Pine, Teak, Palm Rachis

Introducción

A nivel mundial en el siglo XX, la humanidad se centró en producir energía en gran cantidad y de buena calidad para la producción a máxima escala, sin considerar los problemas ambientales que esto podría generar. Se debe recalcar que sin fuentes energéticas abundantes, no hubiera sido posible mantener el ritmo de crecimiento económico mundial; y por lo tanto alcanzar el grado de calidad de vida actual. Además, debido al uso de fuentes energéticas basadas en combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo); se dieron grandes avances en temas de salud, medicina, comunicación, alimentación entre otros (Pasquevich, 2016).

El consumo desmesurado de los combustibles fósiles ha provocado un considerable aumento del calentamiento global, el cual ha adquirido niveles intolerables (Fernández, 2018). Este panorama ha producido una afectación ambiental que representa una de las consecuencias primordiales del cambio climático (Roa, 2001). Según los consumidores, específicamente los países industrializados, el aumento del uso de estos combustibles se debe a que su manejo y transporte es más viable en comparación a los biocombustibles. Además que su poder calorífico es mucho mayor, al igual que sus procesos de combustión que tienen mayor facilidad y representan un costo bajo en inversión de equipos.

Debido a este uso excesivo de combustibles fósiles, se han generado grandes emisiones de dióxido de carbono (CO_2), desde el año 1960 hasta abril del 2018 ha aumentado de 310 a 410,15 partes por millón (Ramos, 2018). Este gas contribuye al efecto invernadero, tema que hoy en día es de preocupación mundial (Pasquevich, 2016). Por esta razón, el interés en el desarrollo de fuentes de energías alternativas que logren ofrecer beneficios ambientales ha ido en aumento; y por ejemplo, el aprovechamiento de materia orgánica, especialmente de residuos orgánicos, pueden llegar a formar parte de una fuente

importante de energía (Lima, 2013).

Los gases de efecto invernadero (GEI) son compuestos gaseosos de la atmósfera, los cuales pueden ser generados tanto de forma natural como de forma antropogénica. La producción de grandes cantidades de estos gases se debe a actividades humanas, lo que ha generado un aumento gradual de la temperatura en el planeta, debido a que los GEI impiden que los rayos de sol salgan de la Tierra (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007).

El aumento mundial de las emisiones de CO₂ y el metano (CH₄) desde el año 2000 hasta el 2014 están representados por una media mundial de 36.138.285 kilotonnes (kt) para el CO₂, lo cual representa un 47% de incremento de dióxido de carbono desde el año 2000, mientras que para el CH₄ presenta una media mundial de 8.014.066,562 kt, el cual posee un aumento del 18%. Actualmente, en el Ecuador el porcentaje de incremento del CO₂ es alto con un valor igual al 112% desde el año 2000 hasta el 2014 y con un porcentaje de 22,84 % para la emisión del CH₄ (BIRF-AIF, 2018).

Debido al aumento de los niveles de CO₂ y otros GEI en la atmósfera, se han investigado nuevas fuentes energéticas limpias y renovables. Por esta razón entre el 2004 y el 2012, se incrementó la inversión en energías renovables, la cual pasó de 20 a 160 billones de dólares en total a nivel mundial, lo cual representa aproximadamente un crecimiento del 87,5% (Sierra, Guerrero, & Forero, 2012).

Se debe mencionar que en la actualidad, solo el 10 % de las energías mundiales se obtienen de procesos biológicos de conversión energética, siendo el 90 % de la energía mundial proveniente de la combustión de productos fósiles. Se puede añadir además que la demanda en el año 2016 en cuanto a su consumo subió un 1,6 %, teniendo así un consumo de 1,5 millones de barriles de diésel por día, que representa a $2,19 \times 10^{12}$ kilocalorías (Fernández, 2018).

El diésel es el combustible empleado mayoritariamente en el sector industrial ecuatoriana; el mismo que podría ser reemplazado por biomasa peletizada, presenta costos aproximados de 274 millones galones anuales que representado en kilocalorías tiene un valor de $8,36 \times 10^{15}$; por esta razón, su reemplazo generaría efectos positivos como el ahorro para las industrias y el Estado al reducir la dependencia de combustibles fósiles; evitando así una mayor contaminación ambiental, debido al contenido de azufre que genera emisiones de H_2S (MIPRO, 2015).

En los últimos diez años, en Europa y América del Norte se ha desarrollado un mercado de consumo de biocombustibles amparado principalmente por políticas gubernamentales, dando una estrategia de liberación ante las fuentes de energías tradicionales y al equilibrio del medio ambiente (Tojes, 2015). En países latinoamericanos como Chile, Colombia, Guatemala y en países europeos como España; se han generado estudios sobre la pre-factibilidad económica y los diferentes tipos de producción de biocombustibles sólidos de alta densidad, promoviendo así el interés para su utilización como bioenergía (Martín, 1995).

El estudio realizado por Peláez y Espinoza (2015), describe tanto el estado como las perspectivas de las fuentes energéticas renovables y las necesidades y eficiencia energética en el Ecuador. Este estudio incluye información de los diferentes recursos energéticos y tecnologías de aprovechamiento donde se visualizó que en el año 2016, la mayor parte de la energía eléctrica procede de las ocho centrales hidroeléctricas más importantes de abastecimiento para el país (Galindo et al., 2015).

No obstante, las fuentes de energías tradicionales que posee el país no son suficientes para cubrir las demandas de energía térmica en la industria y la de combustibles en el sector de transporte (INER, 2015). Este panorama ha provocado que los biocombustibles a partir del uso de biomasa para la generación de energía térmica

para el sector industrial, sea una alternativa muy atractiva para el Ecuador. Es por eso que instituciones como la Corporación para la Investigación Energética (CIE) y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), consideran que los pellets de biomasa maderera son una alternativa viable para su uso como combustible en el proceso de combustión en calderas de producción de vapor (Arroyo & Reina, 2016).

La biomasa engloba las diferentes materias primas compuestas de grupos hidrocarbonados no fósiles enriquecidas en componentes como polisacáridos y lignina. Gracias a la estructura de estos polímeros, la biomasa es adecuada para la generación de bioenergía. En la actualidad, la combustión de estas fuentes principales de energía renovable contribuye con casi 10,1% del suministro total de energía mundial, generando oportunidades para el desarrollo social y económico en las naciones (Lima, 2013).

La biomasa de los sistemas agrícolas y forestales como material originado de los diferentes procesos productivos, pueden ser utilizadas para la fabricación de biocombustibles, por su alto poder calorífico (Moreno, Martín, & Alarcón, 2011). Sin embargo, actualmente en el Ecuador estos residuos no son aprovechados para su uso en energía (Moreno et al., 2011). De acuerdo con el análisis hecho dentro del Atlas Bioenergético del Ecuador, la cantidad de residuos generados anualmente es de 206.519 toneladas por año lo que representa una posible productividad energética de 1.065,07 kWh/t, a partir de residuos provenientes de especies como pino radiata y plantaciones de teca (MEER, 2014).

En cuanto al raquis de palma africana, una de sus características es su rápida cosecha entre 8 a 15 días dentro de un proceso continuo, y para obtener frutos el tiempo promedio está dentro de 2 y 3 años, produciendo así un total de 2.649.051 toneladas al año de residuo, obteniendo poder calorífico inferior de 16,404 Tj/kg y capacidad energética de alrededor de 706,80 kWh/t, el cual podría ser una alternativa para su uso

como combustible térmico (MEER, 2014).

Los pellets se obtienen de la reconversión de los principales desperdicios de la industria maderera, el aserrín y la viruta. Se consideran fuente de energía renovable ya que la quema de este tipo de biocombustible, no provoca un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero e incluso las disminuye, ya que reemplaza las fuentes de energía contaminantes que tienen un origen fósil. Además en la quema de biomasa maderera se produce un proceso de carbono neutro ya que libera la misma cantidad de CO₂ absorbida durante su crecimiento. Este tipo de productos constituyen un producto renovable y una alternativa de valor a los desechos madereros que se obtienen en la industria, mediante el uso del proceso de peletización (Sierra et al., 2012).

La peletización es un proceso de compactación del residuo orgánico a determinadas condiciones para lograr la obtención de cilindros con un diámetro entre 6 y 12 milímetros y con una longitud entre 3,15 mm a 40,0 mm según la norma UNE EN ISO 17225-2. Se realiza la compactación debido que este proceso facilita la manipulación, el transporte y además aumenta el poder energético por unidad de volumen. Está comprendido por diferentes procesos básicos dentro de los cuales se encuentran: secado de la materia prima, el granulado, el peletizado y finalmente el embalaje del producto (Tojes, 2015).

