



UNAP



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE
SÓLIDO A PARTIR DE LA CÁSCARA DEL FRUTO DE CASTAÑA
(*Bertholletia excelsa*)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

JORGE VASQUEZ VASQUEZ

ANDREUS JHONATAN RÍOS ARIMUYA

ASESOR:

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2022



UNAP

Facultad de Ingeniería Química
Unidad de Investigación



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 011 -CGT-FIQ-UNAP-2022

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 22 días del mes de AGOSTO de 2022, a horas 12:00 Hrs. se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE LA CASCARA DEL FRUTO DE CASTAÑA (*Bertholletia Excelsa*)"**, aprobado con Resolución Decanal N° 193-2022-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Jorge Vasquez Vasquez y Andreus Jhonatan Ríos Arimuya**, para optar el título profesional de **Ingeniero Químico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R. D. N° 123-2022-FIQ-UNAP está integrado por:


| | |
|----------------------------------------------|------------|
| Q.F. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, Dr. | Presidente |
| Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc. | Miembro |
| Ing. MATSEN ROLANDO GARCÍA NAVARRO, Mtro. | Miembro |


Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: SATISFACTORIAMENTE.


El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADA con la calificación: BUENA, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Químico, Siendo las 13:00 Hrs. se dio por terminado el acto de SUSTENTACION.


.....
Q.F. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, Dr.
Presidente de Jurado

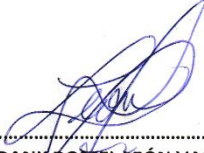

.....
Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.
Miembro


.....
Ing. MATSEN ROLANDO GARCÍA NAVARRO, Mtro.
Miembro


.....
Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.
Asesor



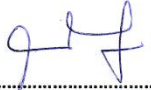
JURADO CALIFICADOR



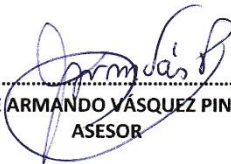
.....
Q.F. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, Dr.
Presidente de Jurado



.....
Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.
Miembro



.....
Ing. MATSEN ROLANDO GARCÍA NAVARRO, Mtro.
Miembro



.....
Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.
ASESOR

DEDICATORIA

ESTA TESIS ESTÁ DEDICADO A:

A mis padres Mario y Sonia Esther por el amor, la paciencia y el esfuerzo durante todos mis años de estudio que me han permitido hoy, llegar a cumplir un sueño más. Gracias por inculcarme el ejemplo de superación, valentía y esfuerzo de enfrentar las adversidades que se presentan en la vida porque Dios está conmigo siempre.

A Mis Hermanas Brenda y Pamela por el cariño y apoyo incondicional, gracias. A mis abuelos Antonia y Geraldo, Luisa y a mi abuelo Mario que hoy está en el cielo, por sus oraciones, consejos y palabras de aliento. A toda mi familia por estar conmigo siempre apoyándome cuando más lo necesitaba.

También quiero dedicar esta tesis a mi padrino Víctor Villacorta, gracias por creer en mí, por tus consejos y el apoyo incondicional que siempre me da, a mis tíos, en especial; A mi tía Rogelia, Esteban, José Luis, Melissa, Vannesa, María Luisa, Wagner y Dennis gracias por todo su apoyo, a mis amigos por extender su mano en los momentos difíciles. Gracias por las alegrías el compañerismo y los buenos momentos. Finalmente, esta tesis también va dedicado a Franco Mozombite que Dios te tenga en su gloria...

JHONATAN

A mi familia, quienes me acompañaron, guiaron y apoyaron para seguir el proceso a la obtención de mi título.

Especialmente a mi madre, por ser mi guía, fuente de motivación y mi motor en este camino hacia mi título universitario. Por estar a mi lado en mis momentos difíciles y en las largas horas de estudio. Gracias, por haber creído en mí”

A mis padres. Carolina y Jorge por su amor y fortaleza brindado que me han permitido llegar a cumplir esta meta; especialmente a mi madre por sus consejos y constante aliento, además de los valores inculcados que hoy en día me permiten ser un hombre con principios y de convicciones claras.

A toda mi familia, que me extendieron su mano en los momentos difíciles, sin esperar nada a cambio. A mis hermanos, Verónica, Carolina y Jesús, a quienes siempre llevo presentes en mi corazón.

A la pequeña Fátima, que alegra mi día a día, y me hace feliz verla crecer.

JORGE

AGRADECIMIENTO

Nuestro más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. A nuestra facultad de Ingeniería Química por abrirnos las puertas y confiar en nosotros en este proceso de aprendizaje y permitirnos desarrollarnos como profesionales y como personas.

De igual manera agradecemos a todos nuestros profesores por compartir sus conocimientos y enseñanzas que nos ayudan a formarnos como profesionales. En especial al Ing. Jorge Armando Vásquez Pinedo, Ing. Rosa Isabel Souza Najjar, Ing. Laura Rosa García Panduro y Ing. Juan Manuel Rojas Amasifuén, gracias a cada uno de ustedes por su apoyo, su paciencia, dedicación y amistad.

A nuestras familias, quienes nos acompañaron, guiaron y apoyaron para seguir el proceso a la obtención de nuestro título.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| PORTADA | i |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN | ii |
| JURADO CALIFICADOR | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS | vii |
| RESUMEN | viii |
| ABSTRACT | ix |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO | 4 |
| 1.1. Antecedentes | 4 |
| 1.2. Bases teóricas | 8 |
| 1.2.1. Biocombustibles sólidos. | 8 |
| 1.2.2. Métodos de obtención de biocombustibles sólidos | 8 |
| 1.2.3. Procesos de obtención de biocombustibles | 8 |
| 1.2.4. Briquetas | 9 |
| 1.2.5. Composición de biocombustibles sólidos en briquetas | 10 |
| 1.2.6. Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>) | 10 |
| 1.2.7. Clasificación taxonómica de la castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>) | 11 |
| 1.3. Definición de términos básicos | 12 |
| 1.3.1. Densidad de las briquetas. | 12 |
| 1.3.2. Poder calorífico. | 12 |
| 1.3.3. Humedad. | 12 |
| 1.3.4. Inflamabilidad o temperatura de ignición. | 12 |
| CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES | 13 |
| 2.1. Formulación de la hipótesis | 13 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA | 14 |
| 3.1. Tipo y diseño | 14 |
| 3.2. Diseño muestral | 15 |
| 3.3. Instrumentos y técnicas de recolección de datos | 15 |
| 3.4. Procesamiento y análisis de datos | 19 |
| 3.5. Análisis Físico químico de la cáscara del fruto de la castaña (<i>Bertholletia Excelsa</i>) | 21 |
| 3.6. Análisis físico químico del biocombustible sólido obtenido a partir de la cáscara de castaña (<i>Bertholletia Excelsa</i>). | 26 |

| | |
|--------------------------------------------------|----|
| 3.7. Aspectos éticos | 28 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS | 29 |
| CAPÍTULO V: DISCUSIÓN | 38 |
| CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES | 40 |
| CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 41 |
| ANEXOS | 44 |
| Anexo 1 | 45 |
| Anexo 2: Panel fotográfico | 51 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS | 43 |
| CAPITULO V: DISCUSIONES | 46 |
| CAPITULO VI: CONCLUSIONES | 47 |
| CAPITULO VII: RECOMEDACIONES | 48 |
| CAPITULO IX: FUENTES DE INFORMACIÓN | 49 |
| ANEXO | 50 |
| Anexo 01: Matriz de consistencia | 51 |
| Anexo 02: Panel fotográfico | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables. | 13 |
| Tabla 2. características fisicoquímicas de la cáscara de la castaña | 27 |
| Tabla 3. Diseño de un solo factor | 27 |
| Tabla 4. Tratamiento de la muestra 1: Muestra parte dura | 27 |
| Tabla 5. Tratamiento de la muestra 2: Muestra parte suave | 28 |
| Tabla 6. Tratamiento de la muestra: Muestra Mezclada | 28 |
| Tabla 7. Dimensiones de las briquetas | 29 |
| Tabla 8. Densidad de las briquetas | 30 |
| Tabla 9. Tiempo de combustión del combustible | 30 |
| Tabla 10. Media del poder calorífico (Kcal/Kg) obtenido en los diferentes tratamientos | 31 |
| Tabla 11. Análisis de Varianza | 33 |
| Tabla 12. Resumen del modelo | 33 |
| Tabla 13. Prueba de Tukey | 34 |

