

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL CUESCO DE CACAY  
(*Caryodendron Orinocense*)

ANGIE CAROLINA GONZÁLEZ ÁLVAREZ  
CÓDIGO 117003212

LUIS ALEJANDRO RODRÍGUEZ JIMÉNEZ  
CÓDIGO 117003226

DIRECTOR

ING. JAIME LAGUNA CHACÓN

CO-DIRECTOR

ING. LUIS GILBERTO LOPEZ MUÑOZ

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
VILLAVICENCIO-META

2019

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL CUESCO DE CACAY  
(*Caryodendron Orinocense*)

ANGIE CAROLINA GONZÁLEZ ÁLVAREZ  
CÓDIGO 117003212

LUIS ALEJANDRO RODRÍGUEZ JIMÉNEZ  
CÓDIGO 117003226

Trabajo de Grado como requisito para optar por el título de  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Área de profundización  
BIODIVERSIDAD

DIRECTOR

ING. JAIME LAGUNA CHACÓN

CO-DIRECTOR

ING. LUIS GILBERTO LOPEZ MUÑOZ

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
VILLAVICENCIO-META

2019

Los autores autorizan a la Universidad De Los Llanos la reproducción total o parcial de este documento, con la debida cita de reconocimiento de la autoría y cede a la misma universidad los derechos patrimoniales, con fines de investigación, docencia e institucionales, consagrados en el artículo 72 de la ley 23 de 1982 y las normas que lo instituyen o modifiquen.

---

Angie Carolina González Álvarez

117003212

---

Luis Alejandro Rodríguez Jiménez

117003226

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma jurado 1

---

Firma jurado 2

---

Firma Director

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, que con su infinita compañía y apoyo me ha permitido cumplir mis metas en la vida, gracias a él, a las oportunidades y bendiciones que me ha dado he podido crecer como persona.*

*A mi madre y abuelos, quienes son el pilar esencial en la persona que soy y por su incondicional apoyo que se ha mantenido de manera constante a través del tiempo.*

*Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

---

*Angie Carolina González Álvarez*

*En primer lugar, a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por acompañarme en cada paso que doy, por fortalecerme e iluminarme, por haber puesto en mi camino a las personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio y de mi vida.*

*A mis padres y abuelos quienes me han apoyado y acompañado en cada momento de mi vida, a ellos quienes han sido mi soporte, son mi motivo de seguir adelante y de dar lo mejor de mí.*

---

*Luis Alejandro Rodríguez Jiménez*

*De manera común damos gracias también a nuestros directores, jurados y docentes, así como a la Universidad de los Llanos. Así mismo al Laboratorio de Suelos y al Instituto de Acuicultura de los Llanos (IALL) de la Universidad de los Llanos, ya que por su apoyo logramos dar cumplimiento a este trabajo.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
1. INTRODUCCION.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general .....	14
2.2. Objetivos específicos .....	14
3. MARCO TEÓRICO .....	15
3.1. La Biomasa y su aprovechamiento energético.....	15
3.2. Producción de biomasa en Colombia.....	15
3.3. El Cacay ( <i>Caryodendron orinocense</i> ) .....	16
3.4. Poder Calorífico. ....	18
4. METODOLOGÍA .....	23
4.1. Tipo de estudio.....	23
4.2. Diseño experimental y análisis estadístico.....	23
4.3. Obtención de la materia prima y adecuación .....	24
4.4. Molienda y tamizado del cuesco del cacay .....	25
4.5. Secado .....	26
4.6. Determinación del poder calorífico.....	27
5. RESULTADOS .....	30
5.1. Molienda y tamizado del cuesco del Cacay .....	30
5.2. Secado .....	31
5.3. Determinación del poder calorífico superior. ....	32
5.4. Balance total de energía .....	33
5.5. Análisis de varianza .....	33
6. DISCUSION DE RESULTADOS.....	35
6.1. Molienda y tamizado del cuesco del Cacay .....	35
6.2. Secado .....	35
6.3. Poder calorífico y comparación con otras biomásas. ....	36

6.4. Balance energético.....	38
7. CONCLUSIONES .....	39
8. RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA .....	41
ANEXOS .....	46

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fruto del Cacay.....	18
Ilustración 2 Juego de tamices.....	24
Ilustración 3 Secado al sol.....	26
Ilustración 4 Secado al horno.....	26
Ilustración 5 Bomba calorimétrica.....	28
Ilustración 6 Muestras para Bomba calorimétrica.....	28
Ilustración 7 Pesaje de las muestras.....	29
Ilustración 8 Blanco.....	29

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental factorial 2 <sup>2</sup> .....	23
Tabla 2 Juego de tamices.....	24
Tabla 3: Tamaños de partícula.....	25
Tabla 4 Variables.....	27
Tabla 5 Consumo de energía reducción de tamaño.....	31
Tabla 6 Resultados del Tamizaje.....	31
Tabla 7 Consumo de energía proceso de secado.....	32
Tabla 8 Poder calorífico de las muestras analizadas.....	32
Tabla 9 Resultados.....	33
Tabla 10. Balance energético.....	33



## RESUMEN

En el presente proyecto se evaluó el poder calorífico del Cuesco de Cacay (*Caryodendron orinocense*) proveniente del municipio de Villavicencio, determinando el poder calorífico del cuesco de cacay a diferentes muestras que fueron sometidas a dos tipos de secado y llevadas a dos tamaños de partícula. Para esto se recolectaron cuescos de cacay provenientes de una empresa dedicada a la extracción del aceite de su nuez, se les retiraron las impurezas, se molieron y se tamizaron. A continuación, se sometieron a los tipos de secado, unas muestras se expusieron a secado por horno durante 12 horas y a 102°C, y otras muestras se secaron al sol durante dos días con temperaturas cercanas a los 32°C, condiciones naturales de la ciudad de Villavicencio, una vez preparadas las muestras se determinó su poder calorífico por medio de una bomba calorimétrica. Así mismo, se estimó el consumo energético de cada uno de los pretratamientos a los que fueron sometidas las muestras con el fin de establecer un balance energético, determinando así cuales pretratamientos son justificables para optimizar su desempeño energético, teniendo como resultados valores de poder calorífico superiores comprendidos entre los 4189kcal/kg y 4629kcal/kg, con diferencias energéticas significativas entre todos los tratamientos frente al blanco, encontrando que la muestra con mayor tamaño de partícula y secado artificial se presentó como la de mayor diferencia significativa de acuerdo al análisis de las varianzas (ANOVA), sin embargo se determinó que la muestra con mayor tamaño de partícula y secado solar, posee los pretratamientos más eficientes, en cuanto a consumo de energía, indicando que se puede alcanzar un poder calorífico superior al de otras biomásas residuales.

## ABSTRACT

In the present project, the calorific value of the Cacay shell (*Caryodendron orinocense*) from the municipality of Villavicencio was evaluated, determining the calorific power of the Cacay shell to different samples that were put through to two types of drying and taken to two particle sizes. To do this, cacay shell was collected from a company dedicated to the extraction of the oil from its nut; the impurities were removed, ground and sieved. Then, they were dried by two methods, some samples were exposed to drying by oven for 12 hours and at 102 ° C, and other samples were dried in the sun for two days with temperatures close to 32 ° C, natural conditions of the City of Villavicencio, once the samples were prepared, their calorific value was determined by means of a calorimetric pump. Likewise, the energy consumption of each of the pretreatments to which the samples were subjected was estimated in order to establish an energy balance, thus determining which pretreatments are justifiable to optimize their energy performance, having as a result higher calorific value values included between 4189kcal / kg and 4629kcal / kg, with significant energy differences between all the treatments compared to the target, finding that the big size particle and oven drying was presented as having the greatest significant difference according to the analysis of the variances (ANOVA), however, it was determined that the big size particle and sun drying, has the most efficient pretreatments, in terms of energy consumption, indicating that a higher calorific value can be reached than other residual biomass.

## 1. INTRODUCCION

Actualmente, el uso de combustibles tradicionales no renovables ha generado un impacto negativo en el ambiente y a medida que se siguen utilizando de manera indiscriminada provocan un agotamiento de los recursos, esta situación afecta a todos los seres vivos de manera negativa, ya que la obtención de estos combustibles implica el deterioro de los diferentes ecosistemas. Es por esto que durante los últimos años se han investigado fuentes alternativas para la obtención de energía que sean renovables, más económicas, menos contaminantes y que puedan suplir la creciente demanda representada en un aumento poblacional que ve satisfechas sus necesidades energéticas mediante combustibles fósiles cada vez más escasos y altamente contaminantes.

Hoy en día, de acuerdo a Durango y Oquendo<sup>1</sup> el uso de la biomasa como fuente de energía ha demostrado ser una alternativa interesante por ser un recurso renovable, de bajo costo y amigable con el medio ambiente. Una ventaja adicional de la biomasa como sustituto de combustibles fósiles se encuentra en que esta presenta, según Herrera y Camargo<sup>2</sup> un balance neutro en el ciclo del dióxido de carbono, ya que durante el crecimiento de la planta esta absorbe CO<sub>2</sub> y lo transforma en productos como la celulosa y hemicelulosa componentes de la biomasa, por lo tanto mediante la combustión no se introducen cantidades adicionales de CO<sub>2</sub> como si ocurre durante la combustión de los materiales derivados del petróleo y del carbón.

Paralelamente la acumulación de la biomasa resultante de la industrialización de algunos productos se ha transformado en una problemática cada vez más preocupante, debido a que esta también puede generar un impacto negativo en el

---

<sup>1</sup>DURANGO PADILLA, Ricardo; OQUENDO LOPEZ, Jhon. Caracterización y Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de biomasa agroindustrial y carbón mineral del departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba, 2016.

<sup>2</sup>HERRERA PEREZ, María; CAMARGO VARGAS, Gabriel. Evaluación mecánica del producto del proceso de densificación de mezclas de residuos lignocelulósico. Universidad Libre, 2017

equilibrio del medio ambiente y a medida que la demanda de dichos productos aumenta, se produce una mayor cantidad de residuos, que al no ser aprovechados generan problemas tanto higiénico-ambientales como económicos, según Peñaranda *et al*<sup>3</sup> en el caso de Colombia durante el procesamiento de productos como: café, palma de aceite, caña de azúcar y panelera, maíz, arroz, banano y plátano se producen alrededor de 71.943.813 T/año de residuos que en la gran mayoría de los casos son incinerados o llevados a rellenos sanitarios.