El proceso de secado depende de las condiciones iniciales de los residuos, si los residuos que consisten de virutas y aserrín se encuentran ya en estado seco, no necesitan secarse. Sin embargo, si se usa uno de estos residuos en estado húmedo, este debe entrar al proceso de secado previo a ser granulado. El secado se puede realizar por diferentes sistemas y el punto más importante para tener en cuenta es su costo (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

La reducción es necesaria para alcanzar el tamaño de partícula del pellet que se desea producir, usualmente se utiliza en este proceso un molino de martillo y se busca conseguir un material lo más uniformemente posible. El tamaño recomendado de partícula suele ser de 2,4 cm (González, Talero, & Garcia, 2014).

Finalmente, se obtiene un pellet para su comercialización como combustible térmico, que tenga las propiedades necesarias para su uso en calderas de vapor, estas características están regularizadas en las diferentes normativas internacionales como la PNE-EN/ISO 17225-2, la cual incorpora las especificaciones necesarias sobre los biocombustibles sólidos para su uso en calderas de vapor (ISO, 2014).

Por esta razón, el objetivo principal de este proyecto es caracterizar un combustible sólido de madera (pellet) mediante el proceso de peletización utilizando diferentes residuos madereros para su uso en equipos de combustión atmosférica. Este proceso se apoyará en el levantamiento de información de la cantidad de residuos de pallets generados en el sector industrial del Distrito Metropolitano Quito mediante llamadas directas o uso de correo electrónico a empresas para estimar la energía que se podría obtener, mientras que para la teca y el raquis de palma los datos para investigar su posible uso como biocombustible parte de la obtención de la cantidad de residuos. Los cuales están expuestos en el atlas energético del Ecuador. Además analizar las propiedades físicas de los residuos madereros mediante ensayos normalizados para controlar la calidad del pellet para su uso apropiado como combustible.

Metodología

El proyecto se realizó en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK en el campus de Carcelén y contará con el apoyo del Laboratorio de Biomasa del Instituto Nacional de Energías Renovables (INER) ubicado en Carapungo, para la respectiva peletización.

Para hacer una estimación de la cantidad de residuos madereros generados en el Distrito Metropolitano de Quito se realizó una encuesta (anexo C.1). La muestra de estudio para obtener la cantidad de empresas a encuestar se obtuvo mediante la utilización de la fórmula muestral. Es así que partiendo de una población $N=152$ empresas y usando un nivel de confianza (Z) del 1,65; una probabilidad de éxito (p) del 90%, un margen de error (q) del 10% y una precisión del 6%, nos da una muestra representativa total de 47 empresas a encuestar. La encuesta tiene como objetivo dar información de la cantidad anual generada de los residuos de pallets dentro de las industrias como residuo de pino y su disposición final. Esta información ayudará a conocer la cantidad de pallets para el proceso de peletización y la energía que se podría obtener.

El proyecto nace de la gestión de tres principales residuos madereros:

- Residuos de madera de pino, la cual tiene como lugar de producción las provincias de Imbabura, Cotopaxi y Pichincha, que se obtienen principalmente de los pallets que ya no son usados para el transporte de materiales dentro de las empresas, ya que este residuo actualmente no tiene una adecuada gestión terminando así con su uso dentro de la fabricación de casas de perros, muebles eco amigables y también como su uso para productos aglomerados (Aruna, Laarman, Araman, Coulter, & Cubbage, 1997).
- Residuos de madera de teca, con una cantidad aproximada de 103.259 toneladas al año de este tipo de residuo maderero. Obtenidos de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, esta madera se la tratará para el peletizado debido a la gran cantidad de residuo existente.
- El raquis de palma africana, se la produce principalmente en Sucumbíos, que proviene del desecho que se genera de la extracción de aceite de empresas procesadoras de palma africana, esto se lo trata debido a que tiene una alta

generación de residuos y por el momento no se ha encontrado una manera viable para su reutilización más allá de su uso para el compost.

Los ensayos que se realizaron durante la fabricación de los pellets, tendrán como principal método de validación la realización por triplicado. Para obtener el número necesario de repeticiones se utilizó la distribución de probabilidad normal de Gauss de la siguiente manera:

Donde se consideró un Intervalo de Confianza (IC) igual a 95%, un Nivel de Significancia (NS) igual al 5% y un error estimado del 25% y utilizando la fórmula:

$$n = \frac{z^2 * P * Q}{e^2}$$

Ecuación 1. Determinación de Repeticiones para Validación de Datos.

Donde:

P = probabilidad de éxito (0,95=95%)

Q = probabilidad de fracaso (0,05=5%)

z = variable aleatoria de la distribución normal dependiendo del NC
(95%=z=1,96)

e = error estimado (25%=0,25)

Por lo que reemplazando se obtiene el siguiente resultado

$$n = \frac{(1,96)^2 * (0,95) * (0,05)}{(0,25)^2} = 2,919$$

Finalmente la metodología de la investigación se ha dividido por tema, de la siguiente manera:

1. Selección y Caracterización de residuos madereros de pino, teca y raquis de palma africana.

La selección de los residuos madereros se realizó de acuerdo a las siguientes

características:

1.1. Tamaño de los residuos sólidos

El tamaño de los residuos madereros dependió de cómo se obtienen los residuos después de terminar el proceso de destrucción del producto de primera generación para el pino, teca y raquis, se las trituro del tamaño de aserrín (1-10 mm), virutas gruesas (1-12 mm) y el raquis de la palma, respectivamente.

1.2. Humedad de la materia prima

La humedad con la que se recibió los residuos fue con la que los mismos salieron del proceso industrial que cada uno tiene dependiendo su uso y determinando el contenido de humedad como se observa en la figura 1 mediante la metodología explicada en Standard Methods.

1.3. Tipo de madera de los residuos

El tipo de madera se seleccionó por la cantidad de producto generado en las diferentes zonas industriales como las actividades logísticas, plantaciones de teca y palmicultoras que manejan estos tipos de madera, además de su posible generación energética, respectivamente.

2. *Peletización de residuos madereros en el INER*

Se realizó la peletización de los residuos madereros en las instalaciones del INER específicamente dentro de su peletizadora de laboratorio siguiendo la norma ISO 17225-2. Para el ensayo de peletización se necesitó conocer algunas de las características principales necesarias para la peletización de los residuos donde se determinó las siguientes:

- ***Presión de Peletización***

La presión necesaria según (Garcia, 2015), para la peletización de la madera de pino es de 153,1 MPa.

Partiendo de esto, se hizo pruebas a criterio con el pino con una desviación de presión de ± 10 MPa obtenida de revisión bibliográfica (Li & Liu, 2000). Así generando una primera muestra de pino de 143,1 MPa, la segunda muestra con la presión bibliográfica de 153,1 MPa y finalmente la tercera con una presión de 163,1 MPa.

Para el pellet de teca se realizó la prueba con una presión de 153,1 MPa ya que se observó que la presión mencionada funcionaría para el tipo de madera de la cual está estructurada la teca.

Finalmente para el residuo del raquis de palma africana se realizaron tres pruebas, partiendo y considerando de las revisiones bibliográficas hechas para el raquis de palma africana, la presión ejercida fue de 153,1 MPa.

- ***Longitud final deseada basado en normativa ISO***

La longitud para los pelles, está basada en la Tabla 2 dentro de la columna I3 que hace referencia a la caracterización de biocombustibles sólidos de residuos de madera de la normativa ISO 17225-2, la cual norma una longitud entre 3,15 y 40 mm para poder ser usado y comercializado como combustible normado.

- ***Diámetro final basado en normativa ISO***

La normativa ISO 17225-2 de combustibles sólidos refiere que el biocombustible sólido puede tener cuatro diferentes diámetros D06, D08, D10 y D12 la cual permite un diámetro de 6 ± 1 , 8 ± 1 , 10 ± 1 y 12 ± 1 mm respectivamente.

Dentro de este tipo de peletización se obtuvo cinco pellets por cada tipo de madera ya que la peletizadora de laboratorio del INER, tiene establecido la obtención de esta cantidad de pellets.

3. *Ensayos de calidad Normativa ISO 17225-2*

De acuerdo a la tabla (2) del esquema de certificación de calidad para pellets de madera ISO 17225 de la categoría I3 (anexo Tabla A.1) que trata de pellets a partir de Productos o Residuos, los ensayos por triplicado que se realizaron son los indicados a continuación:

3.1. **Ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK**

- **Humedad**

Para la determinación del contenido de humedad de los residuos madereros objeto de estudio. Se realizó el método descrito en (APHA, 2012), el cual explica, que se introduce el crisol vacío por 2 horas dentro de la estufa a 105 °C, luego se introduce en el desecador por 10 minutos, paso siguiente se pesa y se anota el valor obtenido, se tara y se agrega la muestra de residuos madereros y se deja en la estufa por 24 horas, posteriormente se introduce al desecador por 10 minutos y finalmente se pesa y se utiliza la siguiente fórmula para determinar el porcentaje.

$$\frac{(\text{Peso Crisol} + \text{Muestra Humedad}) - (\text{Peso Crisol} + \text{Muestra Seca})}{(\text{Peso Crisol} + \text{Muestra Humeda})} * 100$$

Ecuación 2. Determinación porcentaje de humedad

- **Poder Calorífico Neto**

El objetivo principal de este procedimiento es combustionar el pellet utilizando la bomba calorimétrica mediante la metodología expuesta en el manual de la bomba calorimétrica Parr. Donde se debe tomar en cuenta que al realizar este procedimiento se obtiene la cuantificación del poder calorífico superior, ya que la muestra analizada posee nulas o mínimas cantidades de humedad usando la metodología propuesta en el manual de la bomba calorimétrica de la marca Parr

Instruments Company. Finalmente para cuantificar el poder calórico inferior se debe utilizar la siguiente ecuación planteada por (Sakurai, 2010).

$$PCI = PCS - \frac{W}{100} * 600$$

Ecuación 3. Determinación del poder calórico inferior.