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo: **obtener biocombustible solido a partir de cáscara del fruto de castaña (*Bertholletia Excelsa*)** con la finalidad de rescatar este residuo solido existente en los mercados locales y sean utilizados como insumo en la generación de energía calorífica, necesarias en las diversas actividades productivas. El trabajo realizado tiene enfoque cuantitativo explicativo. La población de estudio, estuvo constituido por las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*) **obtenidos** en los mercados de belén de la ciudad de Iquitos, el tipo de muestreo es al azar a criterio de los investigadores, considerándose el tamaño de la muestra un máximo de 3Kg (1500 g. Mercado belén, 1500 g. Mercado modelo). Los resultados obtenidos de las 2 muestras analizadas, de los mercados de belén y modelo dieron como resultado los siguientes valores promedio de poder calorífico M1: 12939 kcal/kg, M2: 4663 kcal/kg, M3: 7581 kcal/kg los cuales corresponden a 6 pruebas realizadas para cada muestra respectivamente. En conclusión, se demostró que se puede obtener un biocombustible solido en forma de briquetas con cáscaras de castaña con un alto poder calorífico comparado con biocombustibles de otros residuos de frutos.

Palabras claves: Cáscara de castaña, biocombustible sólido, briquetas, poder calorífico, humedad.

ABSTRACT

The objective of this work was: to obtain solid biofuel from the shell of the chestnut fruit (*Bertholletia Excelsa*) in order to rescue this existing solid residue in local markets and be used as an input in the generation of heat energy, necessary in the various productive activities. The work carried out has a explicative quantitative approach. The study population was constituted by the shells of the chestnut fruits (*Bertholletia Excelsa*) obtained in the markets of the nativity scene of the city of Iquitos, the type of sampling is random at the discretion of the researchers, considering the size of the sample. a maximum of 3Kg (1500 g. Nativity Market, 1500 g. Model Market). The results obtained from the 2 samples analyzed, from the Belén and Modelo markets, resulted in the following average values of calorific value M1: 12,939 kcal/kg, M2: 4,663 kcal/kg, M3: 7,581 kcal/kg, which correspond to 6 tests performed for each sample respectively. In conclusion, it was shown that a solid biofuel can be obtained in the form of briquettes with chestnut shells with a high calorific value compared to biofuels from other fruit residues.

Keywords: Brazil nut shell, solid biofuel, briquettes, calorific value, humidity.

INTRODUCCIÓN

Durante décadas, el uso de combustibles fósiles ha generado diferentes tipos de gases que provocan que la energía de la luz solar entre a la tierra, pero no salga de la atmósfera, lo que se conoce como efecto invernadero. Esto provoca alteraciones en el clima, así como el incremento de la temperatura terrestre. En el año 2014, la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzó un récord: 143% más con respecto a la era preindustrial, y llegó casi a las 400 partes por millón (ppm). Dicha acumulación igualmente tiene un impacto directo en el incremento de la temperatura terrestre. De acuerdo con la Organización Meteorológica Británica, la temperatura de la tierra había incrementado 0,13 °C por década hasta 1979; luego de ese año y hasta la fecha, el incremento ha sido mayor: 0,25 °C por década (casi el doble). Esto se relaciona con la problemática del calentamiento global. (Ríos et al, 2015).

Los biocombustibles han tenido una constante evolución, fundamentada principalmente en el tipo de materia prima que se utiliza para su producción, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Actualmente se tienen cuatro generaciones de biocombustibles, las cuales se describen a continuación. Los biocombustibles de primera generación son aquellos provenientes de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas, destinada a la alimentación humana. Por otra parte, los biocombustibles de segunda generación son producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, o bien son desechos agroindustriales. (Salinas y Gasca, 2009)

La castaña es un recurso natural que, en el Perú se encuentra en grandes cantidades en el departamento de Madre de Dios, en menor cantidad en algunas provincias del departamento de Loreto y también se encuentra como planta introducida en el departamento de Ucayali, La castaña es un árbol grande que alcanza entre 30 y 50 m de

altura. El tronco tiene de 1 a 2 m de diámetro. Puede vivir por 500 años o más. En la Amazonía peruana se han encontrado árboles de hasta 1200 años de antigüedad. El tronco es recto y no ramificado hasta la mitad de su altura, pero con una corona inesperada de ramas grandes sobre el pabellón de los otros árboles circundantes. La corteza es grisácea y lisa.

El fruto es un pixidio con un opérculo pequeño que se desprende hacia el interior. Se lo llama "coco" por su similitud con el coco, aunque pertenezca a otra especie de plantas. Tarda 15 meses en madurar tras la polinización de las flores, y alcanza entre 10 y 15 cm de diámetro y 1 a 2 kg de peso, con cáscara leñosa de 8 a 12 mm de grosor. En el interior contiene 8 a 24 semillas en forma de media luna, de 4 a 5 cm de largo. Un árbol maduro puede dar entre 200 y 400 frutos, actualmente en los mercados de Loreto es comercializado por los pobladores ribereños, para ser consumido solo las semillas de manera directa, generando grandes volúmenes de residuos sólidos constituido principalmente por cáscaras, las cuales son arrojadas a los contenedores de basura y transportados a los botaderos existentes en la localidad. (Mori et al, 1990)

La producción agrícola a nivel de país, crece cada día buscando satisfacer el incremento de la demanda alimentos por parte de la población y la demanda de materia prima para la industria manufacturera. Esto trae consigo el incremento de la generación de residuos sólidos líquidos y gaseosos, resultantes del consumo directo por parte de la población y durante los procesos de transformación. Estos residuos, aparentemente sin valor económico, están causando diversos problemas debido a una disposición y eliminación inadecuada; sin embargo, existe la posibilidad de utilizar estos residuos agrícolas de frutas, que mediante tratamientos mecánicos y de transferencia de calor para obtener diversas materias primas e insumos muy requeridas en las diversas actividades

industriales, como es el caso de los biocombustibles sólidos. A partir de cáscaras de castaña. (Lozano, 2020).

Los problemas específicos de la presente investigación son:

Problemas específicos

¿Qué características físicas y químicas presentan las cáscaras de los frutos de la castaña (*Bertholletia Excelsa*) generados en los mercados locales de nuestra ciudad?

¿Cómo obtener biocombustible sólido a partir de las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*)?

¿Qué características físicas y químicas presenta el biocombustible sólido obtenido a partir de las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*) generados en los mercados locales de nuestra ciudad?

Los objetivos específicos de la presente investigación son:

Determinar las características físicas y químicas de las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*) generados en los mercados locales de nuestra ciudad.

Obtener biocombustible sólido a partir de las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*)

Determinar las características físicas y químicas del biocombustible sólido obtenido a partir de las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*) generados en los mercados locales de nuestra ciudad.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

(Ríos et al, 2015), La obtención de biocombustible en sus diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso), a partir de residuo de frutas, es materia de estudio en diferentes países del mundo, debido a que es considerado un potencial de materia prima que no es aprovechado y cuya disposición final no es el adecuado, provocando contaminación en el medio ambiente, a esto se adiciona el fuerte calor en nuestra región lo cual contribuyen a la descomposición de los mismos generando emisiones de mezclas gaseosas de diversos compuestos químicos a la atmosfera.