El Cacay (*Caryodendron Orinocense*) es un fruto promisorio de la región de la Orinoquia colombiana por las propiedades cosméticas y alimenticias encontradas en su nuez, según el periódico El Tiempo<sup>4</sup>, el departamento del Meta posee cultivos en forma silvestre capaces de generar unas 20.000 toneladas de aceite y cultivos de aproximadamente 57 hectáreas en Puerto Lleras y 120 hectáreas en Puerto Gaitán. Además de reportes publicados por la Cámara de Comercio de Bogotá<sup>5</sup> donde se informa que con la ayuda de ONG's y algunas Gobernaciones, se han distribuido árboles de cacay a diferentes familias permitiendo contar aproximadamente con 200 hectáreas de cultivo y 417 hectáreas que empresas privadas han sembrado en Puerto Gaitán, adicional a estos cultivos en el departamento del Meta, el portal web CONTEXTOGANADERO<sup>6</sup> registra una siembra en el departamento del Vichada de 100 hectáreas, impulsando de esta manera un crecimiento de este cultivo en el cual la densidad promedio es de 100 a 143 árboles por hectárea con un rendimiento cercano a los 250 Kg de fruto por

---

<sup>3</sup> PEÑARANDA GONZALEZ, Laura Victoria; MONTENEGRO GÓMEZ, Sandra Patricia; GIRALDO ABAD, Paula Andrea. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 141 - 150, sep. 2017. ISSN 2145-6453. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2040/2251>. Fecha de acceso: 20 sep. 2018

<sup>4</sup> Redacción EL Tiempo. El promisorio cultivo de cacay en la amazoroquia [en línea]. En: EL TIEMPO. 01 de febrero 2017. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cacay-33229> Fecha de acceso: 20 sep. 2018

<sup>5</sup> El cacay, la nuez de moda que construye paz. [En línea]. En: cámara de comercio de Bogotá. Mayo de 2017. Disponible en: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Cosmeticos/Noticias/2018/Mayo-2018/El-cacay-la-nuez-de-moda-que-construye-paz> Fecha de acceso: 20 sep. 2018

<sup>6</sup> Contexto ganadero. El Cacay Inchi, una alternativa de desarrollo sostenible en Colombia [en línea]. En: Contexto ganadero. 08 de Julio 2013. Disponible en: <http://www.contextoganadero.com/blog/el-cacay-inchi-una-alternativa-de-desarrollo-sostenible-en-colombia> Fecha de acceso: 20 sep. 2018

árbol anual, lo que permite estimar una producción de cuesco por hectárea de 11.666,2 kg por año. De igual manera PROCOLOMBIA<sup>7</sup> reporta demandas de aceite de cacay equivalentes a la producción de 3.900 hectáreas cultivadas, haciendo evidente la acumulación de este tipo de biomasa la cual carece de valor agregado.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación pretende determinar la eficiencia energética del cuesco del cacay y de esta manera dar un valor agregado a este residuo que ocupa aproximadamente el 33% de la masa del fruto; aunque actualmente el establecimiento del cultivo de cacay se encuentra en sus fases iniciales, este es un cultivo que se proyecta con gran crecimiento debido a las propiedades benéficas de la nuez y su alta demanda en el mercado cosmético, generando un elevado volumen de residuos que no presentan ningún proceso de transformación ocasionando un problema ambiental debido al mal manejo de los residuos sólidos y presentándose como una alternativa para la obtención de energía .

Por lo tanto, se presenta la siguiente pregunta de investigación: ¿El poder calorífico del cuesco de Cacay será suficiente para sustituir otras biomásas residuales como fuente de energía calórica y en que afecta emplear pretratamientos como secado y reducción de tamaño de partícula en su potencial energético?

---

<sup>7</sup> PROCOLOMBIA. Cacay, la nuez colombiana para cosméticos que fascina al mundo [en línea]. En: PROCOLOMBIA. 06 de Noviembre 2014. Disponible en: <http://www.procolombia.co/noticias/cacay-la-nuez-colombiana-para-cosmeticos-que-fascina-al-mundo> Fecha de acceso: 20 sep. 2018

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

- Evaluar la eficiencia energética del cuesco del cacay (*Caryodendron Orinocense*) en función del tipo de secado y tamaño de partícula mediante un proceso de combustión adiabático.

### 2.2. Objetivos específicos

- Estimar el consumo energético requerido para los procesos de molienda y secado necesarios para el establecimiento de las variables objeto de estudio.
- Determinar el poder calorífico del cuesco del cacay en función del tipo de secado y tamaño de partícula por medio de una bomba calorimétrica.
- Establecer un análisis comparativo de los resultados obtenidos del poder calorífico del cuesco del cacay frente a los datos registrados de otras biomásas residuales (bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz y cuesco de palma de aceite).

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. La Biomasa y su aprovechamiento energético.

De acuerdo a González *et al*<sup>8</sup>. El termino biomasa se ha utilizado tradicionalmente en el campo de la ecología para denominar a la materia orgánica total presente en un ecosistema y en el ámbito de las energías renovables se utiliza con dos acepciones ya que se aplica al recurso (materia prima) y a la energía que se produce con su utilización. Así mismo, según González *et al*<sup>9</sup>. El término “biomasa” excluye a los combustibles fósiles y las materias orgánicas derivadas de estos, ya que, aunque aquellos tuvieron un origen biológico, su formación tuvo lugar en tiempos remotos. Mostrándose como un concepto muy amplio, puesto que, se entiende por biomasa a cualquier tipo de materia orgánica de origen biológico reciente y a los productos obtenidos a partir de ella incluyendo los biocombustibles.

#### 3.2. Producción de biomasa en Colombia.

De acuerdo con el Ministerio de Educación Nacional<sup>10</sup> en Colombia se tienen estudios de producción de biomasa que indican que las zonas que más generan este tipo de energía son los Santanderes, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica.

Según el Atlas residual de la Biomasa en Colombia<sup>11</sup> el potencial que posee el territorio nacional en sus diferentes regiones para la producción y disposición de residuos permite contemplar la necesidad de emplearlo de manera eficaz

---

<sup>8</sup> FERNANDEZ GONZALEZ, Jesús, et al. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Ediciones Paraninfo, S.A. 2015. p.3. ISBN 8484766748, 9788484766742

<sup>9</sup> *Ibid.* p.3

<sup>10</sup> Colombia una potencia en energías alternativas [en línea]. Centro Virtual De Noticias. [Consultado: 13 de 09 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html> .

<sup>11</sup> ESCALANTE HERNÁNDEZ et al; Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. ISBN: 978-958-8504-59-9 Disponible en: < <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ATLAS%20POTENCIAL%20ENERGETICO%20BIOMASA%20RESIDUAL%20COL.%20UPME.pdf> >. Fecha de acceso: 20 oct. 2018

aprovechando esta oportunidad para fortalecer el desarrollo de los diferentes sectores sociales y económicos.

Algunas de estas biomásas residuales pueden alcanzar un potencial energético como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Poder Calorífico de Biomásas Residuales

<b>Poder Calorífico de Biomásas Residuales</b>	
<b>Biomasa</b>	<b>Poder calorífico superior (Kcal/Kg)</b>
Bagazo de caña de azúcar	1823
Cascarilla de arroz	3281
Cuesco de palma de aceite	3558

Fuente: Futuro energético de Costa Rica.

Disponible en Internet en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>

### 3.3. El Cacay (*Caryodendron orinocense*)

Según contextoganadero<sup>12</sup> el cacay es un árbol denso, que logra alcanzar entre 15 y 20 metros de altura, es una especie rústica, acondicionada para adaptarse en suelos ácidos y pobres en nutrientes como los de la Orinoquía colombiana, son árboles longevos que alcanzan los 80 y 100 años aun ofreciendo producción, crecen entre los 200 y 1.100 m.s.n.m, especialmente en alturas inferiores a los 800 m.s.n.m. y en zonas con precipitaciones anuales entre los 2.000 y 5.000 mm, con 200 a 300 días lluviosos al año, temperaturas medias entre 22-28 °C y una humedad relativa cercana al 80%.

Según González<sup>13</sup> El cacay pertenece a la clase: *dicotiledóneas*, subclase: *arquiclamídeas*, orden: *euphorbiales*, familia: *euphorbiaceae*, género: *caryodendron*, especies: *orinocense*, *amazonicum*, *angustifolium*, *grandifolium*. Así

<sup>12</sup> Contextoganadero. El Cacay Inchi, una alternativa de desarrollo sostenible en Colombia [en línea]. contextoganadero. [Consultado: 13 de 09 de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.contextoganadero.com/blog/el-cacay-inchi-una-alternativa-de-desarrollo-sostenible-en-colombia>

<sup>13</sup> GONZÁLEZ TORRES; Cacay una alternativa saludable para la cocina; [Consultado: 20 de 10 de 2018]. Disponible en Internet: [revistas.sena.edu.co/index.php/rvin/article/download/689/760](http://revistas.sena.edu.co/index.php/rvin/article/download/689/760)



mismo se conoce bajo una gran cantidad de nombres comunes como: Inchi, cacay, maní de árbol, palo de nuez, nuez de Barquisimeto.

La cosecha es en el verano, época en la que otros cultivos no están produciendo permitiendo generar ingresos en la época más difícil del año, su fruto cae al suelo en óptimo estado de maduración facilitando su recolección y en tierras planas permite maquinar la cosecha, es un cultivo ideal para la economía campesina ya que es posible desarrollarlo desde pequeñas extensiones, además de ser de fácil control y se relaciona bien con otros cultivos como: cacao, plátano, arroz, maíz y forrajes. Al ser un árbol de selva, es excelente para el relevo de cultivos ilícitos y la reforestación.

El fruto es del tamaño de un limón tahití y todas sus partes se aprovechan, la cáscara se emplea como alimento para ganado o como abono, el cuesco tradicionalmente se ha utilizado como combustible ecológico debido a su combustión pausada y por esto se presume que posee un alto poder calorífico y, debido al desconocimiento de las propiedades del cuesco del cacay se genera un desaprovechamiento de este residuo; según García y Martínez<sup>14</sup> las nueces de cacay son una gran alternativa para la seguridad alimentaria de las comunidades en la región, de las nueces se obtiene un aceite que también es utilizado para el cuidado de la piel y al extraer el aceite se obtiene como subproducto una harina rica en proteínas, minerales, ácidos grasos, omegas 3, 6, 9 y fibra, convirtiéndola en un complemento ideal para la dieta alimenticia, contiene más del 40% de proteína y aminoácidos esenciales.

---

<sup>14</sup> GARCIA URREA, Lili; MARTINEZ TAMARA, Ferney. El cacay en bebidas funcionales y su uso gastronómico. Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Gastronomía. Bogotá: Universidad Agustiniiana. Facultad de arte, comunicación y cultura, 2017.

Ilustración 1 Fruto del Cacay



Fuente: <http://www.kahai.co/el-cacay>

#### 3.4. Poder Calorífico.

Según Angiolani<sup>15</sup> se llama poder calorífico a la cantidad de calor que genera un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse de forma completa en presencia de la cantidad necesaria de oxígeno, para dar como productos de la combustión, anhídrido carbónico y agua.