Donde:

PCS = Poder calórico superior (cal/g)

PCI = Poder calórico inferior (cal/g)

W = % Humedad

Es necesario determinar la constante de la bomba calorimétrica antes de analizar el poder calorífico neto de las muestras, debido a que la constante puede variar por diferencias en su fabricación. Para lograr la validación de la metodología y de los datos se procesó una muestra de ácido benzoico de masa 1 gramo mediante el conocimiento del poder calorífico de esta sustancia estándar. A esta constante se la conoce como “W” y la ecuación para determinar esta constante es la siguiente (PARR INSTRUMENT COMPANY, 2008):

$$W = \frac{Hm + e1 + e3}{t}$$

Ecuación 4. Determinación de la constante de la bomba calorimétrica.

Donde:

W = Constante (cal / °C)

H=Calor de combustión de la muestra estándar de ácido benzoico (cal/g)

m = masa de la muestra estándar (g)

e1= corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico

e3= corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición

t= aumento de temperatura (°C)

- **Determinación del contenido de ácido nítrico y azufre dentro de la bomba calorimétrica.**

Con el resultado del lavado del condensado en la cámara de reacción se hace la determinación, ya que la generación de dichas sustancias pueden alterar la validez de los datos obtenidos, por lo tanto es necesario realizar una corrección al resultado obtenido de Poder Calorífico Superior. Para ello, se colocaron tres gotas de anaranjado de metilo sobre el lavado, esta sustancia permitirá observar un cambio de color al momento de titular con Na₂CO₃ al 5% en peso. Con el volumen consumido de Na₂CO₃ se realizarán los cálculos siguientes (ecuación 7).

En cuanto a la determinación de azufre se colocó gota a gota la solución de sulfuro de bario al 5 % en peso hasta observar un precipitado de color blanco. Luego se filtra el precipitado en papel filtro y luego se seca por 24 horas y se usa para determinar el contenido de azufre en las muestras la siguiente formula.

$$\text{Azufre (\%)} = \frac{\text{Wt. BaSO}_4 * 13,734}{\text{Wt. Muestra}}$$

Ecuación 5. Determinación del porcentaje de Azufre

Donde:

Wt. BaSO₄ = Peso neto del sulfato de bario (g)

Wt. Muestra =Peso inicial de la muestra (g)

- **Aumento de Temperatura (t)**

El aumento de temperatura se calculó mediante la fórmula dada por el manual de la bomba calorimétrica Parr Instrument Company.

$$t = tc - ta - r1(b - a) - r2(c - b)$$

Ecuación 6. Cálculo del aumento de Temperatura

Donde:

t = aumento de temperatura (°C)

a = tiempo del encendido (min)

b = tiempo en el que la temperatura alcanza el 60% del aumento total (min)

c = tiempo en el que la temperatura se vuelve constante (min)

ta = temperatura al momento de encendido (°C)

tc = temperatura en el tiempo c (°C)

r1 = velocidad (°C/minutos) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos antes del encendido

r2 = velocidad (°C/minutos) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos después del tiempo c.

Obteniendo el valor de “t” que será reemplazada en la ecuación 7 para conseguir el poder calorífico superior.

- **Calor bruto de combustión**

El calor de combustión está dividido en tres etapas diferentes. Las dos primeras etapas se calculan por las distintas variables como la combustión del pellet, cable, generación de ácido nítrico y azufre, y se reemplaza en la siguiente formula.

$$x \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}} \right) = \frac{tw - e1 - e2 - e3}{m}$$

Ecuación 7. Cálculo del PCS

Donde:

PCS = Poder Calorífico Superior

t = aumento de temperatura (°C)

W = Constante (cal/°C)

m = masa de la muestra (g)

e1= corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico

e2= corrección en calorías para el calor de formación del ácido sulfúrico

e3 = corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición.

- **Longitud y Diámetro**

Para esta prueba se realizó mediante la medición con un micrómetro digital el tamaño promedio de las muestras de los pellets. Igualmente para el ensayo de medición de diámetro se lo realizó mediante el uso de un micrómetro digital para poder determinar el diámetro de las muestras de los pellets.

4. Estadísticas de los datos

El análisis de datos se realizó mediante el siguiente método estadístico:

- Estadística descriptiva: ya que se quiere obtener datos específicos dentro de los grupos como la media, mediana y desviación estándar. El objetivo de utilizar esta estadística es para poder validar los datos y que sean más cercanos a la realidad de los combustibles sólidos.

Resultados

1. Porcentaje de humedad de los residuos madereros de pino, teca y raquis de palma africana.

En la figura 1 podemos observar el porcentaje de humedad para el pino, teca y raquis de palma que presentan un porcentaje de humedad promedio de 7,99%; 22,22 % y 55,98% respectivamente de los cuales dos de ellos, la teca y el raquis de palma africana, superan el límite permisible de 10% para humedad que la norma ISO 17225-2 rige.

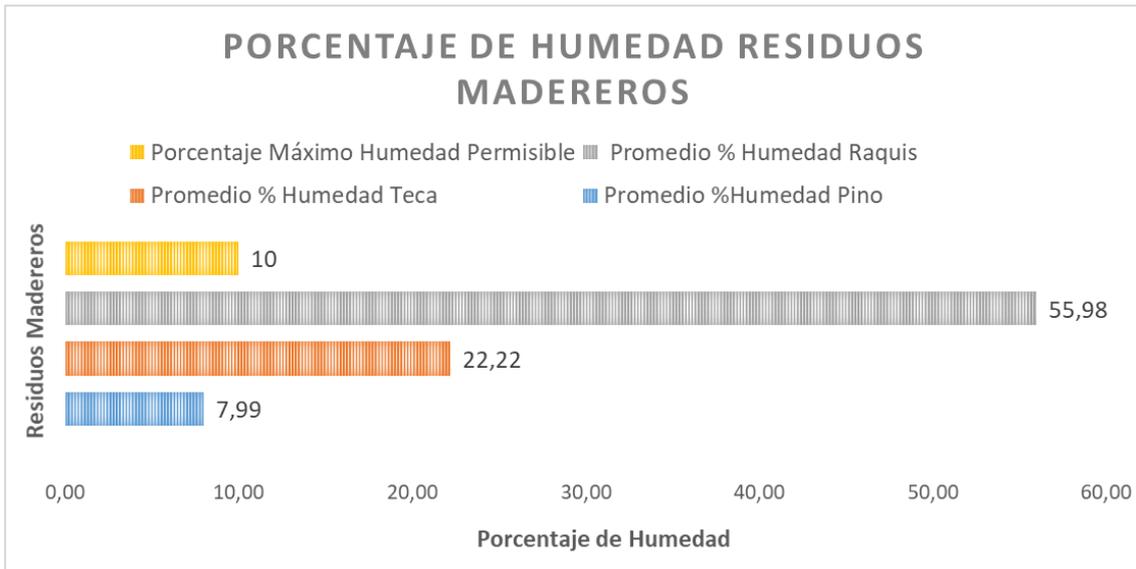


Figura 1. Porcentaje de humedad de los residuos madereros.

2. Curvas de Secado de Teca y Raquis de Palma Africana

- **Curvas de Secado del Raquis de Palma**

La figura 2 presenta las diferentes curvas de secado realizadas para la muestra 1, muestra 2 y la muestra 3 del raquis de palma africana, consiguiendo una disminución de 83,72% de humedad en un tiempo de 28 horas, cumpliendo con el 10 % de humedad necesaria para el proceso de peletización según la norma ISO 17225-2.