A continuación, se muestran algunos trabajos sobre el tema:

(Mendoza et al, 2017) El departamento de Córdoba, cuenta con 45 000 toneladas de residuo de maíz (tusa de maíz) al año, que no representan ningún tipo de valor agregado al productor y son quemados a cielo abierto, generando un problema más de contaminación. Sin embargo, esta biomasa residual, puede ser utilizada como combustible mediante procesos de densificación. El objetivo de esta investigación fue establecer la mezcla óptima de tusa de maíz, carbón mineral con alto porcentaje de azufre producido en la Mina la Guacamaya de Puerto Libertador (Córdoba-Colombia) y aglomerante de yuca realizando un diseño experimental de mezclas simplex reticular, con el fin de obtener briquetas con buena resistencia a la compresión y durabilidad según las normas CEN/TS:15210 parte dos y NTC-2060, respectivamente. Además de incrementar el poder calorífico de la biomasa adicionando carbón mineral sin que se aumente significativamente el porcentaje de azufre. Se obtuvieron briquetas con

resistencia a la compresión de 223,7 kgf, durabilidad de 97,3%, poder calorífico de 17,5 MJ/kg y un porcentaje de azufre de 0,4%.

(Czekala et al, 2018), El valor energético y la eficiencia económica de los biocombustibles sólidos producidos a partir de estiércol y aserrín, realizo un análisis económico y energético de la producción de briquetas, a partir de estiércol y aserrín. Los resultados obtenidos de los análisis económicos han demostrado que la producción individual de biocombustibles sólidos a partir de estiércol es más rentable que el uso de aserrín como sustrato.

(Mitan et al, 2018), Rendimiento de los aglutinantes en briquetado de cáscara de durian (fruta que crece en los árboles conocidos como durio, en el sudeste asiático) como un biocombustible sólido, En este estudio, la cáscara de durian se trató por secado, molienda y carbonización a 370 °C. Los aglutinantes eran almidón e hidróxido de calcio. La relación entre la cáscara de durian y varios aglutinantes fue del 4% del peso. Al unirse con el almidón, la relación en peso de almidón y agua como disolvente se modificó en 1:4, 1:8 y 1:12 respectivamente.

(Vakillainen, 2017), Biocombustibles sólidos y combustión, La combustión de biomasa en lugar de combustibles fósiles reduce las emisiones de dióxido de carbono. El uso de biomasa sólida es una forma de aumentar la independencia energética en muchas áreas, ya que varias biomásas pueden producirse localmente, mientras que los combustibles fósiles a menudo se importan. La combustión de biomasa puede verse en cuatro pasos: primero se seca. Segundo, a medida que aumenta la temperatura de la superficie, la biomasa comienza a generar compuestos orgánicos, que salen a través de los microporos en el

combustible. Luego aparecen las llamas hasta que la combustión de carbón restante (en su mayoría con carbono) se hace cargo y la partícula de combustible brilla. Por último, la ceniza restante sufre más reacciones dependiendo del entorno.

(Skvaril, et al, 2017), Determinación rápida de las propiedades del combustible en mezclas de biocombustibles sólidos mediante espectroscopia de infrarrojo cercano, manifiestan que los biocombustibles sólidos se caracterizan por propiedades altamente variables que dependen principalmente del tipo de biomasa, el lugar de origen, el preprocesamiento del combustible y las técnicas de manejo, etc. Por lo tanto, su utilización en procesos de conversión de energía termoquímica, es decir, combustión, gasificación, pirolisis; es bien desafiante, y puede dar como resultado un aumento de la producción de emisiones, fuertes inestabilidades en el proceso, menor eficiencia de conversión y menor calidad del producto final, etc. Dado que las condiciones operativas de una unidad de proceso requieren una regulación continua, esta información no es suficiente para el control del proceso y la optimización del rendimiento, especialmente cuando se consideran combustibles muy heterogéneos. Por esta razón, se necesita un método de medición rápido y no destructivo para la caracterización de las propiedades del combustible.

(Ortiz,2008) “Producción de Biocombustibles sólidos de alta densidad de España” En el documento la investigación tuvo un enfoque cuantitativo y se hace un repaso a las principales tecnologías y sistemas existentes en el mercado nacional para la producción de combustibles biomásicos densificados como las briquetas, los pellets y los gránulos. Asimismo, se aportan datos técnicos de productos, características, costes, rendimientos, problemática asociada, etc.

Por otra parte, se incluyen tablas de datos ambientales y económicos, así como diseños, esquemas e imágenes de diferentes equipos. Se obtuvieron biocombustibles sólidos de restos del aserradero con poder calorífico de 4777,55 Kcal/Kg, Corteza de eucalipto joven triturada 3871,20 Kcal/Kg, Corteza de eucalipto adulto 3526,38 Kcal/Kg y con humedad de 25,28%, 33,79% y 57,65% respectivamente.

(López & Robalino, 2021) “Obtención de biocombustible sólido a partir de residuos de frutas”. El trabajo realizado tiene enfoque cuantitativo con nivel de profundización descriptivo correlacional. La población de estudio, fue los residuos de frutas de los mercados de belén, mercado central y mercado modelo, el tipo de muestreo es probabilístico a criterio de los investigadores, considerándose el tamaño de la muestra un máximo de 1k, 500 gramos (500 gr. Mercado belén, 500 gr. Mercado central y 500 gr. Mercado modelo). Las fuentes de donde se obtuvieron los datos como: recolección de datos, pesado, humedad, ceniza, molienda, tamizado, obtención de pellets y poder calorífico, fueron tesis de pre y posgrado además de fuente de internet. Los resultados obtenidos de las 3 muestras analizadas, de los mercados de belén, central y modelo dieron como resultado un alto poder calorífico M1: 9549,74 kcal/kg, M2: 95551,36 kcal/kg, M3: 9671,36 kcal/kg M4: 9483,4 kcal/kg los cuales corresponden a 4 muestras elaboradas respectivamente. En conclusión, se demostró que se puede obtener un biocombustible con una óptima combustión energética con residuos de frutas.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Biocombustibles sólidos.

Los biocombustibles son aquellos carburantes que se obtienen a partir del procesamiento de la biomasa. El término *biomasa* abarca todo tipo de materia orgánica que se encuentra disponible en una base renovable o recurrente, como las plantas o incluso sus desechos metabólicos. Es importante mencionar que el uso de los biocombustibles permite reducir las emisiones de gases efecto invernadero, siempre y cuando los procesos de producción sean sustentables; esto es, que tengan una mínima huella de carbono (se entiende como *huella de carbono* a la totalidad de los gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un producto. (Garrido, 2009)

1.2.2. Métodos de obtención de biocombustibles sólidos

biocombustibles sólidos se pueden obtener mediante diferentes procesos como el astillado, el triturado y la compactación, los cuales permiten incrementar la eficiencia de producción. Dichos biocombustibles se pueden utilizar para generar energía eléctrica y calorífica en aplicaciones tanto domésticas como industriales. (Ríos et al, 2015)

1.2.3. Procesos de obtención de biocombustibles

Para obtener el biocombustible sólido a partir de los residuos de frutas, para posteriormente ser transformado en briquetas, primero será necesario preparar la biomasa, iniciándose con un proceso de secado, posteriormente la molienda luego el tamizado, para caracterizar la granulometría de las biomásas; con este ensayo se buscará determinar rangos en el tamaño de partícula del material ya triturado, teniendo en

cuenta que para la producción de briquetas, el óptimo debe ser inferior a 3 mm, con el fin de garantizar la compactación y el acabado superficial. Una vez terminado el proceso de molienda se debe realizar un diseño de experimento, con el fin de determinar el número de corridas y las proporciones de cada mezcla, para esto se debe establecer el porcentaje de biomasa y porcentaje de aglomerante como los factores y poder establecer la durabilidad, resistencia a la compresión, poder calorífico. (Hoyos, et al, 2019)

1.2.4. Briquetas

Son biocombustibles sólidos para generar calor, al ser empleados en cocinas, chimeneas, hornos, calderas; es un producto ecológico, catalogado como bioenergía, es sustituto de la leña en zonas rurales, su forma puede ser en forma cilíndrica o como ladrillo.

Las principales ventajas de las briquetas son:

- ✓ Las briquetas son prensadas sin sustancias aglutinantes, únicamente a presión.
- ✓ La reducción de volumen de las briquetas según el tipo de material, hasta 1:20.
- ✓ Las briquetas se fabrican y se venden durante todo el año, se almacenan en verano, utilizando mínimos espacios, 3000-4000 kg/m².
- ✓ Protegidas del contacto directo con el agua, las briquetas pueden ser almacenadas durante años sin que por ello pierdan consistencia.
- ✓ Las briquetas tienen un alto valor calorífico.
- ✓ La combustión de la briqueta es tranquila y constante, no produce humos.