De acuerdo a Burschel *et al*<sup>16</sup> el poder calorífico depende de las características químicas del combustible y se clasifica como poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). El poder calorífico superior tiene en cuenta el calor que proviene de la condensación del vapor de agua presente en los productos de combustión; el poder calorífico inferior no tiene en cuenta ese calor por el hecho

---

<sup>15</sup> ANGIOLANI, Argeo. Introducción A La Química Industrial Fundamentos Químicos Y Tecnológicos. Editorial: Andrés Bello., p.377. Disponible En: [https://Books.Google.Com.Co/Books?Id=7qpvxihw0xuc&Dq=Se+Llama+Poder+Calor%C3%Adficio+A+La+Cantidad+De+Calor+En+Calor%C3%Adas,+Que+1kg+De+Ellos+Puede+Proporcionar+Quem%C3%A1ndolos+Completamente+En+Presencia+De+La+Cantidad+Necesaria+De+Ox%C3%Adgeno,+Para+Dar+Como+Productos+De+La+Combusti%C3%B3n,+Anh%C3%Adrido+Carb%C3%B3nico+Y+Agua&HI=Es&Source=Gbs\\_Navlinks\\_S](https://Books.Google.Com.Co/Books?Id=7qpvxihw0xuc&Dq=Se+Llama+Poder+Calor%C3%Adficio+A+La+Cantidad+De+Calor+En+Calor%C3%Adas,+Que+1kg+De+Ellos+Puede+Proporcionar+Quem%C3%A1ndolos+Completamente+En+Presencia+De+La+Cantidad+Necesaria+De+Ox%C3%Adgeno,+Para+Dar+Como+Productos+De+La+Combusti%C3%B3n,+Anh%C3%Adrido+Carb%C3%B3nico+Y+Agua&HI=Es&Source=Gbs_Navlinks_S) FECHA DE ACCESO: 20 OCT. 2018

<sup>16</sup> BURSCHEL, Heinrich; HERNÁNDEZ, Angelica; LOBOS, Mauricio. Leña: una fuente energética renovable para Chile. Editorial Universitaria, p. 70, ISBN 956111688X, 9789561116887. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=RwIVY96BUuQC&dq=poder+calorifico+superior&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.co/books?id=RwIVY96BUuQC&dq=poder+calorifico+superior&hl=es&source=gbs_navlinks_s) Fecha de acceso: 20 Oct. 2018

que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa. Por lo tanto, no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua.

Varias han sido las biomásas residuales objeto de estudio como se puede observar en los siguientes trabajos.

Según Agüero *et al*<sup>17</sup> durante más de una década, se realizaron ensayos para determinar el Poder Calorífico Superior de muestras de bagazo de caña, las muestras que se recibieron correspondían a bagazo previamente secado, sin especificar la procedencia de las mismas, ni la variedad de caña y tipo de cosecha empleado. Con la bomba calorimétrica se determinó el potencial energético de las distintas muestras obteniendo valores entre 4342 kcal/kg y 3906 kcal/kg.

De igual forma Uceda<sup>18</sup> en su trabajo determinó el poder calorífico superior de 20 especies forestales de la Amazonia peruana por medio de una bomba calorimétrica colocada en un calorímetro adiabático, determinando un poder calorífico superior promedio de 4571 kcal/kg.

Así mismo Rivera y Uceda<sup>19</sup>, determinaron las características físico-químicas de la madera y el carbón de once especies maderables procedentes de Madre de Dios, Perú, fueron determinadas mediante el análisis del contenido de humedad, densidad y análisis químico de la madera. Del carbón se determinó el rendimiento, contenido de humedad, densidad y análisis químico. Para determinar el PCS, se

---

<sup>17</sup> AGÜERO, Armando C., et al. Poder calorífico del bagazo de caña de azúcar. *Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería*, 2004, vol. 13, no 24, p. 33-37. [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37100917/VCS\\_bagazo\\_cana.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538258801&Signature=cdCRnYj5uZm%2FO0tlb5W27%2FnFE1w%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DExtension\\_Poder\\_Calorifico\\_del\\_Bagazo\\_de.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37100917/VCS_bagazo_cana.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538258801&Signature=cdCRnYj5uZm%2FO0tlb5W27%2FnFE1w%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DExtension_Poder_Calorifico_del_Bagazo_de.pdf)

<sup>18</sup> UCEDA, Manuel. Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la amazonia peruana. *Revista Forestal del Perú*, 1984, vol. 12, no 1-2, p. 1-15. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol12\\_no1-2\\_84\\_\(16\)/vol12\\_art8.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art8.pdf)

<sup>19</sup> RIVERA, Pepe; UCEDA, Manuel. Características fisicoquímicas de la madera y carbón de once especies forestales de la Amazonia Peruana. *Revista Forestal del Perú*, 2016, vol. 14, no 2. <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/viewFile/137/135>

puso un gramo de carbón seleccionado de cada una de las especies en la bomba calorimétrica, colocada en un calorímetro adiabático. Este método es el que se emplea para determinar el calor de combustión de un material orgánico en estado sólido. Obteniendo resultados entre 8755,60 kcal/kg y 7736,73 kcal/kg.

De igual manera Herrera *et al*<sup>20</sup> determinaron la densidad de la madera, composición química y poder calorífico del duramen, albura y corteza de *Quercus candicans*, *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*. Para el análisis químico se determinaron: pH, cenizas, microanálisis de cenizas, la solubilidad a la sosa, sustancias extraíbles, lignina, holocelulosa, celulosa y taninos. El análisis estadístico de los resultados mostró diferencias estadísticas significativas entre especies y entre el material lignocelulósico. En general los resultados variaron como sigue: densidad de la madera (543,5-707,7 kg/m<sup>3</sup>), pH (5,03-5,97), cenizas (0,49-9,26%), microanálisis de la cenizas (elementos principales: Ca, K y Mg), solubilidad a la sosa (20,28-27,78%), contenido de sustancias extraíbles (6,94-17,26%), lignina (14,67-34,67%), holocelulosa (81,63-90,72%), celulosa (42,32-66,12%), hemicelulosas (19,06-41,65%), taninos (0,35-11,69%), poder calorífico (3768,99 – 5694,09 kcal/kg).

También han sido determinadas la densidad básica de la madera y poder calorífico en vástagos de tres cultivos dendroenergéticos como se puede observar en el trabajo de Ríos *et al*<sup>21</sup> donde el poder calorífico superior (PCS) se determinó con el calorímetro automático isoperibólico PARR 6400®, de acuerdo con la norma EN 14918. Para el análisis se utilizó biomasa molida en partículas de 1.5 mm, de cada tipo de vástago dentro del tocón y en tallo, ramas y hojas, el material se

---

<sup>20</sup> HERRERA FERNÁNDEZ, Ana Cristina et al. Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encinos (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*). *Ciencia Nicolaita*, [S.l.], n. 72, ene. 2018. ISSN 2007-7068. Disponible en: <<https://www.cic.cn.umich.mx/index.php/cn/article/view/345>>. Fecha de acceso: 29 sep. 2018

<sup>21</sup> RIOS SAUCEDO, Julio César et al. Densidad básica de la madera y poder calorífico en vástagos de tres cultivos dendroenergéticos. *Rev. mex. de cienc. forestales* [online]. 2018, vol.9, n47 [citado 2018-09-29], pp.253-272. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.157>>. ISSN 2007-1132.

peletizó formando pastillas de un gramo que se introdujeron en la cámara cilíndrica del calorímetro automatizado. El valor de las mediciones se expresó en kcal/kg, el PCS presentó diferencias entre taxones en cada tipo de vástago. Los valores de PCS más alto alcanzaron 5280 kcal/kg en *Eucalyptus globulus*; 5150 kcal/kg en *E. denticulata* y 4927 kcal/kg en *Acacia dealbata*. En tallos y ramas se observaron niveles de PCS de 4399 kcal/kg a 4691 kcal/kg

Así mismo Apolinar y Honorato<sup>22</sup> caracterizaron energéticamente la madera de *Acacia pennatula* y *Trema micrantha* en términos de su poder calorífico, contenido de humedad, densidad básica y análisis proximal, con base en las normas ASTM. La madera de las especies mostró diferencias significativas en todas las características energéticas determinadas. En promedio, la de *Acacia pennatula* mostró un poder calorífico de 1854 KJ/kg, un contenido de humedad de 9,15%, densidad básica de 0,571 g/cm<sup>3</sup>, 86,56% de material volátil, 1,07 % de cenizas y 12,37 % de carbono fijo; y la madera de *Trema micrantha* registró un poder calorífico de 1776 KJ/kg, un contenido de humedad de 8,25 %, densidad básica de 0,243 g/cm<sup>3</sup>, 82,90 % de material volátil, 0,79 % de cenizas y 16,31% de carbono fijo.

De igual manera Muñoz, Cuatin y Pantoja<sup>23</sup> determinaron los valores energéticos de los residuos agroindustriales del departamento del Cauca, mediante análisis del poder calorífico, datos técnicos reportados en las tablas estadísticas del Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2011 y con las expresiones simples presentadas en la metodología de Antolín G. G. para el cálculo de

---

<sup>22</sup> APOLINAR-HIDALGO, Flora; HONORATO-SALAZAR, José Amador y COLOTL-HERNANDEZ, Gertrudis. Caracterización energética de la madera de *Acacia pennatula* Schltl & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume. *Rev. mex. de cienc. forestales* [online]. 2017, vol.8, n.39 [citado 2018-09-29], pp.71-82. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322017000100071&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000100071&lng=es&nrm=iso) . ISSN 2007-1132.

<sup>23</sup> MUÑOZ, Deyanira Muñoz; CUATIN, Milton Fernando; PANTOJA, Alvaro Javier. Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del cauca, a partir del poder calorífico inferior. *INGRESAR A LA REVISTA*, 2015, vol. 11, no 2, p. 156-163. <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/viewFile/294/249>

variables energéticas. Los valores obtenidos del poder calorífico en base seca fueron: 116.187,97 kJ/kg para bagacillo de caña, 15.419,95 kJ/kg para polvillo de fique y 15.262,18 kJ/kg para afrecho de yuca. El valor promedio de las mezclas fue de 15.623,35 kJ/kg. Se concluye que 15.623,35 kJ/kg representa la energía promedio que puede liberarse en un proceso de combustión de estos residuos y es comparable con la energía liberada por otras fuentes de biomasa.