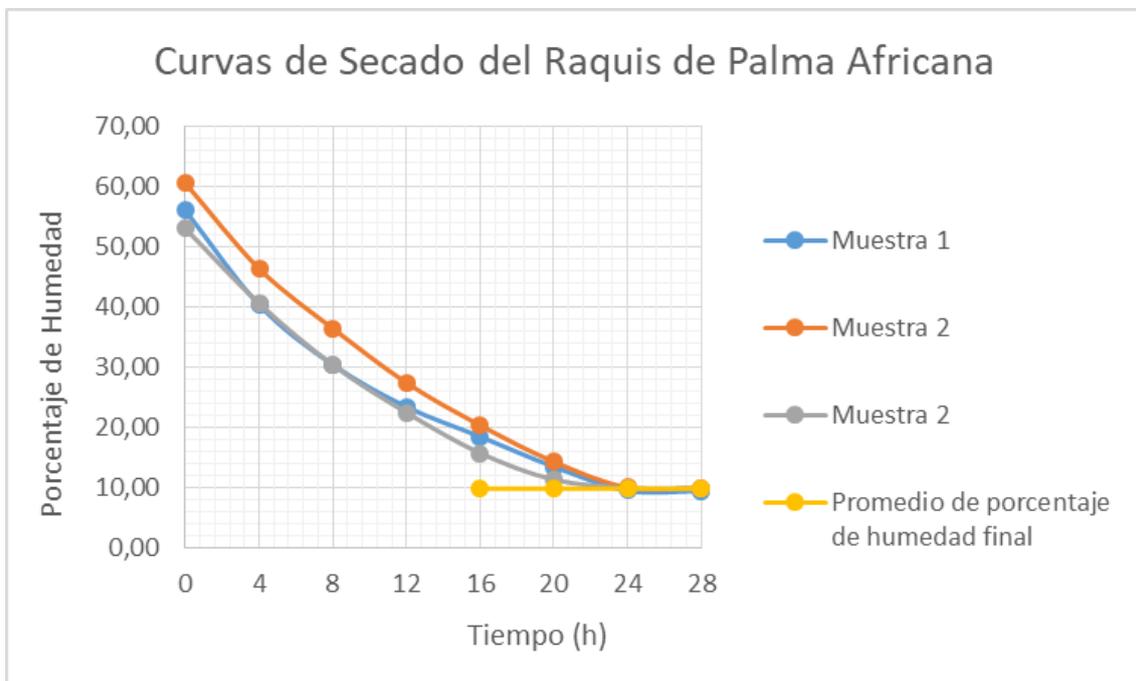


Figura 2. Curvas de Secado del Raquis de Palma Africana

- **Curvas de Secado de Teca**

La figura 3 presenta las diferentes curvas de secado realizadas para las muestras 1, 2 y 3 las cuales finalizan el proceso de secado con un promedio de 9,44 % de humedad que representa una disminución del 57,52 % desde su valor inicial, así logrando cumplir con una humedad del 10%, en un periodo de tiempo de 2 horas, declarado en la normativa ISO 17225-2 para peletización.

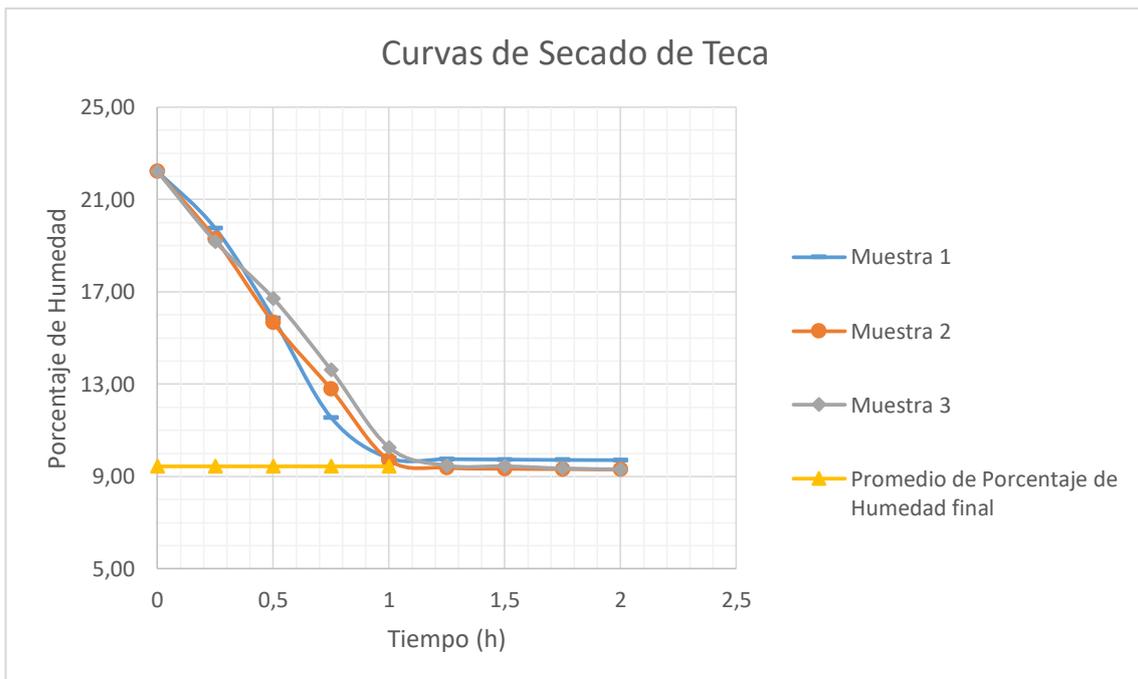


Figura 3. Curvas de Secado del Raquis de Palma Africana

3. Diámetro y longitud de los pellets

- **Diámetro de Pellets**

En la figura 4 se observa los diferentes diámetros que se obtuvieron en las muestras, donde se midió utilizando un calibrador digital, dando como resultado del diámetro de los pellets con valores de 13 milímetros, 14 milímetros y 13 milímetros, cuyo promedio final es de 13,33 milímetros de diámetro.

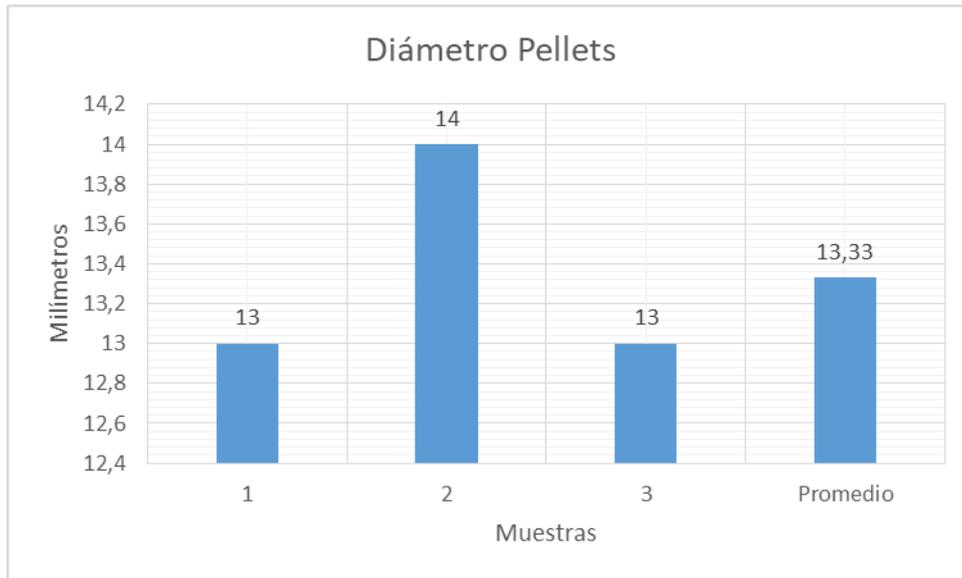


Figura 4. Diámetro de Pellets

- **Longitud de Pellets**

La longitud mostrada en la figura 5 se obtuvo según la medición utilizando un calibrador digital, en donde, las tres diferentes muestras dieron los siguientes valores 9 milímetros, 9 milímetros y 10 milímetros, respectivamente. Por consiguiente el resultado final dio un promedio de 9,33 milímetros de largo.