- ✓ Las briquetas no causan prácticamente cenizas volátiles.
- ✓ Las briquetas se pueden quemar en cualquier estufa doméstica o industrial aparte de otras muchas opciones como pizzerías, asadores de carne, fábricas de pan industrial.
- ✓ Las briquetas son transportables y limpias en su manipulación.
- ✓ La fabricación de briquetas es un gran negocio dado que generalmente la materia prima se obtiene de forma gratuita o a un costo mínimo.

1.2.5. Composición de biocombustibles sólidos en briquetas

Los biocombustibles sólidos en briquetas están conformados principalmente por biomasa, como componentes minoritarios están la humedad, materia no extraíble, materia extraíble y aglomerante. La biomasa a su vez está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina.

1.2.6. Castaña (*Bertholletia excelsa*)

Bertholletia excelsa es un árbol de la familia Lecythidaceae, nativo de Sudamérica, endémica de la Amazonia, específicamente de Bolivia, Brasil, sudeste de Colombia, Guyana, Perú y sur de Venezuela. Sus semillas son comestibles, y reciben varios nombres: avellana del Brasil, castaña del Brasil, coquito de Brasil, nuez amazónica, nuez boliviana, nuez de Brasil, castaña de Pará o castaña de monte. (Mori et al, 1990)

1.2.7. Clasificación taxonómica de la castaña (*Bertholletia excelsa*)

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Division: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

SubclaseDillenniidae

Orden: Ericales

Familia: Lecythidaceae

Subfamilia:Lecythidoideae

Género: *Bertholletia*

Especie: *Bertholletia excelsa* (Humb & Bonpl, 1807)

1.3. Definición de términos básicos

1.3.1. Densidad de las briquetas.

La densidad de las briquetas, está en función de la densidad de la materia prima de la cual proviene, cuanto mayor es la densidad de la materia prima empleada mayor será la densidad del producto obtenido. (Ríos et al, 2015)

1.3.2. Poder calorífico.

Se conoce como la cantidad de calor que se genera, por kilogramo o metro cúbico de esa sustancia, al oxidarse de forma completa Así “el poder calorífico es la característica fundamental de un combustible el cual lo define como tal”, se sabe que el poderío del calor nos va a indicar que si son buenos o tal vez malos combustibles. (Ríos et al, 2015)

1.3.3. Humedad.

Es una magnitud que expresa la cantidad de agua en un material sólido y se puede representar en términos de una base de masa seca o de una base de masa húmeda. (Martines, 2010)

1.3.4. Inflamabilidad o temperatura de ignición.

Los combustibles (sólidos, líquidos o gaseosos) no podrán arder si no han alcanzado la temperatura de inflamación o temperatura de ignición. Existen dos temperaturas de ignición, la de auto ignición y la de ignición manejada. La primera es la temperatura mínima en la que una mezcla de gas y aire se enciende, debido a que ha llegado a una temperatura en la que no es necesaria la chispa o llama para provocar fuego. La temperatura de ignición manejada es la temperatura a la cual una mezcla de gas y aire se encienden debido a la presencia de una llama o chispa. (Ríos et al, 2015)

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

Es posible obtener biocombustible sólido (briquetas) a partir de la cáscara del fruto de la castaña (*Bertholletia Excelsa*) mediante la recolección de las cáscaras, cortado, secado, molienda, tamizado, mezclado con aglutinante y briqueteado.

Tabla 1. Operacionalización de las variables

| VARIABLE | DEFINICION | DEFINICION OPERACIONAL | INDICADOR | ESCALA DE MEDICIÓN | FUENTE DE VERIFICACIÓN |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Variable dependiente Poder calorífico | es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. | Para determinar el poder Calorífico del combustible sólido se utilizará el calorímetro adiabático | Calor Temperatura | Razón Intervalo | Ficha de registro Ficha de registro |
| Variable independiente Residuos de biomasa (cáscaras del fruto de castaña) | materia orgánica no fosilizada originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía, aunque puede tener otros usos industriales | Para la elaboración de biocombustible sólido se utilizarán ciertas cantidades de residuos de frutas (cáscaras del fruto de castaña) | Cantidad Humedad | Razón Intervalo | Ficha de registro Ficha de registro |

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

El presente trabajo, tiene **enfoque cuantitativo explicativo**, porque modifica o altera ligeramente a la materia prima para obtener briquetas, para luego analizar el poder calorífico, la humedad, la densidad.

De acuerdo al nivel de profundización en el objeto de estudio, el tipo de investigación es **descriptivo cuasiexperimental**, porque tal como el nombre lo dice, se describió en detalle los fundamentos (secado, molienda, procesado, prensado, humedad, poder calorífico, etc) que se requieren para obtener un biocombustible que permita disminuir las emisiones de dióxido de carbono en la quema de combustibles.

La metodología del presente trabajo, tiene las siguientes fases:

- Recolección de la materia prima (cáscara de castaña)
- Pesado
- Separación parte suave de dura
- cortado
- Secado de la materia prima
- Molienda
- Tamizado de la materia prima
- Preparación de las mezclas (en partes iguales de la parte suave, parte más dura y una mezcla de ambos en proporción 1:1).
- Agregado del aglomerante
- Moldeado de las briquetas por prensado
- Secado de las briquetas
- Caracterización de las propiedades físico-químicas de las briquetas
- Evaluación del poder calorífico de las briquetas.
- Resultados
- Discusión de los resultados
- Recomendaciones

3.2. Diseño muestral

La población para el presente estudio está referida al conjunto de todas las cáscaras de frutos de castaña encontrados en los mercados Belén y modelo de la ciudad de Iquitos (población infinita). El tipo de muestreo es probabilístico, no alterando la variable independiente; se recogieron muestras al azar de cáscaras de castañas de los mercados Belén y Modelo de la ciudad de Iquitos, las cuales dieron un peso de 3000g (6 cáscaras) en el mercado Belén y 3000g (6 cáscaras) en el mercado modelo.

3.3. Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Son procedimientos o actividades realizadas con el propósito de recabar la información necesaria para el logro de los objetivos de una investigación, se refiere al como recoger los datos; la principal técnica que se utilizó fue:

3.3.1. Instrumentos para la recolección de datos:

Se desarrolló por los tesisistas en el campo, los instrumentos empleados fueron:

- Balanza analítica (0 -250 g. precisión 0.0001 g.)
- Estufa (0 – 300°C)
- Molino de martillo
- Prensa Mecánica
- Bomba Calorimétrica Parr Co.
- Cuaderno de apuntes

3.3.2. Técnicas de recolección de datos:

El proceso productivo de elaboración de biocombustible sólido a partir de cáscaras del fruto de castaña (*Bertholletia Excesa*) consta de cuatro etapas:

Etapas 1: Recolección y pesado de la materia prima

Etapas 2: Acondicionamiento de la materia prima

Etapas 3: Elaboración de los biocombustibles (briquetas)

Etapas 4: Caracterización física química del biocombustible

En la página 17 del informe final se muestra el diagrama de bloques y en ella se muestra las acciones realizadas en cada etapa del proceso

En la primera etapa se recolectó la cascara de castaña en los mercados de Belén y Modelo un aproximado de 1500g en cada mercado las mimosas que fueron encontradas en los vendedores de este , los cuales para su comercialización extraen la semilla del fruto y desechan la cascara, para elegir la muestra se realizó un análisis visual desechando aquellos muy húmedos y con signos de descomposición o degradación por acción de roedores u otros animales, la muestra se llevaron al laboratorio y se verifico el peso.

En la segunda etapa las muestras recolectadas se procedieron a la separación de la parte suave de la dura con la acción de un cuchillo manual en lo que respecta a la parte dura con la ayuda de un machete se redujo a trozos de aproximadamente 3 cm de largo por 2 cm de ancho y se sometió a un secado colocando las muestras en una estufa a 120 C por

espacio de 4 horas, luego se procedió a reducir a un tamaño menor ambas muestra con la ayuda de un molino de martillado ubicado en la planta piloto de la FIQ hasta obtener partículas finas de aproximadamente 3mm. Con el fin de garantizar la compactación y el acabado final del biocombustible durante el prensado.