Por otro lado con el objetivo de someter los residuos de maíz al proceso termoquímico llamado gasificación, Fonseca, Rodríguez y Camargo<sup>24</sup> realizaron análisis para conocer algunas propiedades físico-químicas que son de gran importancia antes de realizar este proceso. Se determinó el contenido de lignina la cual registró un valor de 14,7%, se determinó el poder calorífico de esta biomasa obteniendo un valor de 4290,87 kJ/kg. Se obtiene el poder calorífico de la caña de maíz usando una bomba calorimétrica adiabática previamente calibrada siguiendo las recomendaciones del fabricante, agregando el oxígeno necesario para la combustión, depositando un gramo de biomasa en el crisol de la bomba y tomando 10 cm de alambre de ignición, obteniendo así las globales cinéticas requeridas para los resultados.

---

<sup>24</sup> FONSECA, Sergio D.; RODRÍGUEZ, Hugo A.; CAMARGO, Gabriel. Caracterización de residuos de maíz del municipio de ventaquemada, Colombia. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2017, vol. 8, no 2. [citado 2018-10-20], Disponible:< <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323652282004.pdf> >

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo de estudio

La investigación es de tipo experimental ya que se basa en la observación, medición, análisis e interpretación de variables que intervienen en el desarrollo del proyecto.

### 4.2. Diseño experimental y análisis estadístico.

Para un adecuado análisis de los datos se realizó un diseño experimental completamente al azar en donde se establecieron ensayos con dos tipos de secado y dos intervalos de tamaño de partícula obteniendo un experimento factorial  $2^2$ , generando cuatro tratamientos. Para asegurar la cantidad de datos suficientes y un adecuado análisis de los mismos se hicieron ensayos por triplicado para cada uno de los tratamientos donde las variables independientes son el tipo de secado y el tamaño de partícula, así mismo la variable de respuesta es el poder calorífico como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Diseño experimental factorial  $2^2$

Factores	Niveles
Tipo de Secado	Solar
	Horno
Tamaño de partícula*	2,36 – 0,25 mm
	$\leq 0,25$ mm

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico R, con el objetivo de analizar correctamente los datos y así determinar si las variaciones del tipo de secado y tamaño de partícula afecta el poder calorífico del cuesco del cacay y que tan significativa resulta ser.

#### 4.3. Obtención de la materia prima y adecuación

El cuesco de Cacay (*Caryodendron orinocense* K.) se obtuvo de cultivos ubicados en el municipio de Puerto Gaitán pertenecientes a la empresa KAHAI, la materia prima se sometió a un proceso de limpieza donde se retiró cualquier tipo de suciedad y a un proceso de tamizado empleando un juego de tamices de la marca FISHER SCIENTIFIC COMPANY, que se observa en la Ilustración 2, teniendo en cuenta la norma ASTM-E11, con las aperturas que se indican en la Tabla 2, en el juego de tamices se incluyó un tamiz numero 60 con la finalidad de obtener partículas finas que no superaran un diámetro mayor a 1 mm para obtener un rango más amplio entre los diferentes diámetros.

Tabla 2 Juego de tamices

Número de tamiz	Apertura del tamiz (mm)	Intervalo (mm)	Diámetro promedio (mm)
3/8 in	9,5	>9,5	9,5
6	3,35	9,5 –3,35	6,425
7	2,80	3,35- 2,80	3,075
8	2,36	2,80- 2,36	2,580
60	0,25	2,36– 0,25	1,305
Fondo	Fondo	< 0,25	0,125

Fuente: Autor propio

Ilustración 2 Juego de tamices



Fuente: Juego de tamices Fisher Scientific Company



#### 4.4. Molienda y tamizado del cuesco del cacay

El material tamizado fue sometido a un proceso de reducción de tamaño por medio de un molino de discos eléctrico de marca Victoria, equipado con un motor de 0,75 Kw de potencia, y a un estudio granulométrico para identificar los tamaños de partícula de mayor proporción y seleccionar las fracciones objeto de estudio.

Una vez obtenidos los tamaños de partícula, las muestras se denominaron como se indica en la tabla 3 y se procedió a estimar la energía empleada para reducir el tamaño de partícula de acuerdo a la ecuación de Rittinger que se observa en la ecuación 1.

Tabla 3: Tamaños de partícula

Nombre de la muestra	Tamaño de partícula (mm)
T1	$\leq 0,25$
T2	2,36 – 0,25
T3	$\leq 0,25$
T4	2,36 – 0,25

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 1 Ecuación de Rittinger

$$E = K_R \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)$$

Dónde:

E= potencia (kW)/alimentación (kg/H)

$K_R$ =constante de Rittinger (Hp.H.in/ton)

$d_1$ = tamaño inicial (mm)

$d_2$ = tamaño final (mm)

Fuente: GUTIÉRREZ CORTEZ .Elsa, ULLOA SAAVEDRA. Aracely, Reducción de tamaño

[Consultado: 26 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet:

<https://es.slideshare.net/FanychanCosplayer/reduccion-de-tamao>

#### 4.5. Secado

Las muestras T3 y T4 fueron sometidas a un proceso de secado solar en condiciones ambientales de la ciudad de Villavicencio por un tiempo establecido de 8 horas por cada día durante dos días, estas condiciones de tiempo fueron registradas con el fin de tener datos más precisos. Así mismo, las muestras T1 y T2 fueron sometidas a un proceso de secado al horno con una temperatura de 102°C durante 12 horas, en la Tabla 3 se muestra los tipos de secado utilizados para cada muestra y en las ilustraciones 3 y 4 se evidencia el montaje para cada tipo de secado.

Ilustración 3 Secado al sol



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4 Secado al horno



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se estimó el gasto energético empleado durante el proceso de secado de las muestras (T1 y T2), para esto se tomó en cuenta el consumo de energía del horno y el tiempo que demore el proceso de secado de la siguiente manera.

$$\text{Consumo energético (Kcal/H)} \times \text{tiempo de secado (H)} = \text{consumo energético total(Kcal)}$$

De acuerdo al diseño experimental se obtuvo las muestras con las variables identificadas en la tabla 4, permitiendo establecer las condiciones de operación de cada una de las muestras resultado de los pretratamientos.

Tabla 4 Variables

Nombre de la muestra	Tipo de secado	Tamaño de partícula (mm)
T1	Horno	$\leq 0,25$
T2	Horno	2,36 – 0,25
T3	Sol	$\leq 0,25$
T4	Sol	2,36 – 0,25

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Determinación del poder calorífico

El poder calorífico de las muestras (T1, T2, T3 y T4), se determinó en una bomba calorimétrica modelo 1341 de la marca Parr que se muestra en la ilustración 5, de acuerdo a la norma ASTM D-5865-04<sup>25</sup>, cuyos montajes se evidencian en la ilustración 6 y 7, esta prueba se realizó en los laboratorios de nutrición animal del Instituto de Acuicultura de los Llanos (IALL) de la Universidad de los Llanos.

Adicional a la determinación del poder calorífico de las muestras previamente tratadas y objeto del análisis experimental, se determinó el potencial energético

---

<sup>25</sup> ASTM D-5865-04. Standard test method for the gross calorific value of coal and coke (2004)

del cuesco sin ningún pretratamiento adicional al que se somete para la extracción de la nuez donde alcanza un tamaño de partícula promedio de 10,5 mm con formas irregulares como se observa en la ilustración 8, esto con el fin de obtener un dato blanco que funcione como punto de referencia o patrón que permita establecer una comparación con los resultados obtenidos, de igual manera este análisis se realizó por triplicado.

Ilustración 5 Bomba calorimétrica



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6 Muestras para Bomba calorimétrica



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7 Pesaje de las muestras



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8 Blanco



Fuente: Elaboración propia

## 5. RESULTADOS

Previo a la realización de los pretratamientos al material, se llevó a cabo una limpieza y un proceso de tamizaje con el fin de eliminar cualquier material extraño e identificar el tamaño de partícula inicial, dando como resultado un tamaño de partícula inicial comprendido entre 10-11 mm aproximadamente, teniendo en cuenta que estas partículas se obtienen como producto de la extracción de su nuez.

### 5.1. Molienda y tamizado del cuesco del Cacay

Empleando la ley de Rittinger de acuerdo a la metodología y como se muestra a continuación. Se determinó el consumo energético durante este proceso, ver Tabla 5.

$$E = \frac{p}{m} = K_R \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)$$

$$K_R = \frac{\frac{p}{m}}{\left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)}$$

$$K_R = \frac{\frac{0,75 \text{ KW}}{3,47 \text{ Kg}}}{\left( \frac{1}{0,25 \text{ mm}} - \frac{1}{10,5 \text{ mm}} \right)} = 0,055 \frac{\text{KW}}{\text{Kg} * \text{mm}}$$

$$E = 0,055 \frac{\text{KW}}{\text{Kg} * \text{mm}} * \left( \frac{1}{0,25 \text{ mm}} - \frac{1}{10,5 \text{ mm}} \right) = 0,21 \frac{\text{KW}}{\text{Kg}}$$

$$0,21 \frac{\text{KW}}{\text{Kg}} = \frac{180,57 \text{ kcal}}{\text{kg}}$$

$$E = 0,055 \frac{\text{KW}}{\text{Kg} * \text{mm}} * \left( \frac{1}{2,36 \text{ mm}} - \frac{1}{10,5 \text{ mm}} \right) = 0,017 \frac{\text{KW}}{\text{Kg}}$$

$$0,017 \frac{\text{KW}}{\text{Kg}} = 14,61 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Tabla 5 Consumo de energía reducción de tamaño

Tamaño de partícula (mm)	Energía reducción de tamaño (kcal/kg)
≤ 0,25	180,57
2,36–0,25	14,61

Fuente: Elaboración propia

Seguido a la molienda el producto se sometió a un proceso de tamizaje obteniendo como resultados las fracciones que se muestran en la tabla 6, permitiendo identificar las fracciones que presentaron mayor proporción, las cuales se encuentran entre los intervalos de 2,36 -0,25 mm y menores a 0,250 mm

Tabla 6 Resultados del Tamizaje

Tamiz (apertura)	Intervalo (mm)	Diámetro promedio (mm)	Total retenido (g)	Porcentaje (%)
9,5 mm	>9,5		74,62	2,14
3,35 mm	9,5 –3,35	6,425	207,69	5,97
2,80 mm	3,35- 2,80	3,075	114,03	3,27
2,36 mm	2,80- 2,36	2,580	50,33	1,44
0,25 mm	2,36– 0,25	1,305	2577,05	74,1
Fondo	< 0,25	0,125	453,32	13,03
	Total		3477,04	100

\*Total obtenido de la sumatoria de 7 experiencias con un promedio de 500g cada una.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Secado

De acuerdo al consumo promedio de un horno como el empleado para el proceso de secado se cuenta con consumo energético de 600 W/h, entonces la energía consumida por el horno durante el tiempo de secado se muestra en Tabla 7.