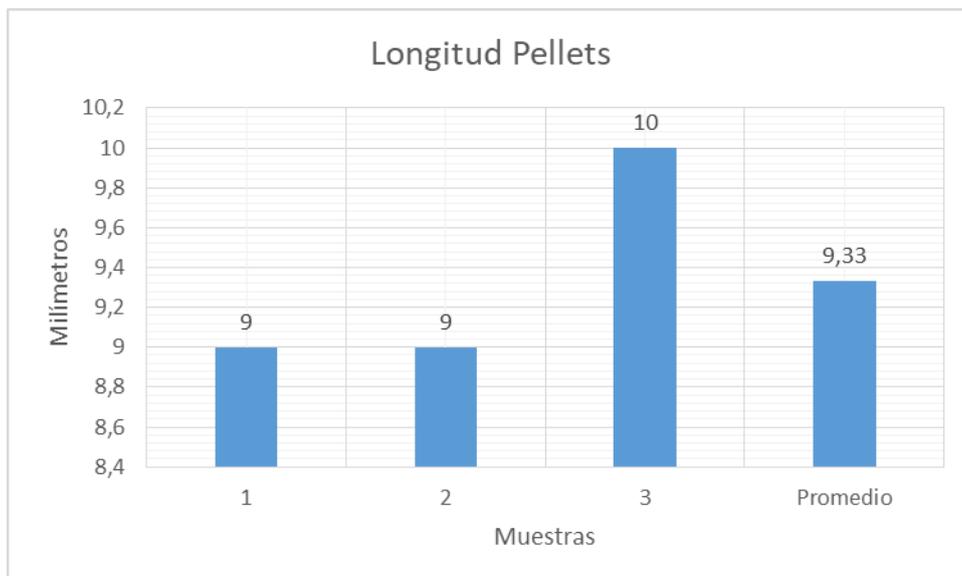


Figura 5. Longitud de Pellets

4. Valores de Calibración de la Bomba Calorimétrica

Como se puede ver en la figura 6 se presenta una curva que aumenta de temperatura desde los 21,5°C hasta los 23,77°C y se mantiene constante hasta disminuir la temperatura al finalizar el ensayo de la obtención de la constante de la bomba calorimétrica. Así en la Tabla 2 podemos ver las constantes obtenidas en la muestra 1, muestra 2 y muestra 3 con valores de 2986,54; 2732,31; 2738,08 en unidades de $\frac{cal}{^{\circ}C}$ respectivamente, las cuales se consiguieron utilizando la fórmula para la obtención de la constante y finalmente se tuvo un valor de 2818,98 $\frac{cal}{^{\circ}C}$.

Tabla 1. Promedio de las Constantes de la Bomba Calorimétrica en cal/°C

Promedio Constante Bomba	
$W = \frac{H * m + e_1 + e_3}{t}$	
W muestra 1	2986,54
W muestra 2	2732,31
W muestra 3	2738,08
WT	2818,98

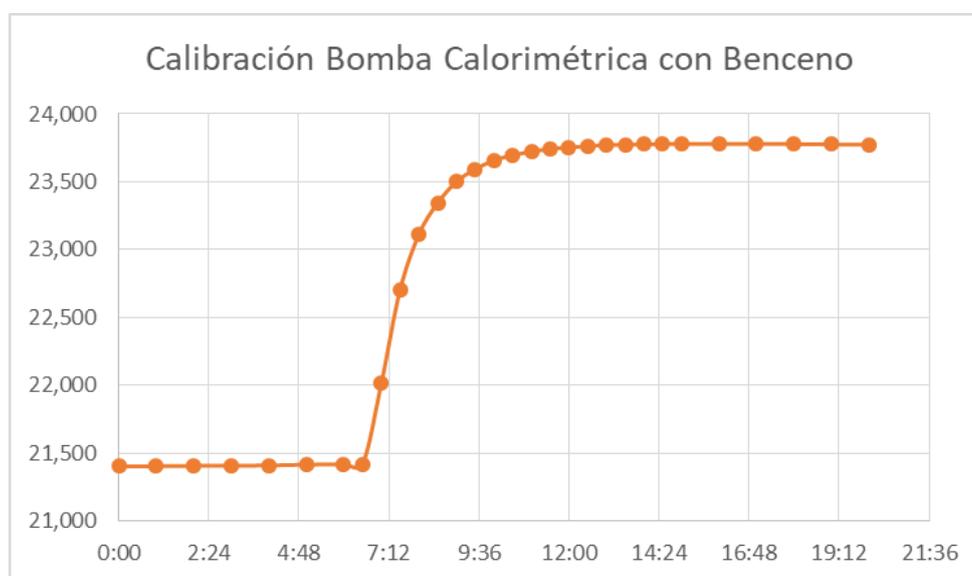


Figura 6. Curva de Aumento de Temperatura (°C) de Calibración de la Bomba Calorimétrica.

5. Poder Calorífico del Residuo Maderero de Pino

- **Pino de 143,1 MPa**

Las curvas presentadas en la figura 7, presentan comportamiento constante así reflejando curvas similares para el aumento obtenido dentro de las pruebas con la bomba calorimétrica, utilizando la ecuación 7 podemos obtener el poder calorífico superior promedio de $5191,97 \frac{kcal}{kg}$ y utilizando la ecuación 4 se obtiene el poder calorífico inferior mediante el porcentaje de humedad de pino presentada en el gráfico 1, obteniendo un promedio del poder calorífico inferior de $5144,03 \frac{kcal}{kg}$.

Tabla 2. Promedio Poder Calorífico Superior e Inferior de Pino 143,1 MPa.

Poder Calorífico Superior Promedio	
PCS1	5136,72
PCS2	5151,63
PCS3	5287,55
PCST	5191,97
$PCI = PCS - \frac{W}{100} * 600$	
Poder Calorífico Inferior Promedio	
PCI1	5088,78
PCI2	5103,69
PCI3	5239,61
PCIT	5144,03

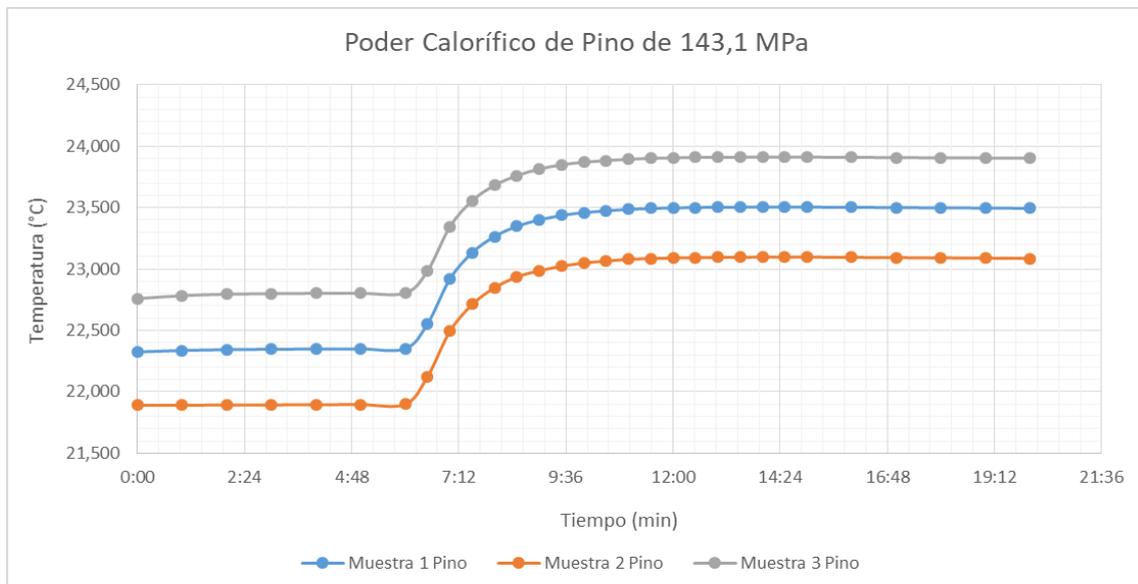


Figura 7. Curva de Aumento de Temperatura Bomba Calorimétrica de Pino 143,1 MPa.

- **Pino de 153,1 MPa**

Las curvas presentadas en la figura 8 tienden a tener una constante de crecimiento similar, por esta razón en la Tabla 4 podemos observar que se obtiene un promedio de las muestras 1, 2 y 3 con valor de $5177,22 \frac{kcal}{kg}$ como poder calorífico superior y para el poder calorífico inferior obtenemos un valor promedio de las muestras 1, 2 y 3 de $5169,23 \frac{kcal}{kg}$ para el residuo maderero de pino de 153,1 MPa.

Tabla 3. Promedio Poder Calorífico Superior e Inferior de Pino 153,1 MPa.