En la tercera etapa se procedió a elaborar las briquetas para lo cual una primera muestra se elaboró con 100% de la cascara suave, otra con 100% de la cascara dura y otra con una mezcla de 50% de cascara dura y 50% de cascara suave; a cada una de ellas se agregó aglomerante utilizando un engrudo de almidón colocando un equivalente al 10% del peso de cada muestra luego se pasó por una prensa manual existen en el laboratorio de la físico química, obteniendo briquetas de formas cilíndrica con alturas variables de 12 mm. De diámetro.

Las briquetas elaboradas para cada muestra se colocaron en una estufa para lograr la compactación con el aglomerante; la T de la estufa fue de 120 C durante 4 horas.

En la cuarta etapa se procedió a determinar las propiedades fisicoquímicas de las briquetas, como la humedad, la densidad, el poder calorífico y el tiempo de ignición o la inflamabilidad.

En el caso del poder calorífico se utilizó una bomba calorimétrica existente en el laboratorio de físico química de la FIQ – UNAP

- Se realizaron los pasos a seguir durante la observación de la toma de muestras y los análisis de laboratorio.
- Procedimiento de análisis.

3.3.3. Etapa de campo

El recojo de muestras se realizó en bolsas de polietileno de 10 Kg de capacidad desde los puestos de venta de frutos de castaña que en su mayoría correspondía a vendedores ambulantes que venden estos productos y otros productos agrícolas en los mercados (Belén y Modelo), de la ciudad de Iquitos, para posteriormente ser llevados al laboratorio.

3.3.4. Etapa de laboratorio

Los parámetros no determinados en el campo, se realizaron en el laboratorio, durante esta etapa se realizaron las siguientes actividades: pesado, cortado, secado, molienda, tamizado, briqueteado por prensado, determinación de la humedad y del poder calorífico de las briquetas.

3.3.5. Protocolo de monitoreo en laboratorio

Las muestras obtenidas en campo (mercados Belén y Modelo), fueron llevados al laboratorio de Química analítica de la facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana ;donde inicialmente fueron pesados en una balanza analítica, para posteriormente ser depositados en una mesa y con la ayuda de cuchillos se procedió a la separación de la cáscara suave y la cáscara dura , luego con la ayuda de sierras se procedió al cortado en trozos de regular tamaño (3cm de largo por 2 cm de ancho aproximadamente), para proceder al proceso de secado los trozos cortados se colocaron por separado (parte suave y parte dura) en una estufa a una temperatura de 120°C por espacio de 4 horas, el siguiente paso fue la molienda de ambas partes , este procedimiento se realizó en un molino de martillos ubicado en la planta piloto de alcohol

de la facultad de Ingeniería Química ubicado en la calle Freyre N° 616, el producto obtenido en la molienda se tamizó con la finalidad de tener homogeneidad en tamaño de partículas de ambas partes (suave y dura), posteriormente se agregó el aglomerante y se formaron los briquetas utilizando una prensa de laboratorio; la cual está ubicado en el laboratorio de fisicoquímica de la FIQ ubicado en el local central, luego las briquetas obtenidos en la prensa se colocaron en una estufa a una temperatura de 100°C por un tiempo de 4 horas, obteniéndose las briquetas secas, para proceder a determinar el poder calorífico de los briquetas se utilizó una bomba calorimétrica ubicado en el mismo laboratorio.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

La materia prima utilizada, son las cáscaras de los frutos de castaña (*Bertholletia Excelsa*), las cuales después de ser recolectadas en los mercados de Belén y modelo, fueron llevadas a los laboratorios de química analítica, planta piloto de alcohol y laboratorio de físico química de la facultad de Ingeniería Química para realizar los trabajos experimentales, el diagrama de bloques, nos muestra las diferentes etapas del proceso hasta obtener el producto final.

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA OBTENER BICOMBUSTIBLE SOLIDO
A PARTIR DE CÁSCARA DE LOS FRUTOS DE CASTAÑA

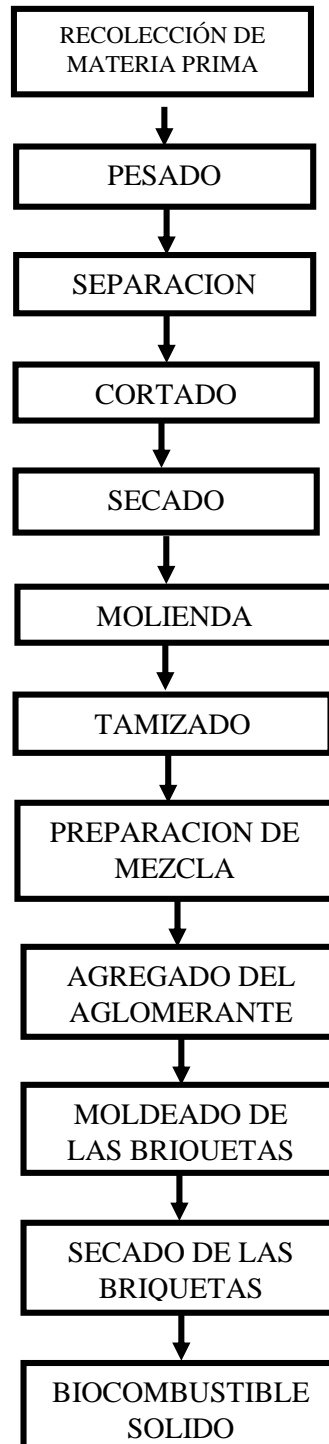


Diagrama 01.

3.5. Análisis Físico químico de la cáscara del fruto de la castaña (*Bertholletia Excelsa*)

3.5.1. Determinación de Humedad (Método: Estufa)

Procedimiento.

- Se pesó 20 g de cáscara de castaña seca y molida de cada muestra en una cápsula de porcelana y se llevó a la estufa a temperaturas entre (100-105°C).
- Finalizando la determinación cuando se obtiene dos pesadas iguales.

Cálculos: La diferencia entre el peso original y el peso constante, corresponde a la cantidad de agua de la muestra.

$$\%H = \frac{W_{inicial} - W_{const}}{W_{inicial}} \times 100 \text{ Porcentaje de agua}$$

Porcentaje de la materia seca: Se obtuvo por diferencia.

3.5.2. Determinaciones de Ceniza (Método: Mufla) a 600°C

Procedimiento.

- Se pesó 5 g de cascara de castaña seca y molida en un crisol de porcelana.
- Se colocó el crisol en la mufla calibrada a una temperatura de 600°C y se dejó secar por un tiempo de 2 horas.
- Después de la calcinación se enfrió y pesó hasta peso constante.

Cálculo:

$$\%C = \frac{W_{ceniza}}{W_{materia\ inicial}} \times 100$$

3.5.3. Determinación de Grasa (Método: Soxhlet).

Procedimiento.

- Se pesó 4 gramos de cascara de castaña molida y seca.
- Se colocó en un cartucho tarado de papel filtro.
- Luego se colocó en el extractor Soxhlet. Previamente se pesó el balón.
- Se cargó con el disolvente apropiado con una cantidad suficiente para que se realice el sifoneo.
- La extracción se realizó manteniendo en contacto la muestra con el disolvente, hasta que el disolvente que sale por el sifón sea incoloro lo cual se logró después de 4 horas.

Cálculos:

$$\%Grasa = \frac{W_{grasa}}{W_{inicial}} \times 100$$

3.5.4. Determinación de Fibra (Método-Digestión Ácido –Básico).

Procedimiento.