### Consumo energético x tiempo de secado

$$600 \text{ W} \times 12 \text{ H} = \\ 7200 \text{ W/h} = 6190,89 \text{ Kcal/h}$$

Tabla 7 Consumo de energía proceso de secado

Nombre de la muestra	Energía secado al horno
T1 y T2	6190,89 Kcal/h

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Determinación del poder calorífico superior.

En la tabla 8 se observan los valores obtenidos del poder calorífico de cada una de las muestras analizadas, donde se incluye el promedio entre los triplicados de cada una de las muestras, así como las medidas de tendencia central que nos permiten establecer que la dispersión entre los triplicados de cada una de las muestras no es significativa, de igual manera en la tabla 9 se evidencia un consolidado de los promedios de cada muestra.

Tabla 8 Poder calorífico de las muestras analizadas

Nombre de la muestra	Poder calorífico (kcal/kg)			Promedio	Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación
	#1	#2	#3				
T1	4343,0545	4393,4484	4449,2327	4393	2820,87	53,1119	1,2%
T2	4608,3231	4644,9237	4628,9488	4629	336,70	18,3494	0,39%
T3	4188,6033	4195,2495	4177,0376	4189	84,93	9,2160	0,22%
T4	4457,8077	4465,3735	4475,4798	4465	78,61	8,8664	0,19%
Blanco	4075,2543	4056,3548	4089,2476	4075	272,49	16,5072	0,40%

Fuente: Elaboración propia



Tabla 9 Resultados

Nombre de la muestra	Tipo de secado	Tamaño de partícula (mm) N	Poder calorífico promedio (kcal/kg)
T1	Horno	≤0,25	4393
T2	Horno	2,36 – 0,25	4629
T3	Sol	≤0,25	4189
T4	Sol	2,36 – 0,25	4465

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4. Balance total de energía

En la tabla 10 se presenta el balance de energía que se desarrolló de acuerdo a la metodología donde se tuvo en cuenta la energía consumida en cada uno de los pretratamientos a los cuales se sometieron las muestras y los valores de poder calorífico obtenidos de cada una de las muestras.

Tabla 10. Balance energético

Nombre de la muestra	Energía consumida (kcal/kg)			Poder calorífico (kcal/kg)	Balance (kcal/kg)
	Secado	Molienda	Total		
T1	6190,89	180,57	6371,46	4393	-1978,46
T2	6190,89	14,61	6205,5	4629	-1576,5
T3	-	180,57	180,57	4189	4008,43
T4	-	14,61	14,61	4465	4450,39
Blanco	-	-	-	4075	4075

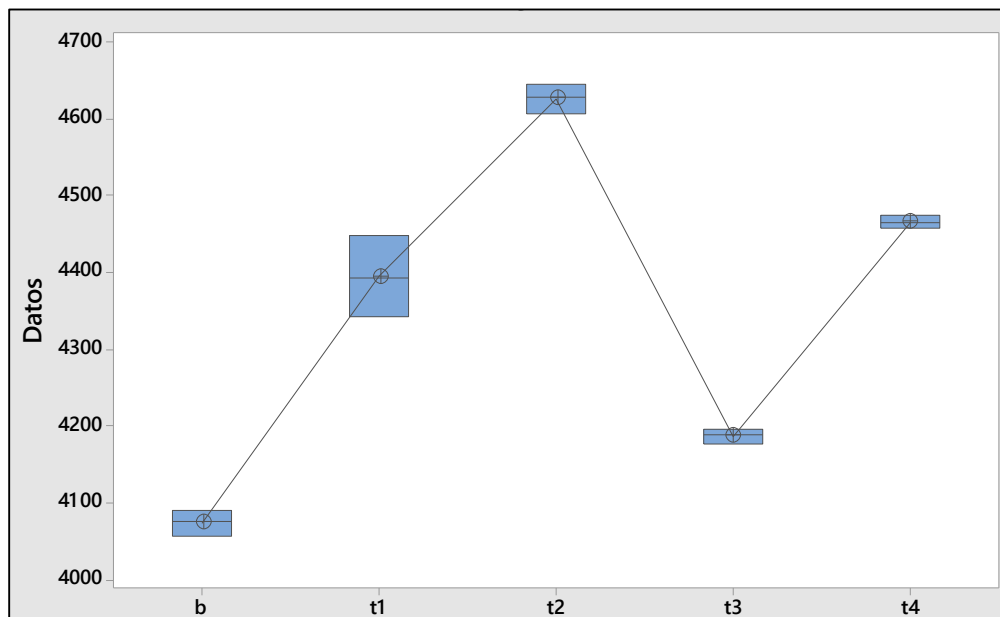
Fuente: Elaboración propia

#### 5.5. Análisis de varianza

El tratamiento estadístico de análisis de varianzas demostró por medio del método HSU (método de comparaciones múltiples) que el tratamiento con mayor poder

calorífico se presentó en la muestra T2 y a su vez esta presenta diferencias significativas con todas las otras muestras. Así mismo, se determinó por medio del método Dunnett que todas las muestras presentaron diferencias significativas a favor con respecto al blanco. Por otra parte, el método Tukey comprobó que la muestra T2 obtuvo los mayores niveles y que presenta diferencias significativas con respecto al blanco, así como que las muestras T1 y T4 no presentan diferencias significativas entre ellas. En la siguiente grafica se muestra los diagramas de caja de cada una de las muestras incluyendo el blanco.

Gráfica 1 Gráfica cajas para los datos de T1, T2, T3, T4 y el Blanco



Fuente: Elaboración propia

## 6. DISCUSION DE RESULTADOS

### 6.1. Molienda y tamizado del cuesco del Cacay

Según los resultados obtenidos, el consumo energético del proceso de molienda para los tamaños de partícula comprendidos en el intervalo  $<0,25$  mm fue de 180,57 kcal representado un gasto mucho mayor respecto al consumo de energía empleado para la obtención de las partículas comprendidas en el intervalo de 2,36- 0,25 mm, de acuerdo a lo expresado por la ley de Rittinger debido a que el tamaño de partícula es inversamente proporcional a la energía requerida, por lo que se infiere que a menor diámetro mayor consumo energético.

Además se observa que las partículas de tamaños superiores alcanzaron un poder calorífico mayor en cada uno de sus tipos de secado, resultado que también se presenta en la investigación realizada por Ahumada *et al*<sup>26</sup> donde se concluyó que entre mayor granulometría mayor poder calorífico.

### 6.2. Secado

El método de mayor eficiencia fue el secado al sol, ya que, se alcanzaron en promedio temperaturas cercanas a los 32 °C sin requerir un consumo de energía adicional, por otra parte, la baja eficiencia del horno se debe a su alto consumo energético, debido a que es un equipo que alcanza mayores temperaturas, pero que requiere a su vez, de un consumo energético elevado.

Una vez obtenidos los resultados se observó que las muestras sometidas al secado al sol T3 y T4 alcanzaron valores de 4189 Kcal/Kg y 4465 Kcal/Kg respectivamente y las muestras sometidas al secado al horno T1 y T2 alcanzaron valores de 4393 Kcal/Kg y 4629Kcal/Kg respectivamente, aunque los valores obtenidos por el secado al sol son menores en comparación con los obtenidos por el secado al horno, el secado al sol no requiere ningún gasto energético, mientras

---

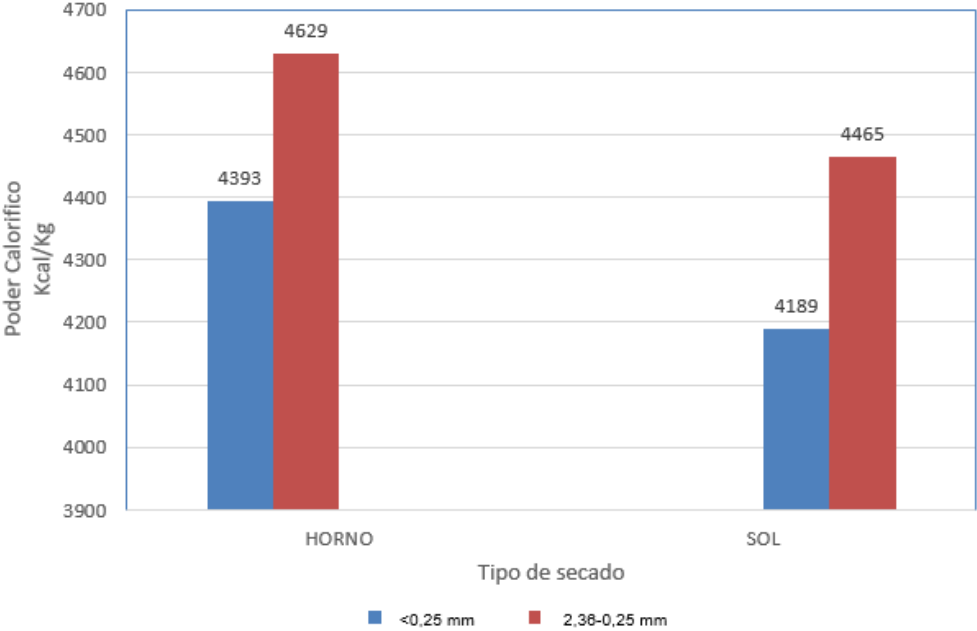
<sup>26</sup>Ahumada et al. Optimización de las Condiciones de Operación de la Microgasificación de Biomasa para Producción de Gas de Síntesis. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n3/art17.pdf>

que el secado al horno demandó un gasto energético de 6190,89 Kcal/Kg convirtiéndolo en el menos eficiente.

6.3. Poder calorífico y comparación con otras biomásas.

De acuerdo a los resultados del poder calorífico de las muestras, este material es capaz de producir una cantidad de energía por kilogramo de sustancia con valores de 4393 Kcal/Kg, 4629 Kcal/Kg, 4189 Kcal/Kg, 4465 Kcal/Kg, 4075 Kcal/Kg, para las muestras T1, T2, T3, T4 y el Blanco, respectivamente, como se muestra en la siguiente gráfica.