Poder Calorífico Superior Promedio	
PCS1	5221,89
PCS2	5191,93
PCS3	5117,85
PCST	5177,22
$PCI = PCS - \frac{W}{100} * 600$	
Poder Calorífico Inferior Promedio	
PCI1	5213,90
PCI2	5183,94
PCI3	5109,86
PCIT	5169,23

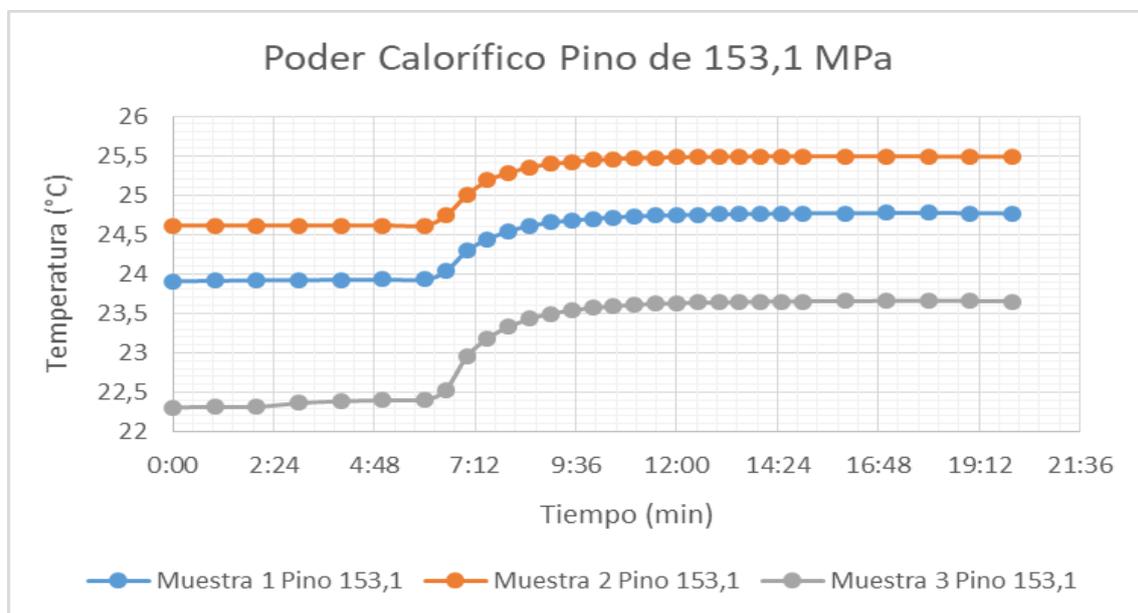


Figura 8. Curva de Aumento de Temperatura Bomba Calorimétrica de Pino 153,1 MPa.

- **Pino de 163,1 MPa**

Para las curvas de aumento de temperatura se las obtuvieron con un crecimiento constante y similar, donde la curva con temperaturas menores comienzan en 23,68°C y llegan hasta temperaturas en la curva mayor de 25,37°C. En la tabla 5 se presentan valores promedios para el poder calorífico superior de $5137,72 \frac{kcal}{kg}$ y para los valores del poder calorífico inferior se obtiene un promedio de $5129,73 \frac{kcal}{kg}$.

Tabla 4. Promedio Poder Calorífico Superior e Inferior de Pino 163,1 MPa.

Poder Calorífico Superior Promedio	
PCS1	5326,04
PCS2	5128,59
PCS3	4958,51
PCST	5137,72
$PCI = PCS - \frac{W}{100} * 600$	
Poder Calorífico Inferior Promedio	
PCI1	5318,05
PCI2	5120,60
PCI3	4950,52
PCIT	5129,73

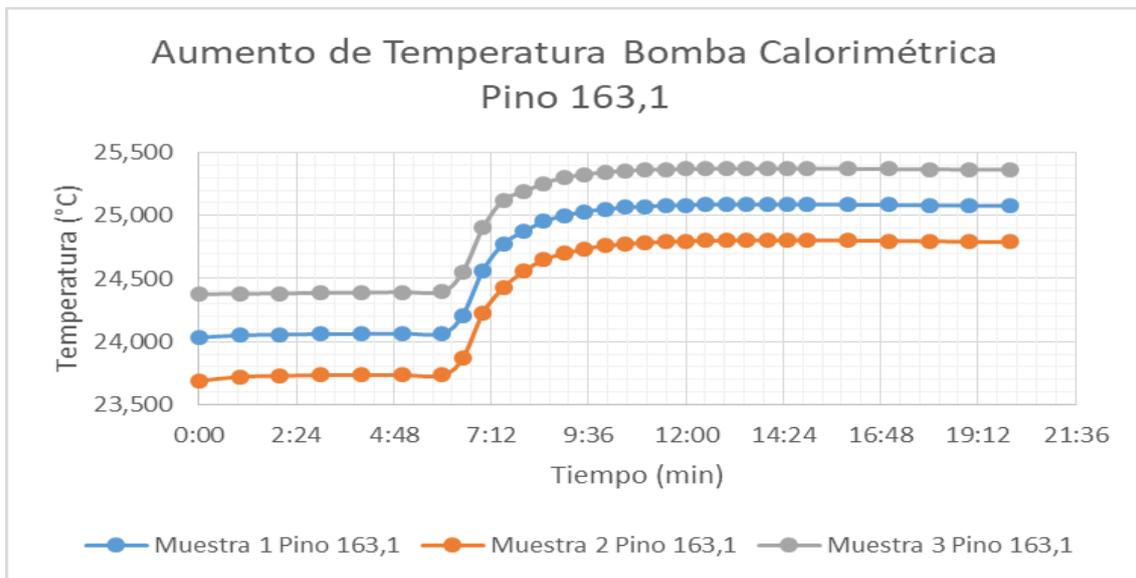


Figura 9. Curva de Aumento de Temperatura Bomba Calorimétrica de Pino 163,1 MPa.

6. Poder Calorífico del Residuo Maderero de Teca

Las curvas para el aumento de temperatura dentro de la bomba calorimétrica son constantes y similares como se presentan en la figura 10, dado a esto se obtienen los datos de la tabla 6 para el poder calorífico superior con un valor de $4521,18 \frac{kcal}{kg}$ y un valor de poder calorífico inferior de $4498,96 \frac{kcal}{kg}$.

Tabla 5. Promedio Poder Calorífico Superior e Inferior de Teca.

Poder Calorífico Superior Promedio	
PCS1	4368,59
PCS2	4445,71
PCS3	4749,25
PCST	4521,18
$PCI = PCS - \frac{W}{100} * 600$	
Poder Calorífico Inferior Promedio	
PCI1	4346,37
PCI2	4423,49
PCI3	4727,03
PCIT	4498,96

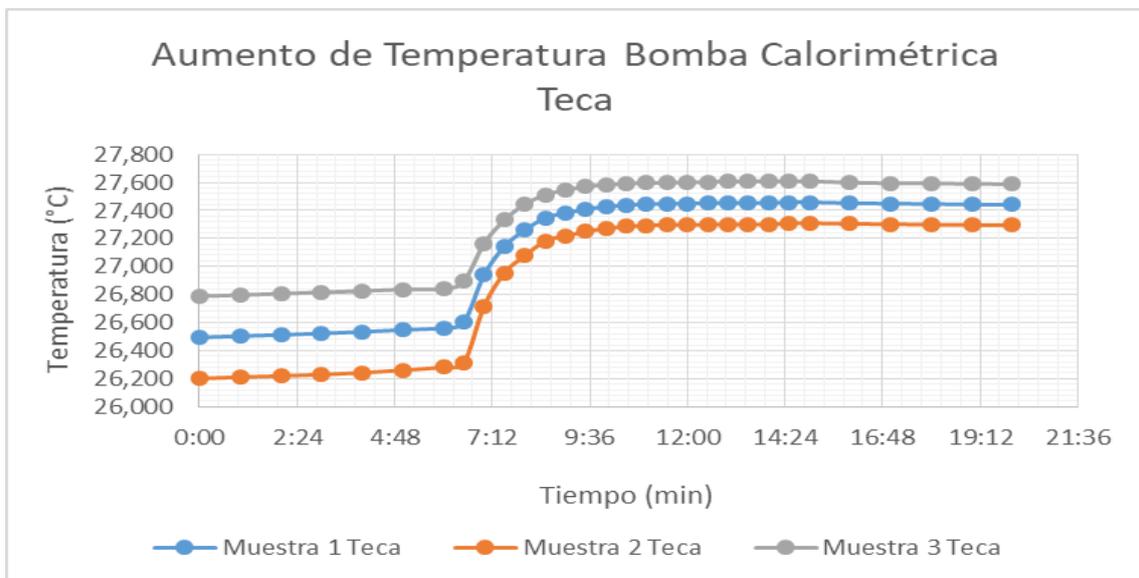


Figura 10. Curva de Aumento de Temperatura Bomba Calorimétrica de Teca.

7. Poder Calorífico del Residuo Maderero de Raquis de Palma Africana.

Las curvas se encuentran constantes en la figura 11, debido a que en la Tabla 7 los valores para las muestras 1, 2 y 3 tienen valores cercanos dando como promedio para el poder calorífico superior un valor de $4728,09 \frac{kcal}{kg}$ y un poder calorífico inferior con un valor promedio de $4718,32 \frac{kcal}{kg}$ para el PCI.

Tabla 6. Promedio Poder Calorífico Superior e Inferior de Raquis de Palma Africana.