- Se pesó 2 gramos de cascara de castaña molida, seca y desengrasada.
- Ponerlos en un matraz de Erlenmeyer de 750 ml.
- Agregar 200 ml de ácido sulfúrico al 10 %. (25 ml H₂SO₄ 10% llevados a 200 ml) agitar la mezcla
- Calentar el contenido del matraz hasta ebullición, dejar hervir durante 30 minutos exactamente.
- Luego filtrar.
- Colocar el residuo en un matraz de 750 ml y aplicar 200 ml de NaOH al 10% (25 ml NaOH 10% llevados a 200 ml) calentar por 30 minutos.
- Pesar el papel filtro, Filtrar enseguida, lavar el residuo con etanol.
- Desecar en la estufa.
- Pesar hasta peso constante.

Cálculos:

$$\%F = \frac{W_{fibra}}{W_{materia\ inicial}} \times 100$$

3.5.5. Determinación de Proteínas. (Método: Kjeldahl).

Procedimiento

- Pesar 0,1 gramo de materia seca desengrasada.
- En un balón apropiado colocar la muestra con 1,5 g de sulfato de potasio y 0,1g de sulfato de cobre y 5 ml de H₂SO₄ concentrado
- Luego colocar en el digestor hasta observar un color verde agua marina o ligeramente azulado operar bajo la campana de gases. Dejar enfriar el balón.
- Añadir 30 ml de agua destilada.
- Aparte en un matraz de 125 ml colocar 5 ml de H₂SO₄ 0,25N y gotas del indicador rojo de metilo.
- Colocar en el destilador la muestra y NaOH 1:1 Hasta que se torne a un color negro, dejar destilar Kjeldahl hasta el doble del volumen del H₂SO₄.
- Luego se titula con NaOH 0,25N hasta que vire a color amarillo.

Cálculos:

$$\%Nitrógeno = \frac{\#meq\ reacciona \times 0,014}{W_{muestra\ inicial}} \times 100$$

$$\#meq\ reacciona = \#meq\ inicial\ H_2SO_4 - \#meq\ NaOH\ reaccionan$$

$$\%Proteína = \%Nitrógeno \times F, F = Factor\ de\ conversion$$

3.5.6. Determinación de carbohidratos

Se determina por la diferencia entre 100 y la suma de las proporciones centesimales de los componentes: agua, cenizas, grasa, fibra y proteína.

$$\text{Carbohidratos} = 100 - (\text{agua, ceniza, grasa, fibra y proteína})$$

3.5.7. Determinación del valor calórico.

El valor calórico se calcula de la siguiente forma.

$$4(\% \text{ Proteína}) + 9 (\% \text{Grasa}) + 3,75 (\text{Carbohidratos}).$$

3.6. Análisis físico químico del biocombustible sólido obtenido a partir de la cáscara de castaña (*Bertholletia Excelsa*).

3.6.1. Determinación del contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad en el biocombustible sólido obtenido se tomaron tres muestras de cada briqueta obtenida (tres briquetas obtenidas de la parte suave, tres de la parte dura y tres de la mezcla de ambas en proporción 1:1), se procedió a pesar 10 g de cada una de ellas, se colocaron en una capsula de porcelana y se colocaron en una estufa a una temperatura entre 100-105 °C,

Donde se mantuvo por espacio de 24 horas y se terminó cuando dos pesadas arrojaron un peso constante; luego se determinó la humedad por medio de la fórmula de diferencia de peso.

$$\%H = \frac{W_{inicial} - W_{const}}{W_{inicial}} \times 100 \text{ Porcentaje de agua}$$

Porcentaje de la materia seca: Se obtuvo por diferencia.

3.6.2. Determinación del poder calorífico.

La determinación del poder calorífico del biocombustible sólido obtenido en el presente estudio de investigación se realizó en el laboratorio de Físico química de la facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de la Amazonía peruana, para ello se utilizó una bomba calorimétrica, siguiendo un protocolo de medición, esto se realizó en dos etapas:

Primero se calibro la bomba calorimétrica utilizando pastillas de ácido benzoico.

Seguidamente se determinó el poder calorífico de las briquetas obtenidas para cada muestra para lo cual, se eligieron briquetas de aproximadamente 1 g, se introdujeron en la capsula para la combustión sobre el cual se ha montado el fusible (alambre de tungsteno), se introdujo el oxígeno necesario y se realizó la ignición de la muestra, controlando la variación de la temperatura del agua, terminando la prueba cuando la temperatura se mantuvo constante. Finalmente se determinó el poder calorífico utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta H^* = \frac{C_{C\ bomba} \times \Delta T - Q_z}{m}$$

Donde: ΔH^* = Poder calorífico del material

C_c = Capacidad calorífica del calorímetro (3018.722 cal/grado)

Q_z = Calor del fusible (20 cal)

ΔT = Variación de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$).

m = masa del material (g)

3.7. Aspectos éticos

Para que esta investigación se sustentará en los principios de la ética, en esta investigación, se protegerá la propiedad intelectual mediante la cita de los diferentes trabajos utilizados, se protegió a la sociedad en el proceso investigativo; además no se trabajará con seres humanos ni animales.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

RESULTADOS

4.1. Características fisicoquímicas de la cáscara de la castaña (*Bertholletia Excelsa*)

Tabla 2.

| DETERMINACIONES | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | PROMEDIO | DS |
|------------------------------|-----------|-----------|----------|------------|
| Humedad (%) | 22,93 | 22,85 | 22,89 | 0.05656854 |
| Cenizas (%) | 4,57 | 3,82 | 4,20 | 0.53033009 |
| Grasa (%) | 0,62 | 0,68 | 0,65 | 0.04242641 |
| Fibra (%) | 56,48 | 57,10 | 56,79 | 0.4384062 |
| Proteína (%) | 3,27 | 3,04 | 3,16 | 0.16263456 |
| Carbohidratos (%) | 6,01 | 7,06 | 6,54 | 0.74246212 |
| Energía (Kcal/100 g muestra) | 35,97 | 39,07 | 37,52 | 2.19203102 |

4.2. Características fisicoquímicas de las Briquetas

Tabla 3. Diseño de un solo factor

| CORRIDAS | PROPORCIÓN (%) | |
|----------|----------------|------|
| | SUAVE | DURA |
| 1 | 100 | 0 |
| 2 | 50 | 50 |
| 3 | 0 | 100 |

4.2.1 Poder calorífico de las briquetas

Tabla 4. TRATAMIENTO 1: Muestra parte dura

| MUESTRA | PESO (g.) | ΔT | PODER CALORÍFICO (Kcal/Kg) |
|---------|-----------|------------|----------------------------|
| M1 | 1 | 4,5 | 13568,249 |
| M2 | 1 | 4,2 | 12662,6324 |
| M3 | 1 | 1,5 | 12058,888 |
| M4 | 1 | 4,0 | 13266,3768 |
| M5 | 1 | 4,3 | 12964,5046 |
| M6 | 1 | 4,35 | 13115,4407 |

Tabla 5. TRATAMIENTO 2: Muestra parte suave

| MUESTRA | PESO (g.) | ΔT | PODER CALORÍFICO (Kcal/Kg) |
|----------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| M1 | 1 | 1,3 | 39087,3386 |
| M2 | 1 | 1,8 | 5417,6996 |
| M3 | 1 | 1,5 | 4512,083 |
| M4 | 1 | 1,4 | 4210,2108 |
| M5 | 1 | 1,6 | 4813,9552 |
| M6 | 1 | 1,7 | 5115,8272 |

Tabla 6. TRATAMIENTO 3: Muestra mezclada 50% parte dura y 50% parte suave

| MUESTRA | PESO (g.) | ΔT | PODER CALORÍFICO (Kcal/Kg) |
|----------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| M1 | 1 | 2,3 | 6927,0606 |
| M2 | 1 | 2,5 | 7530,805 |
| M3 | 1 | 2,8 | 8436,4216 |
| M4 | 1 | 2,4 | 7228,9328 |
| M5 | 1 | 2,6 | 7832,6772 |
| M6 | 1 | 2,5 | 7530,805 |

En todas las muestras se utilizó como aglomerante engrudo de almidón de yuca un equivalente al 10% del peso de la muestra.