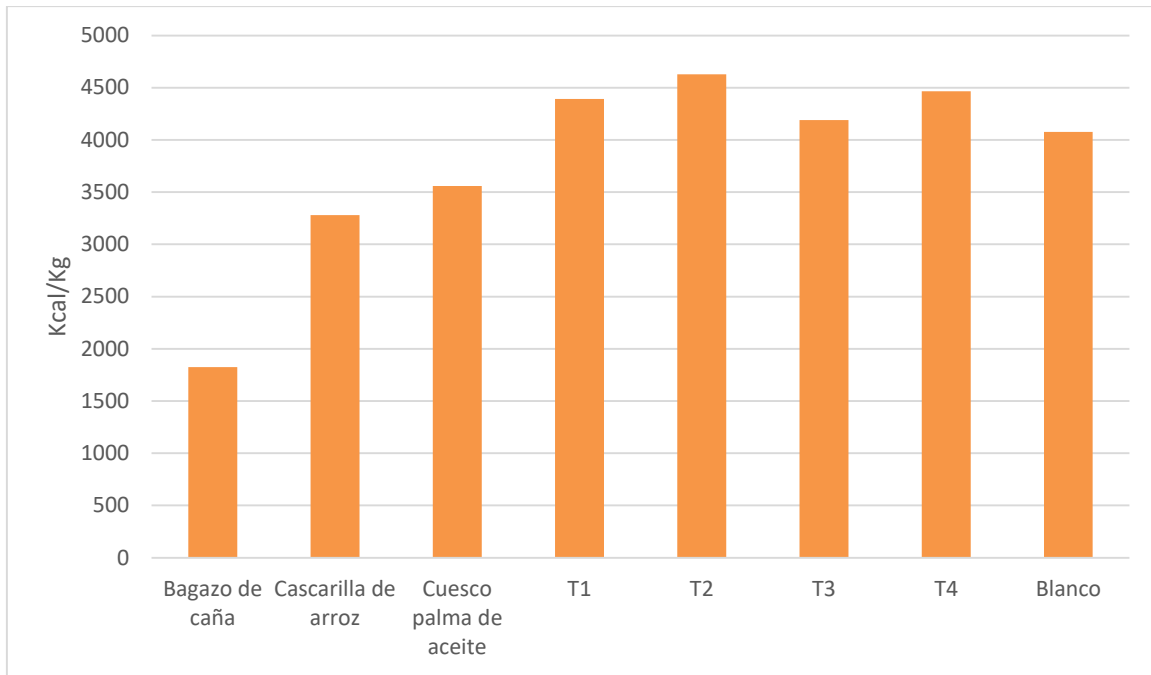
Gráfica 2 Poder calorífico de acuerdo a los pretratamientos



Fuente: Elaboración propia

Así mismo alcanzó un potencial energético superior al de otros residuos agrícolas como; el bagazo de la caña, la cascarilla de arroz, y el cuesco de la palma de aceite, los cuales registran valores de 1823 Kcal/Kg, 3281 Kcal/Kg y 3558 Kcal/Kg respectivamente como se muestra en la Tabla 1, indicando que este residuo es una fuente potencial de energía alternativa y que su uso como biocombustible contribuye a evitar su acumulación.

Gráfica 3 Comparación de poder calorífico



Fuente: Elaboración propia

Uno de los factores que inciden en un elevado poder calorífico, según Burschel *et al*<sup>27</sup> es la humedad, quien afirma que la humedad posee un efecto lineal inversamente proporcional con el poder calorífico de los materiales. Efecto que se logra comprobar al observar la diferencia del poder calorífico obtenido a partir de los dos métodos de secado, donde el secado al horno presentó mayores valores de poder calorífico que el secado al sol, ya que, durante el secado al horno el material está expuesto a temperaturas más elevadas, permitiendo una mayor pérdida de humedad. Otro factor decisivo en la capacidad calorífica de los materiales es su composición, puesto que este depende de sus características químicas, así como lo señala Garrués<sup>28</sup> en su libro energía de la Biomasa, y de

<sup>27</sup>BURSCHEL et al. Leña: una fuente energética renovable para Chile. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=RwIVY96BUuQC&pg=PA70&dq=de+que+depende+el+poder+calorifico&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjgh\\_7Iht3hAhXlxFkKHbHeDm0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=de%20que%20depende%20el%20poder%20calorifico&f=false](https://books.google.com.co/books?id=RwIVY96BUuQC&pg=PA70&dq=de+que+depende+el+poder+calorifico&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjgh_7Iht3hAhXlxFkKHbHeDm0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=de%20que%20depende%20el%20poder%20calorifico&f=false)

<sup>28</sup> GARRUÉS ÁBREGO Javier. Energía de la Biomasa (volumen I). Universidad de Zaragoza, 2010, [citado 2019-04-24], p.415, Disponible en:

igual manera según Okoroigwe y Saffron<sup>29</sup> el poder calorífico tiene una relación directamente proporcional con el contenido de carbono fijo,.

#### 6.4. Balance energético

Una vez obtenidos los resultados se determinó que la muestra T2 presentó los valores más altos de poder calorífico alcanzando 4629 Kcal/Kg como se logra evidenciar en la gráfica 1, sin embargo, esta muestra requirió en sus pretratamientos de secado al horno y molienda un consumo de energía de 6205,5 Kcal/Kg mucho mayor a la energía obtenida, lo que la convierte a su vez en la muestra con mayor gasto energético, por otra parte la muestra con mayor eficiencia entre el consumo de energía de sus pretratamientos y la energía generada fue la muestra T4 la cual alcanzo un poder calorífico de 4465 Kcal/kg consumiendo 14,61 Kcal/Kg en sus pretratamientos de secado al sol y de molienda como se puede observar en la Tabla 10.

---

<https://books.google.com.co/books?id=P58rcPu5O90C&pg=PA415&dq=Otro+factor+decisivo+en+la+capacidad+calor%C3%ADfica+de+los+materiales+es+su+composici%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiEoJWJxOThAhXqtlkKHU5eBhMQ6AEIMzAC#v=onepage&q=Otro%20factor%20decisivo%20en%20la%20capacidad%20calor%C3%ADfica%20de%20los%20materiales%20es%20su%20composici%C3%B3n&f=false>

<sup>29</sup> OKOROIGWE, E., & SAFFRON, C. (2012). Determination Of Bio-Energy Potential Of Palm Kernel Shell By Physicochemical Characterization. Nigerian Journal of Technology, 31(12), 329-336 (2012).

## 7. CONCLUSIONES

- El cuesco de Cacay es capaz de alcanzar altos valores energéticos en comparación con otros residuos agroindustriales tradicionales como el bagazo de la caña, la cascarilla de arroz y el cuesco de la palma de aceite, sin necesidad de emplear algún pretratamiento.
- La implementación de estos pretratamientos (molienda y secado) no presentan viabilidad económica exceptuando el secado al sol, sin embargo, los valores más elevados de poder calorífico independientemente del tipo de secado se obtuvieron en las muestras con mayor granulometría.
- La muestra T4 logró un aumento del 10% del poder calorífico con respecto al blanco solo sometiéndose al secado al sol y a la reducción de tamaño con la mayor granulometría, lo que indica que los pretratamientos de esta muestra son los más óptimos para aumentar su poder calorífico.
- Teniendo en cuenta la capacidad energética del cuesco de Cacay sin ningún pretratamiento se puede sugerir la aplicación de este material como un biocombustible alternativo evitando así su acumulación y aprovechando su buen poder calorífico, ya que superó a otras biomasas residuales que se emplean con esta finalidad, abriendo la posibilidad de darle un valor agregado a este material mediante su transformación en un biocombustible.

## 8. RECOMENDACIONES

De acuerdo a las experiencias se sugiere lo siguiente:

1. Complementar el estudio de las características y propiedades de este residuo por medio de un análisis elemental, identificando así su composición, además de otras características como su humedad, propiedades importantes para la transformación de cualquier material.
2. Emplear diferentes metodologías para la determinación de su potencial energético, así como diseñar e implementar técnicas que permitan aprovechar de una manera óptima esta propiedad térmica.
3. Realizar otros análisis y estudios que permitan determinar propiedades físicas o mecánicas del cuesco de cacay, con la finalidad de encontrar aplicaciones alternativas a este residuo agroindustrial que de acuerdo a la literatura reporta de manera empírica otros usos, como el mejoramiento de suelos.
4. Desarrollar el proceso de molienda con otro tipo de molino, permitiendo de esta manera obtener otros tamaños de partícula, determinando así, tanto un consumo energético diferente como una capacidad energética distinta.
5. Ya que se alcanzaron buenos niveles de poder calorífico se recomienda practicar pruebas de digestión y aceptabilidad para su aplicación en dietas nutricionales y alimentos para animales.
6. Adelantar estudios sobre el comportamiento de este material en la elaboración de combustibles bioenergéticos.



## BIBLIOGRAFÍA

AGÜERO, Armando C., et al. Poder calorífico del bagazo de caña de azúcar. *Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería*, 2004, vol. 13, no 24, p. 33-37.

[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37100917/VCS\\_bagazo\\_cana.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538258801&Signature=cdCRnYj5uZm%2FO0tlb5W27%2FnFE1w%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DExtension\\_Poder\\_Calorifico\\_del\\_Bagazo\\_de.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37100917/VCS_bagazo_cana.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538258801&Signature=cdCRnYj5uZm%2FO0tlb5W27%2FnFE1w%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DExtension_Poder_Calorifico_del_Bagazo_de.pdf)

Ahumada et al. Optimización de las Condiciones de Operación de la Microgasificación de Biomasa para Producción de Gas de Síntesis. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n3/art17.pdf>

APOLINAR-HIDALGO, Flora; HONORATO-SALAZAR, José Amador y COLOTL-HERNANDEZ, Gertrudis. Caracterización energética de la madera de *Acacia pennatula* Schlttdl. & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume. *Rev. mex. de cienc. forestales* [online]. 2017, vol.8, n.39 [citado 2018-09-29], pp.71-82. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322017000100071&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000100071&lng=es&nrm=iso). ISSN 2007-1132.

ASTM D-5865-04. Standard test method for the gross calorific value of coal and coke (2004)

Colombia una potencia en energías alternativas. Centro virtual de noticias de la educación [en línea] [revisado 7 junio 2016]. Disponible en Internet: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>

Contexto ganadero. El Cacay Inchi, una alternativa de desarrollo sostenible en Colombia [en línea]. En: Contexto ganadero. 08 de Julio 2013. Disponible en: <http://www.contextoganadero.com/blog/el-cacay-inchi-una-alternativa-de-desarrollo-sostenible-en-colombia> Fecha de acceso: 20 sep. 2018

DURANGO PADILLA, Ricardo; OQUENDO LOPEZ, Jhon. Caracterización Y Evaluación Energética De Biocombustibles Solidos Elaborados A Partir De Biomasa Agroindustrial Y Carbón Mineral Del Departamento De Córdoba. Universidad de Córdoba, 2016.