Poder Calorífico Superior Promedio	
PCS1	4780,51
PCS2	4609,56
PCS3	4794,21
PCST	4728,09
$PCI = PCS - \frac{W}{100} * 600$	
Poder Calorífico Inferior Promedio	
PCI1	4770,74
PCI2	4599,79
PCI3	4784,44
PCIT	4718,32

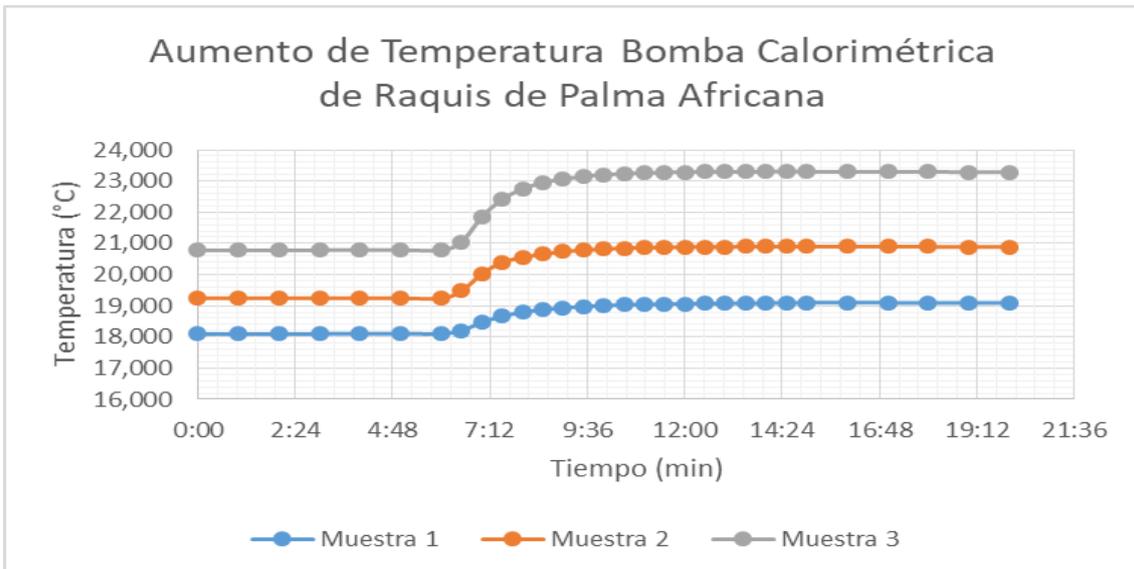


Figura 11. Curva de Aumento de Temperatura Bomba Calorimétrica de Raquis de Palma Africana.

8. Residuos Madereros Generados en el Distrito Metropolitano de Quito

El gráfico 12 nos da el resultado que se ha obtenido tras realizar encuestas a 47 empresas de una población de 152, de las cuales se consiguió tener una cantidad de 1559,70 toneladas de pallets anuales como residuo maderero de pino, así realizando la conversión de la cantidad de residuos madereros a la cantidad de energía obtenida está nos puede brindar alrededor de $8,07 \times 10^9$ kilocalorías. Y si lo escalamos al total de 152 empresas dentro del DMQ se obtendría un aproximado de 5044,14 toneladas anuales de residuos madereros de pallets que transformando a energía sería un valor de $2,61 \times 10^{10}$ kilocalorías.

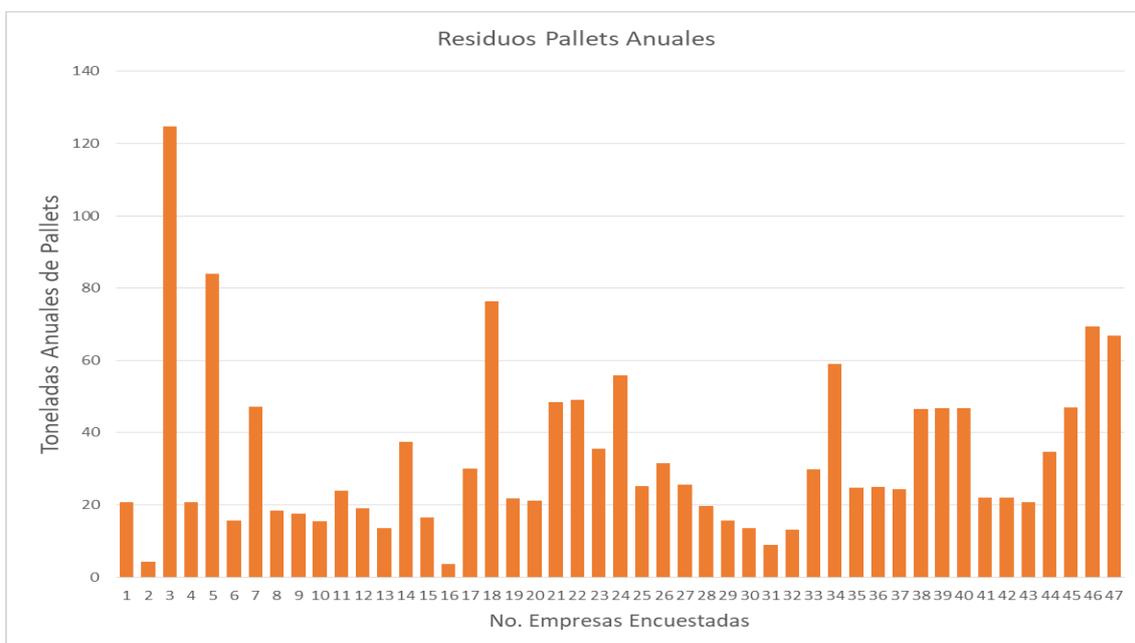


Figura 12. Residuos de Pallets Generados Anualmente

Discusión

Los residuos madereros obtenidos de pino, si cumplen con la normativa ISO 17225-2 en cuanto al porcentaje de humedad, en donde se refiere que el máximo permisible que es 10%; por lo que el resultado de pino de 7,99 % está dentro del límite máximo. En cuanto a la teca, está no cumple con la normativa ya que tiene un 22,22% de humedad, siendo este mayor al máximo permisible por la normativa. Finalmente, el residuo del

raquis de palma africana, al igual que la teca no cumple con la normativa en cuanto al porcentaje ya que está por encima del máximo permisible con un valor de 55,89% en cuanto a humedad. Debido a esto, se realizaron las curvas de secado para la teca durante 2 horas y el raquis de palma africana por 28 horas, llegando a reducir su porcentaje de humedad a 9,44 % y 9,77%; respectivamente, cumpliendo con el valor establecido en la norma.

En cuanto a longitud y diámetro de los pellets obtenidos de los tres residuos madereros, la longitud en las tres muestras de los pellets, todos ellos cumplen con la normativa ISO 17225-2, que establece un valor entre 3,15 y 40 milímetros, por lo cual los pellets presentan un valor promedio de 9,33 milímetros y de esta manera cumplen la norma. Para el diámetro de los pellets, están por debajo de la normativa necesaria, ya que en la normativa ISO 17225-2 se explica que los pellets deben cumplir con un diámetro de 12 ± 1 mm; sin embargo, los pellets obtenidos poseen diámetro de 13,33 milímetros, no cumpliendo con los valores de norma.

Los poderes caloríficos de los residuos de pino, teca y raquis de palma, presentan valores promedios para el poder calorífico superior de 5137,72; 4521,18 y 4728,09 $\frac{kcal}{kg}$; respectivamente para cada residuo maderero. Por esta razón, el poder calorífico necesario para entrar dentro de la norma en cuanto a este parámetro es de 3943,6 $\frac{kcal}{kg}$, lo que representa que los residuos cumplen satisfactoriamente.

Conclusiones

Los diferentes residuos madereros de pino, teca y raquis de palma africana fueron caracterizados mediante los parámetros de poder calorífico neto, humedad, longitud y diámetro establecidos en la categoría I3 de la tabla 2 para uso industrial dentro de la normativa ISO 17225-2. Se concluye que los ensayos realizados a los pellets ratifican que estos son aptos en parámetros de humedad, poder calorífico y longitud a excepción

del diámetro para su uso como un combustible térmico.

De acuerdo al levantamiento de información de los residuos generados en el Distrito Metropolitano de Quito, se afirma que puede obtenerse energía con un valor de $2,61 \times 10^{10}$ kilocalorías, que es menor al valor energético que actualmente consume el sector industrial ($8,36 \times 10^{15}$ kilocalorías). Sin embargo, podría representar un consumo menor de diésel y un beneficio económico para las empresas y el ambiente.

Finalmente, las características físicas del pellet han cumplido con los parámetros de la normativa ISO 17225-2 realizados; sin embargo, se requiere realizar ajustes para que el diámetro de pellet entre dentro de especificación.