4.2.2. Determinación de la densidad de las briquetas

Tabla 7. dimensiones de las briquetas

| N° BRIQUETAS | MAT PRIMA | DIAMETRO (mm.) | ALTURA (mm.) |
|--------------|---------------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | Parte suave (PS) | 12 mm. | 16 mm. |
| 2 | Parte dura (PD) | 12 mm. | 24 mm. |
| 3 | Proporción 1:1 (PS.PD) | 12 mm. | 18 mm. |

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del volumen.

Volumen = área x altura

Área = $3.1416 \times D^2 / 4$

Volumen = $3.1416 \times D^2 \times H / 4$

Cálculo de la densidad

$$densidad = \frac{m}{V}$$

Tabla 8. Densidad de las briquetas

| N°BRIQUETAS | MAT PRIMA | VOLUMEN (Cm³) | DENSIDAD (g/cm³) |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 | Parte suave (PS) | 1,809 | 1,105 |
| 2 | Parte dura (PD) | 2,714 | 0,737 |
| 3 | Proporción 1:1 (PS.PD) | 2,035 | 0,983 |

Tabla 9. Tiempo de combustión del biocombustible

| Muestra | Poder Calorífico (Kcal/Kg) | Tiempo de Combustión (min) |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| M1(parte dura) | 12939 | 16 |
| M2(parte suave) | 4663 | 6 |
| M3(mezcla 1:1) | 7581 | 10 |

4.3. Análisis estadísticos

1.- Promedios del poder calorífico de los diferentes combustibles obtenidos con diferentes tratamientos.

Tabla 10. Media del poder calorífico (Kcal/Kg) obtenido en los diferentes tratamientos.

| TRATAMIENTOS | N | Media | Desv.Est. | IC de 95% |
|--------------|---|-------|-----------|----------------|
| 1 | 6 | 12939 | 526 | (12472; 13407) |
| 2 | 6 | 4663 | 565 | (4195; 5131) |
| 3 | 6 | 7581 | 520 | (7113; 8049) |

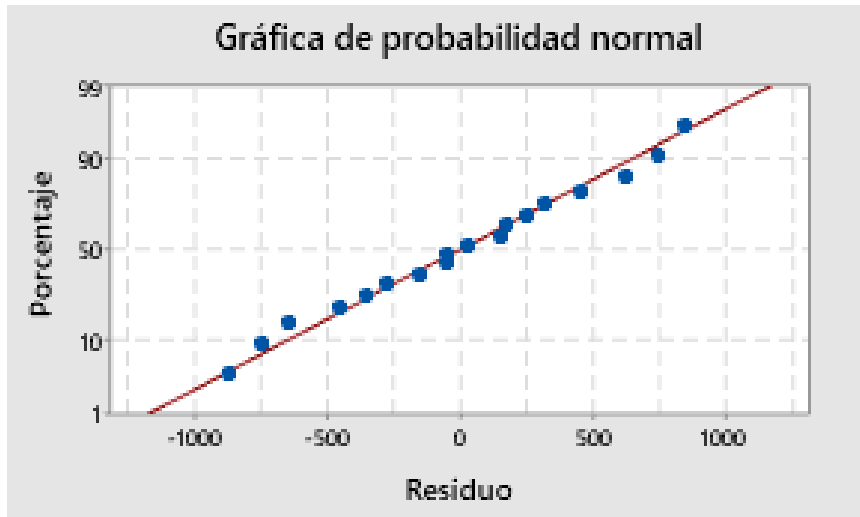
Desv.Est. agrupada = 537.421

En la tabla 1, se describe los valores medios y su desviación estandar, de los resultados del poder calorifico obtenidos en los combustibles con los diferentes tratamientos según el diseño experimental planteado, en donde se puede observar que en con el tratamiento 1 se obtuvo el mejor rendimiento con un valor de 12939 Kcal/Kg, seguido de la muestra 3 con un valor 7581 Kcal/kg , seguidos de la muestra 2 con un valor de 4663 Kcal/Kg.

2.- Análisis de la variabilidad (ANOVA) de los promedios del poder calorífico versus los tratamientos.

2.1 Análisis de la normalidad de los valores del poder calorífico observados en los combustibles obtenidos en los diferentes tratamientos.

Figura 1: Gráfica de probabilidad normal de los residuos.



La gráfica 1 de probabilidad normal de los residuos, muestra a los puntos obtenidos al graficar los valores residuales, observándose que estos se encuentran distribuidos uniformemente sobre la línea roja, indicándonos que las observaciones del poder calorífico provienen de una población con distribución normal, este resultado es suficiente para considerar relevante el análisis de varianza.

2.2 Análisis de varianza

Método

| | |
|------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Hipótesis nula | Todas las medias son iguales |
| Hipótesis alterna | No todas las medias son iguales |
| Nivel de significancia | $\alpha = 0,05$ |
| Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis. | |

Tabla 11. Análisis de Varianza

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------|-----------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| MUESTRA | 2 | 211447143 | 105723571 | 366,05 | 0,000 |
| Error | 15 | 4332321 | 288821 | | |
| Total | 17 | 215779464 | | | |

La tabla 2 del ANOVA, nos indica que con una probabilidad de error de $P = 0,000$ al menos uno de los valores medios del poder calorífico obtenidos de los tres tratamientos uno presenta diferencia estadística significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 12. Resumen del modelo

| S | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) | R-cuad. (pred) |
|----------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 537,421 | 97,99% | 97,72% | 97,11% |

El coeficiente de determinación R-cuad (ajustado) del modelo explica en un 97,72% a la variabilidad del poder calorífico del combustible con respecto a los efectos que tienen los diferentes tratamientos empleados para su elaboración.

2.3 Comparaciones en parejas de Tukey

Tabla 13. Prueba de Tukey de los valores medios del poder calorífico para un nivel de confianza de 95%.

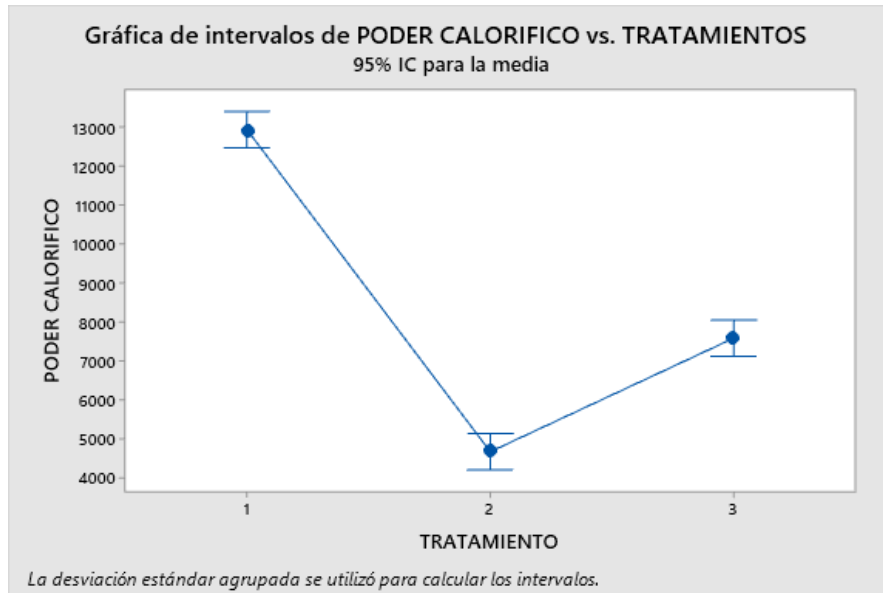
| TRATAMIENTOS | N | Media | Agrupación |
|---------------------|----------|--------------|-------------------|
| 1 | 6 | 12939 | A |
| 3 | 6 | 7581 | B |
| 2 | 6 | 4663 | C |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 4 de la prueba de Tukey, nos muestra que los valores medios del poder calorífico obtenidos en los diferentes tratamientos, observándose que no comparten las mismas letras entre sí, por lo que podríamos decir que estos valores presentan una diferencia estadística significativa con un nivel de confianza del 95%.