ESCALANTE HERNÁNDEZ et al; Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. ISBN: 978-958-8504-59-9 Disponible en: < <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ATLAS%20POTENCIAL%20ENERGETICO%20BIOMASA%20RESIDUAL%20COL.%20UPME.pdf> >. Fecha de acceso: 20 oct. 2018

El cacay, la nuez de moda que construye paz. [En línea]. En: cámara de comercio de Bogotá. Mayo de 2017. Disponible en: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Cosmeticos/Noticias/2018/Mayo-2018/El-cacay-la-nuez-de-moda-que-construye-paz> Fecha de acceso: 20 sep. 2018

FERNANDEZ GONZALEZ, Jesús, et al. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Ediciones Paraninfo, S.A. 2015. p.3. ISBN 8484766748, 9788484766742

FONSECA, Sergio D.; RODRÍGUEZ, Hugo A.; CAMARGO, Gabriel. Caracterización de residuos de maíz del municipio de ventaquemada, Colombia. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2017, vol. 8, no 2. <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323652282004.pdf>

GARRUÉS ÁBREGO Javier. Energía de la Biomasa (volumen I). Universidad de Zaragoza, 2010, [citado 2019-04-24], p.415, Disponible en:

<https://books.google.com.co/books?id=P58rcPu5O90C&pg=PA415&dq=Otro+factor+decisivo+en+la+capacidad+calor%C3%ADfica+de+los+materiales+es+su+composici%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiEoJWJxOThAhXqtlkKHU5eBhMQ6AEIMzAC#v=onepage&q=Otro%20factor%20decisivo%20en%20la%20capacidad%20calor%C3%ADfica%20de%20los%20materiales%20es%20su%20composici%C3%B3n&f=false>

GONZÁLEZ TORRES; Cacay una alternativa saludable para la cocina; [Consultado: 20 de 10 de 2018]. Disponible en Internet: [revistas.sena.edu.co/index.php/rvin/article/download/689/760](http://revistas.sena.edu.co/index.php/rvin/article/download/689/760)

HERRERA FERNÁNDEZ, Ana Cristina et al. Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encinos (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*). *Ciencia Nicolaita*, [S.l.], n. 72, ene. 2018. ISSN 2007-7068. Disponible en: <<https://www.cic.cn.umich.mx/index.php/cn/article/view/345>>. Fecha de acceso: 29 sep. 201

MUÑOZ, Deyanira Muñoz; CUATIN, Milton Fernando; PANTOJA, Alvaro Javier. Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del cauca, a partir del poder calorífico inferior. *INGRESAR A LA REVISTA*, 2015, vol. 11, no 2, p. 156-163. <http://revistabiotechnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotechnologia/article/viewFile/294/249>

La Cogeneración y su aplicación en países como República Dominicana. Disponible: <https://es.slideshare.net/amchamdr/la-cogeneracin-y-su-aplicacin-en-pases-como-repblica-dominicana>

La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>

NUNEZ CAMARGO, Danny Williams. Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura* [online]. 2012, vol.16, n.34 [citado 2018-12-04], pp.142-156. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123921X2012000400011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123921X2012000400011&lng=en&nrm=iso) ISSN 0123-921X

OKOROIGWE, E., & SAFFRON, C. (2012). Determination Of Bio-Energy Potential Of Palm Kernel Shell By Physicochemical Characterization. *Nigerian Journal of Technology*, 31(12), 329-336 (2012).

PEÑARANDA GONZALEZ, Laura Victoria; MONTENEGRO GÓMEZ, Sandra Patricia; GIRALDO ABAD, Paula Andrea. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 141 - 150, sep. 2017. ISSN 2145-6453. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2040/2251>. Fecha de acceso: 20 sep. 201

PROCOLOMBIA. Cacay, la nuez colombiana para cosméticos que fascina al mundo [en línea]. En: PROCOLOMBIA. 06 de Noviembre 2014. Disponible en: <http://www.procolombia.co/noticias/cacay-la-nuez-colombiana-para-cosmeticos-que-fascina-al-mundo> Fecha de acceso: 20 sep. 201

Redacción EL Tiempo. El promisorio cultivo de cacay en la amazonia [en línea]. En: EL TIEMPO. 01 de febrero 2017. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cacay-33229> Fecha de acceso: 20 sep. 201

RIOS SAUCEDO, Julio César et al. Densidad básica de la madera y poder calorífico en vástagos de tres cultivos dendroenergéticos. *Rev. mex. de cienc. Forestales* [online]. 2018, vol.9, n.47 [citado 2018-09-29], pp.253-

272. Disponible en:  
<[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322018000300253&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322018000300253&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 2007-1132. <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.157>

RIVERA, Pepe; UCEDA, Manuel. Características fisicoquímicas de la madera y carbón de once especies forestales de la Amazonia Peruana. *Revista Forestal del Perú*, 2016, vol. 14, no 2. <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/viewFile/137/135>

UCEDA CASTILLO, Manuel. Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la amazonia peruana. *Revista Forestal del Perú*, 1984, vol. 12, no 1-2, p. 1-15. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol12\\_no1-2\\_84\\_\(16\)/vol12\\_art8.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art8.pdf)

## ANEXOS

### Anexo 1 Cálculos de R para T1, T2, T3, T4 y el Blanco.

#### Consola R 1 Datos T1

```
> T1<-C (4343.0545, 4393.4484, 4449.2327)
Error en C(4343.0545, 4393.4484, 4449.2327) :
  object not interpretable as a factor
> T1<-c(4343.0545, 4393.4484, 4449.2327)
> T1
[1] 4343.055 4393.448 4449.233
> summary (T1)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  4343   4368   4393   4395   4421   4449
> var (T1)
[1] 2820.874
> sd(T1)
[1] 53.1119
> |
```

Fuente: autoría propia

#### Consola R 2 Datos T2, T3, T4

```
R Console
> > t2<-c (4608.3231, 4644.9237, 4628.9488)
> t3<-c (4188.6033,4195.2495, 4177.0376)
> t4<-c (4457.8077,4465.3735, 4475.4798)
> t2
[1] 4608.323 4644.924 4628.949
> t3
[1] 4188.603 4195.249 4177.038
> t4
[1] 4457.808 4465.373 4475.480
> sumary (t2)
Error: no se pudo encontrar la función "sumary"
> summary (t2)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  4608   4619   4629   4627   4637   4645
> var (t2)
[1] 336.7035
> sd(t2)
[1] 18.34948
> summary (t3)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  4177   4183   4189   4187   4192   4195
> var (t3)
[1] 84.93512
> sd(t3)
[1] 9.216025
> summary (t4)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  4458   4462   4465   4466   4470   4475
> var (t4)
[1] 78.61362
> sd(t4)
[1] 8.866432
```

Fuente: autoría propia

## Consola R 3 Datos del Blanco

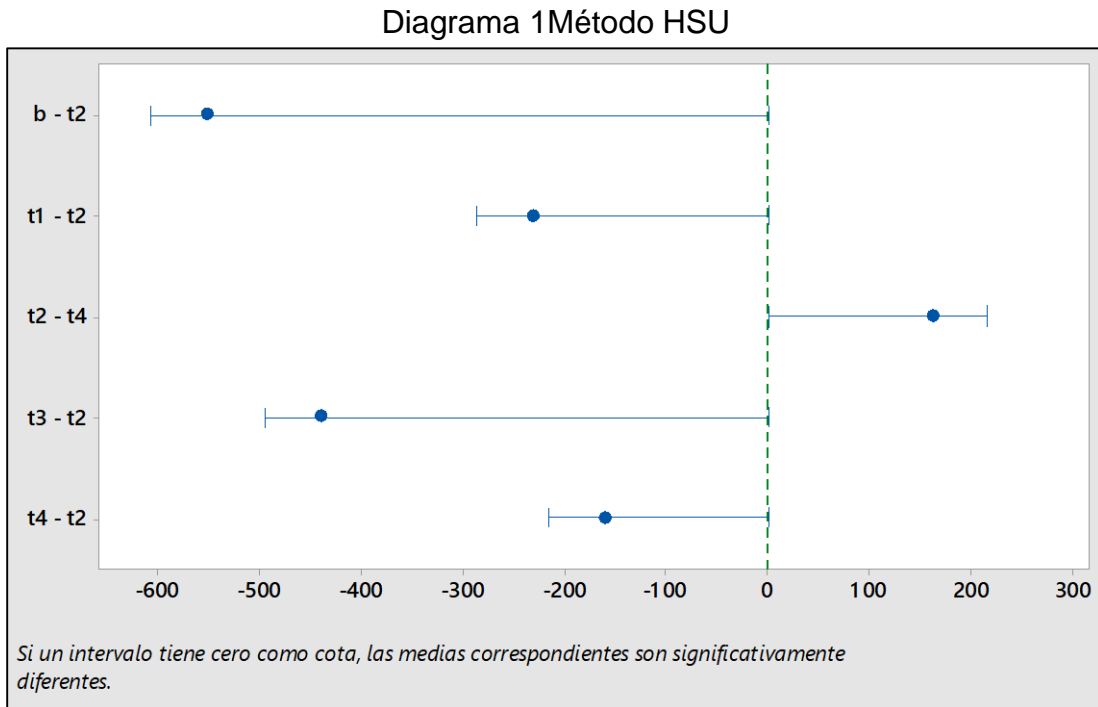
```
R Console
> BLANCO <-c (4075.2543,4056.3548,4089.2476)
> BLANCO
[1] 4075.254 4056.355 4089.248
> summary (BLANCO)
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
   4056   4066   4075   4074   4082   4089
> var (BLANCO)
[1] 272.49
> sd(BLANCO)
[1] 16.50727
> |
```

Fuente: autoría propia

## Anexo 2 Análisis de varianza para los datos de las muestras T1, T2, T3, T4 y el Blanco

### MÉTODO HSU

Método por el cual se establece la muestra con los mejores tratamientos obtenidos y se compara con los demás tratamientos, permitiendo identificar los que son significativamente diferentes del mejor y los que no.



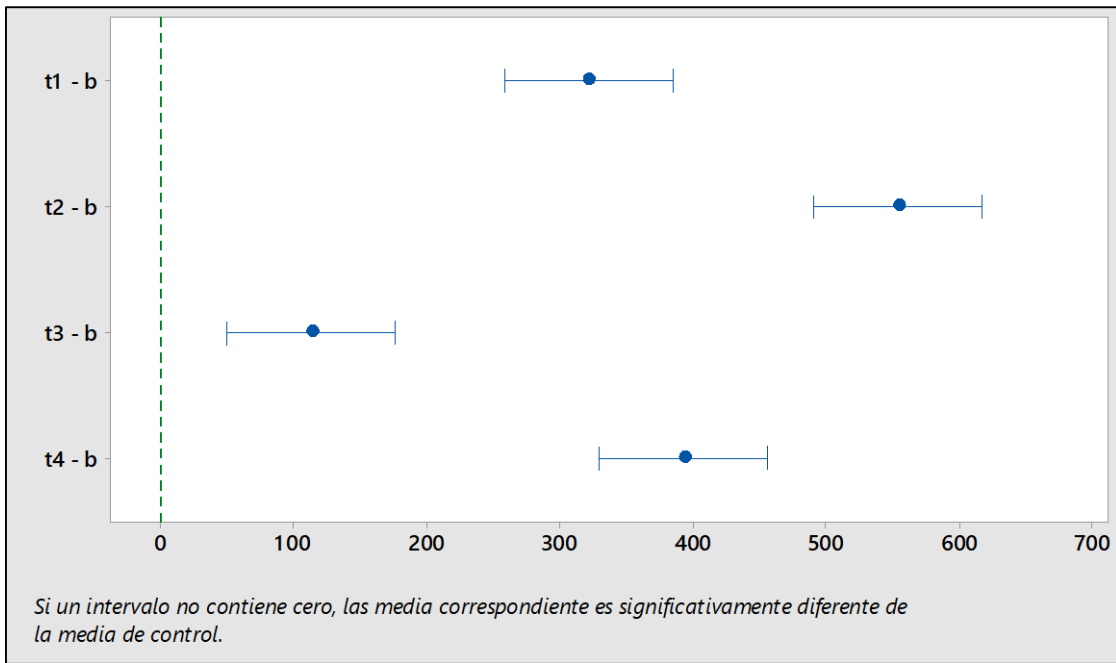
Fuente: autor propio.