Bibliografía

- APHA, 2012. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Water Works Association/American Public Works Association/Water Environment Federation.
- Arroyo, J. S., & Reina, W. S. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor, 20–29.
- Aruna, P. ., Laarman, J. G., Araman, P., Coulter, E., & Cubbage, F. (1997). Used Pallets as a source of pellet fuel: current industry status.
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. *Ideam*, 1–102.
<https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- BIRF-AIF. (2018). *Datos*. Obtenido de Emisiones de CO2 (kt):
https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?name_desc=false
- Fernández, M. (24 de Marzo de 2018). *El Boletín*. Recuperado el 20 de Junio de 2018, de Los combustibles fósiles acaparan el 80% de la demanda mundial pese al tirón renovable: <https://www.elboletin.com/noticia/160911/economia/los-combustibles-fosiles-acaparan-el-80-de-la-demanda-mundial-pese-al-tiron-renovable.html>
- Galindo, J., Ultreras, R., Planitzer, C., Segarra, P., Förster, P., Urgilés, G., ... Endara, I. (2015). *Valoración Económica del Aporte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas a la Nueva Matriz Energética del Ecuador: Sector Hidroeléctrico*.
- García, L. (2015). Densificación y torrefacción de biomasa de chumbera, 125.
- González, A., Talero, G., & García, C. (2014). Estudio de planta piloto para peletización de residuos madereros y su utilización como combustible en hornos ladrilleros. *Revista Tecnura*, 18(40), 62–70.

- <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a05>
- INER. (2015). Biomasa - INER. *CEUR Workshop Proceedings*, 1542(9), 10.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ISO. (2014). *ISO*. Obtenido de ISO 172252-2:2014:
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17225:-2:ed-1:v1:en>
- Li, Y., & Liu, H. (2000). High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy*, 19(3), 177–186.
[https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00026-X)
- Lima, L. (2013). Evaluación De La Composición Química Y Propiedades Físicas De Madera Y Corteza De Cuatro Coníferas Para La Producción De Bioenergía. *Universidad Autónoma De Nuevo León, Facultad De Ciencias Forestales*, 64.
- Martín, F. M. (1995). Pélets y briquetas. *Revista AITIM 171*, 54–62.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en ingeniería química*.
- MEER. (2014). Atlas Bioenergético del Ecuador, 1–256.
- MIPRO. (Octubre de 2015). *Ministerio de Industrias y Productividad*. Obtenido de Ministerio de Industrias impulsa producción nacional de combustible alternativo: <https://www.industrias.gob.ec/ministerio-de-industrias-impulsa-produccion-nacional-de-combustible-alternativo/>
- Moreno, M., Martín, I., & Alarcón, M. (2011). Pellets from forest waste : A viable alternative fuel in Mexico, 2008–2011.
- PARR INSTRUMENT COMPANY. (2008). Oxygen Bomb Calorimeter. *Combustion*, (204). <https://doi.org/10.1139/cjr30-073>
- Parr. (2008). *Operating Instruction Manual: Oxygen Bomb Calorimeter*. Moline, Illinois: Parr Instrument Company.

- Pasquevich, D. (2016). *La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales*. Buenos Aires, Argentina: AAPC.
- Peláez, M., & Espinoza, J. (2015). *Energías Renovables en el Ecuador: Situación actual, tendencias y perspectivas*. Cuenca, Ecuador.
- Ramos, P. (7 de Mayo de 2018). *El Tiempo*. Recuperado el 3 de Julio de 2018, de Abril 2018, el mes récord en emisiones de CO2: <https://noticias.eltiempo.es/abril-2018-emisiones-de-co2-dioxido-carbono-record-altas/>
- Ribadeneira, J. (2014). *Cuantificación del poder calorífico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador: UISEK.
- Roa, T. (2001). Combustibles Fósiles Y Cambio Climático 1. *CENSAT Agua Viva*, 1–11. Retrieved from https://totumasymaracas.files.wordpress.com/2010/01/combustibles-fosiles-y-cambio-climatico_2001_tatiana.pdf
- Sakurai, K. (2010). *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. CEPIS/OPS.
- Sierra, F. E., Guerrero, C. a, & Forero, C. a. (2012). Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía : Una revisión a los modelos matemáticos del proceso de gasificación . *Iteckne*, 9(1), 21–30.
- Tojes, J. (2015). Caracterización Energética del Densificado de Aserrín como un Biocombustible, Pellet, Utilizando Tres Diferentes Aglutinantes: Arcilla, Almidón y Yeso.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A.1 Parámetros de combustibles sólidos según la norma ISO 17225-2

<u>Property</u>	<u>Standard</u>	<u>I1</u>	<u>I2</u>	<u>I3</u>
Origen y fuente	ISO 17225-1	1.1.3 <u>Stemwood</u> 1.2.1 Madera no tratada químicamente*	1.1 Plantación Forestal y otras maderas vírgenes 1.2.1 Madera no tratada químicamente*	1.1 Plantación Forestal y otras maderas vírgenes 1.2 Por productos y residuos 1.3.1 Madera usada no tratada químicamente
<p>*Los niveles insignificantes de pegamento, grasa y otros aditivos de producción de madera utilizados en aserraderos durante la producción de madera y productos de madera virgen son aceptables si todos los parámetros químicos de los gránulos están claramente dentro de los límites y las concentraciones son demasiado pequeñas para preocuparse.</p>				
Diámetro y Longitud	ISO 17829	D06, 6 ± 1; 3,15 < L < 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L < 40 (1 % <u>longer</u> , <45mm)	D06, 6 ± 1; 3,15 < L < 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L < 40 (1 % <u>longer</u> , <45mm)	D06, 6 ± 1; 3,15 < L < 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L < 40 D10, 10 ± 1; 3,15 < L < 40 D12, 12 ± 1; 3,15 < L < 40 (1 % <u>longer</u> , <45mm)
Humedad (M, w-%)	ISO 18134	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
Ash (A), % d	ISO 18122	A1.0 ≤ 1,0	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0
Densidad Granel (BD, kg/m ³)	ISO 17828	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
Finos (F, w-%)	EN 15210-1	F4.0 ≤ 5.0	F5.0 ≤ 5.0	F6.0 ≤ 6.0
Durabilidad (DU, w-%)	ISO 1783-1	97.5 ≤ DU ≤ 99.0	97.0 ≤ DU ≤ 99.0	96.5 ≤ DU ≤ 99.0
Poder Calorífico (as <u>received</u> , MJ/kg)	ISO 18125	Q16.5 ≥ 16,5	Q16.5 ≥ 16,5	Q16.5 ≥ 16,5
Cl (w-% <u>dry</u>)	ISO 16994	Cl0.03 ≤ 0,03	Cl0.05 ≤ 0,05	Cl0.06 ≤ 0,06
N (w-% <u>dry</u>)	ISO 16948	N0.3 ≤ 0,3	N0.3 ≤ 0,3	N0.6 ≤ 0,6
S (w-% <u>dry</u>)	ISO 16994	S0.05 ≤ 0,05	S0.05 ≤ 0,05	S0.05 ≤ 0,05
As (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Cd (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cr (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 15	≤ 15	≤ 15
Cu (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Pb (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Hg (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
Zn (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 200	≤ 200	≤ 200
P (%)	ISO 17830	>99% (<3.15 mm) >95% (<2.0 mm) >60% (<0.1 mm)	>99% (<3.15 mm) >90% (<2.0 mm) >50% (<0.1 mm)	>97% (<3.15 mm) >85% (<2.0 mm) >40% (<0.1 mm)
Ash melting behaviour*	CEN/TS 153701	<u>Informative, should be stated</u>		

(International Standardization Organization 17225-2, 2013)

ANEXO B

Tabla B.1 Encuestas realizadas sobre cantidad de residuo de Pino

Pallets (und)/Año	Kg/año	Toneladas de Pallets / Año	Empresa	Kg Pallet Americano de Pino
1040	20800	20,8	1	20
208	4160	4,16	2	
6240	124800	124,8	3	
1040	20800	20,8	4	
4200	84000	84	5	
780	15600	15,6	6	
24	480	0,48	7	
920	18400	18,4	8	
396	7920	7,92	9	
384	7680	7,68	10	
1200	24000	24	11	
950	19000	19	12	
350	7000	7	13	
325	6500	6,5	14	
828	16560	16,56	15	
180	3600	3,6	16	
1500	30000	30	17	
3820	76400	76,4	18	
1087	21740	21,74	19	
1054	21080	21,08	20	
2424	48480	48,48	21	
245	4900	4,9	22	
27	540	0,54	23	
2789	55780	55,78	24	
1254	25080	25,08	25	
1578	31560	31,56	26	
1276	25520	25,52	27	
987	19740	19,74	28	
780	15600	15,6	29	
679	13580	13,58	30	
450	9000	9	31	
658	13160	13,16	32	
1493	29860	29,86	33	
2948	58960	58,96	34	
1239	24780	24,78	35	
897	17940	17,94	36	
906	18120	18,12	37	
786	15720	15,72	38	
984	19680	19,68	39	
857	17140	17,14	40	
1100	22000	22	41	
1098	21960	21,96	42	
1037	20740	20,74	43	
1734	34680	34,68	44	
564	11280	11,28	45	
379	7580	7,58	46	
476	9520	9,52	47	
Total	38565	1123420		

ANEXO C

Tabla C.1 Formato de encuestas

Pallets (und)/Año	Kg/año	Toneladas de Pallets / Año	N° de Empresa