### MÉTODO DUNNET

Método por el cual se establecen comparaciones de las muestras, frente a una muestra determinada denominada control. Permitiendo conocer si estas son significativamente diferentes o no a dicho control.



Diagrama 2 Método Dunnett



Fuente: autor propio.

Comparaciones múltiples de Dunnett con un control

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Comparativo 1 Método Dunnett

Factor	N	Media	Agrupación
<b>b (control)</b>	3	4073,62	A
<b>t2</b>	3	4627,4	
<b>t4</b>	3	4466,22	
<b>t1</b>	3	4395,2	
<b>t3</b>	3	4186,96	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

### Pruebas simultáneas de Dunnett para la media de nivel – Media de control

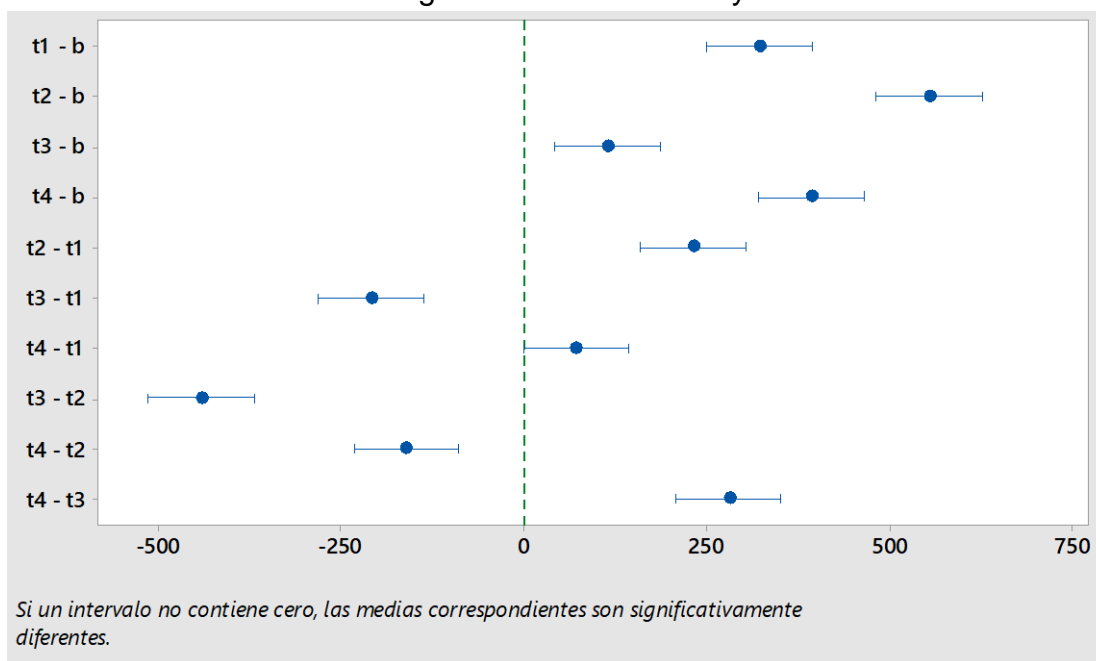
Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
<b>t1 - b</b>	321,6	21,9	(258,4; 384,9)	14,69	0,000
<b>t2 - b</b>	553,8	21,9	(490,5; 617,1)	25,30	0,000
<b>t3 - b</b>	113,3	21,9	(50,1; 176,6)	5,18	0,001
<b>t4 - b</b>	392,6	21,9	(329,3; 455,9)	17,94	0,000

Nivel de confianza individual = 98,39%

### MÉTODO TUKEY

Método mediante el cual se establecen comparaciones por parejas entre todos los tratamientos, permitiendo establecer si son significativamente diferentes o no entre ellos.

Diagrama 3 Método Tukey



Fuente: autor propio.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

## Comparativo 2 Método Tukey

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>			
<b>t2</b>	3	4627,4	A			
<b>t4</b>	3	4466,22		B		
<b>t1</b>	3	4395,2		B		
<b>t3</b>	3	4186,96			C	
<b>B</b>	3	4073,62				D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### Anexo 3 Hoja de tamices ASTM-E11

DIMENSIONES NOMINALES, VARIACIONES PERMISIVAS PARA TEJIDO DE ALAMBRE DE TAMICES DE ENSAYO ESTÁNDAR			REFERENCIAS					
Designación del tamiz		Diámetro nominal del alambre mm	BRONCE			ACERO		
Estandar	Alternativo		70	80	120	70	80	120
125 mm	5 in.	8	-----	PS32005	PS34005	-----	PS33005	PS35005
100 mm	4 in.	6.3	-----	PS32004	PS34004	-----	PS33004	PS35004
90 mm	3 1/2 in.	6.3	-----	PS32312	PS34312	-----	PS33312	PS35312
75 mm	3 in.	6.3	-----	PS32003	PS34003	-----	PS33003	PS35003
63 mm	2 1/2 in.	5.6	-----	PS32212	PS34212	-----	PS33212	PS35212
50 mm	2 in.	5	-----	PS32002	PS34002	-----	PS33002	PS35002
45 mm	1 3/4 in.	4.5	-----	PS32134	PS34134	-----	PS33134	PS35134
37.5 mm	1 1/2 in.	4.5	-----	PS32112	PS34112	-----	PS33112	PS35112
31.5 mm	1 1/4 in.	4	-----	PS32114	PS34114	-----	PS33114	PS35114
25 mm	1.00 in.	3.55	-----	PS32001	PS34001	-----	PS33001	PS35001
22.4 mm	7/8 in.	3.55	-----	PS327/8	PS347/8	-----	PS337/8	PS357/8
19 mm	3/4 in.	3.15	-----	PS323/4	PS343/4	-----	PS333/4	PS353/4
16 mm	5/8 in.	3.15	-----	PS325/8	PS345/8	-----	PS335/8	PS355/8
12.5 mm	1/2 in.	2.5	-----	PS321/2	PS341/2	-----	PS331/2	PS351/2
11.2 mm	7/16 in.	2.5	-----	PS327/16	PS347/16	-----	PS337/16	PS357/16
9.5 mm	3/8 in.	2.24	-----	PS323/8	PS343/8	-----	PS333/8	PS353/8
8 mm	5/16 in.	2	-----	PS325/16	PS345/16	-----	PS335/16	PS355/16
6.3 mm	1/4 in.	1.8	-----	PS321/4	PS341/4	-----	PS331/4	PS351/4
4.75 mm	No. 4	1.6	PS44N04	PS32N04	PS34N04	PS43N04	PS33N04	PS35N04
4 mm	No. 5	1.4	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3.35 mm	No. 6	1.25	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2.36 mm	No. 8	1	PS44N08	PS32N08	PS34N08	PS43N08	PS33N08	PS35N08
2 mm	No. 10	0.9	PS44N10	PS32N10	PS34N10	PS43N10	PS33N10	PS35N10
1.7 mm	No. 12	0.8	PS44N12	PS32N12	PS34N12	PS43N12	PS33N12	PS35N12
1.4 mm	No. 14	0.71	PS44N14	PS32N14	PS34N14	PS43N14	PS33N14	PS35N14
1.18 mm	No. 16	0.63	PS44N16	PS32N16	PS34N16	PS43N16	PS33N16	PS35N16
1 mm	No. 18	0.56	PS44N18	PS32N18	PS34N18	PS43N18	PS33N18	PS35N18
850 µm	No. 20	0.5	PS44N20	PS32N20	PS34N20	PS43N20	PS33N20	PS35N20
710 µm	No. 25	0.45	PS44N25	PS32N25	PS34N25	PS43N25	PS33N25	PS35N25
600 µm	No. 30	0.4	PS44N30	PS32N30	PS34N30	PS43N30	PS33N30	PS35N30
500 µm	No. 35	0.315	PS44N35	PS32N35	PS34N35	PS43N35	PS33N35	PS35N35
425 µm	No. 40	0.28	PS44N40	PS32N40	PS34N40	PS43N40	PS33N40	PS35N40
355 µm	No. 45	0.224	PS44N45	PS32N45	PS34N45	PS43N45	PS33N45	PS35N45
300 µm	No. 50	0.2	PS44N50	PS32N50	PS34N50	PS43N50	PS33N50	PS35N50
250 µm	No. 60	0.16	PS44N60	PS32N60	PS34N60	PS43N60	PS33N60	PS35N60
212 µm	No. 70	0.14	PS44N70	PS32N70	PS34N70	PS43N70	PS33N70	PS35N70
180 µm	No. 80	0.125	PS44N80	PS32N80	PS34N80	PS43N80	PS33N80	PS35N80
150 µm	No. 100	0.1	PS44100	PS32100	PS34100	PS43100	PS33100	PS35100
125 µm	No. 120	0.09	PS44120	PS32120	PS34120	PS43120	PS33120	PS35120
106 µm	No. 140	0.071	PS44140	PS32140	PS34140	PS43140	PS33140	PS35140
90 µm	No. 170	0.063	PS44170	PS32170	PS34170	PS43170	PS33170	PS35170
75 µm	No. 200	0.05	PS44200	PS32200	PS34200	PS43200	PS33200	PS35200
63 µm	No. 230	0.045	PS44230	PS32230	PS34230	PS43230	PS33230	PS35230
53 µm	No. 270	0.036	PS44270	PS32270	PS34270	PS43270	PS33270	PS35270
45 µm	No. 325	0.032	PS44325	PS32325	PS34325	PS43325	PS33325	PS35325
38 µm	No. 400	0.03	PS44400	PS32400	PS34400	PS43400	PS33400	PS35400
25 µm	No. 500	0.025	PS44500	PS32500	PS34500	PS43500	PS33500	PS35500

Fuente: <https://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/productos/laboratorios-generales/tamices-certificados-astm-e-11/>