2.4 Comparación de las medias sus intervalos de confianza

Figura 2: Gráfica de los intervalos de poder calorífico vs tratamientos



La fig. 2 muestra la gráfica de los intervalos de confianza de los valores del poder calorífico obtenidos con sus respectivas medias para los diferentes tratamientos empleados en la elaboración del combustible. Observándose que estos intervalos no se interceptan entre sí, lo que nos indica que los valores medios obtenidos presentan diferencia estadística significativa para un nivel de confianza del 95%.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los valores obtenidos del poder calorífico de las briquetas como biocombustibles sólidos a partir de las cáscaras de castaña (*Bertholletia Excelsa*) se encuentran dentro de los rangos obtenidos con otros autores a partir de otras materias primas, como es el caso del estudio realizado por (Mendoza et al, 2017) obtuvieron briquetas a partir de tusa de maíz con poder calorífico de 17,5 MJ/kg (4179.88 Kcal/kg) y un porcentaje de azufre de 0,4%, el estudio realizado por (Ortiz,2008) obtuvo biocombustibles sólidos de restos del aserradero con poder calorífico de 4777,55 Kcal/Kg, Corteza de eucalipto joven triturada 3871.20 Kcal/Kg, Corteza de eucalipto adulto 3526,38 Kcal/Kg. Mientras que (López & Robalino, 2021) obtuvieron biocombustibles sólidos a partir de residuos de frutas (naranja, piña, cocona) con poder calorífico M1:9549,74 Kcal/kg, M2:95551 Kcal/kg, M3:9671,36 Kcal/Kg, M4:9483,4 Kcal/Kg

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

1. Se determinó las características fisicoquímicas de la cáscara de castaña (*Bertholletia Excelsa*), los resultados se muestran en la tabla 2 página 27
2. Se obtuvo biocombustible sólido a partir de la cáscara de castaña (*Bertholletia Excelsa*) en briquetas utilizando la parte suave, la parte dura, y una mezcla de ambas en proporción de 50-50, en todos los casos se utilizó como aglomerante una solución de almidón 10%. El diagrama de bloques se muestra en la página 18
3. Se realizó la caracterización fisicoquímica del biocombustible sólido obtenido, los resultados se muestran en las tablas 3 al 8, páginas 27 al 30 de los cuales se establece que la muestra 1, correspondiente al biocombustible obtenido de la parte dura de la cascara de castaña con un poder calorífico de 129398 kcal /kg, con un tiempo de combustión de 16 minutos, es el más óptimo para tener una mejor combustión energética.

Por lo que se concluye que es posible obtener biocombustibles sólidos a partir de la cascara de castaña (*Bertholletia Excelsa*).

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar cáscaras de castaña que no presenten rasgos de degradación donde pueda acumularse excesiva humedad, lo cual incrementa el tiempo de secado.
2. Realizar trabajos de investigación sobre biocombustibles sólidos utilizando otras cáscaras y semillas de frutos regionales, lo cual permitiría clasificarlos de acuerdo a su poder calorífico para su utilización más adecuada y así disminuir la tala de los bosques.
3. Realizar estudios de prefactibilidad para la instalación de una planta industrial de briquetas a partir de cascara de castaña (*Bertholletia Excelsa*).
4. Realizar campañas de difusión orientadas a Incentivar el uso de los biocombustibles sólidos en la población demandante de este producto.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BARRERA, J. 2009. *"Briquetas, la mejor forma de reutilizar los residuos forestales"*. Arauco, Colombia, 2012. [Consultado el: 29 septiembre 2018]. Disponible en: Disponible en: http://www.revista-mm.com/ediciones/rev69/insumos_briquetas.pdf

VAKKILAINEN, Esa Kari. 2017. *"Solid biofuels and combustión"*. [en línea 14 junio 2018] [Fecha de consulta: 01 de marzo 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804389-9.00002-2>

BONASSA, Gabriela; et al. 2018. *"Scenarios and prospects for the use of solid biofuels in Brazil"*. [en línea 21 Agosto 2017] [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>

GARRIDO, S. G. 2009. *"Centrales termoeléctricas de biomasa"*, Madrid, Renovetec.

HOYOS ÁLVAREZ, Camilo Andrés; GONZÁLEZ DORIA, Yahir Enrique; MENDOZA FANDIÑO, Jorge Mario. 2019. *"Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de la mezcla de dos biomásas residuales, un aglomerante a base de yuca y carbón mineral, propios del departamento de Córdoba"*, Revista chilena de ingeniería.

MARTINES, Enrique L. & LIRA Leonel C. 2010. *"Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos"*. Centro de metrología, Municipio el Marqués, Queretaro

MORI, Scott A. & PRANCE G. T. 1990. *"Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl.: Lecythydaceae)". Selective Advances in Economic Botany 8: 130-150.*

Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Bertholletia_excelsa

KONSTANTINO, k; et al. 2018. *"Fast Determination of Fuel Properties in Solid Biofuel Mixtures by Near Infrared Spectroscopy"*. [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.476>>

MENDOZA FANDIÑO, Jorge Mario & GÓMEZ VÁSQUEZ, Rafael David. 2017. *"Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba"*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 25 N°4, 2017

MITAN, Nona Merry; et al. 2018. *"Performance of binders in briquetting of durian peles a solid biofuels"* [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.028>>

ORTIZ TORRES, Luis. 2008. *""PRODUCCION DE BIOCMBUSTIBLES SOLIDOS DE ALTA DENSIDAD DE ESPAÑA, Universidad de Vigo E.U.I.T. Forestal Campus A Xunqueira, s/n 36005 Pontevedra. España Boletín del CIDEU 5:107-123(2008) ISSN 1885-5237*

LOZANO GARCÍA, Maicol Junior. 2020. *"Ministerio de ambiente – castaña amazónica -Perú 2020) (tecnologías de conservación de tres cultivos: ananas comosus (piña)poraqueiba seícea (umari) y bertholletia excelsa (castaña), en parcelas típicas de productores, en la ciudad de tamishiyacu, región loreto"*. UNAP-2020

LÓPEZ DEL RIO, Jhofre Pablo e ROBALINO INUMA Moisés. 2021. *"Obtencion de biocombustible solido a partir de residuos de frutas"*, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, 2021

ORTIZ, L. 1989. *"Compactación de biomasa residual, en la biomasa como fuente de energía y productos para la agricultura y la industria"*, Madrid.

RIOS, Inés; et al. 2015. *"Biocombustibles sólidos: una solución al calentamiento global"*, México.

SALINAS CALLEJAS, Edmar; GASCA QUEZADA, Víctor. 2009. *"Los biocombustibles"*. El Cotidiano, núm. 157, septiembre-octubre, 2009, pp. 75-82
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco Distrito Federal, México

CZEKAŁA, Wojciech; et al. 2018. *"The energy value and economic efficiency of solid biofuels produced from digestate and sawdust"*. [en línea 14 Junio 2018] [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.090>>

ANEXOS

Anexo 1

HOJA DE TRABAJO 1

ANOVA de un solo factor: PODER CALORIFICO vs. MUESTRA

Método

| | |
|------------------------|---------------------------------|
| Hipótesis nula | Todas las medias son iguales |
| Hipótesis alterna | No todas las medias son iguales |
| Nivel de significancia | $\alpha = 0.05$ |

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

| Factor | Niveles | Valores |
|---------|---------|---------|
| MUESTRA | 3 | 1; 2; 3 |

Análisis de Varianza

| Fuente | GL | SC | Ajust. MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------|----|-----------|------------------|---------|---------|
| MUESTRA | 2 | 211447143 | 105723571 | 366.05 | 0.000 |
| Error | 15 | 4332321 | 288821 | | |
| Total | 17 | 215779464 | | | |

Resumen del modelo

| | | | |
|---------|-------------------------|----------------|-----------|
| | R- | R-cuad. | R- |
| | cuad. (ajustado) | (pred) | |
| <hr/> | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| 537.421 | 97.99% | 97.72% | 97.11% |

Medias

| MUESTRA | N | Media | Desv.Est. | IC de 95% |
|----------------|----------|--------------|------------------|-------------------|
| 1 | 6 | 12939 | 526 | (12472; 13407) |
| 2 | 6 | 4663 | 565 | (4195; 5131) |
| 3 | 6 | 7581 | 520 | (7113; 8049) |

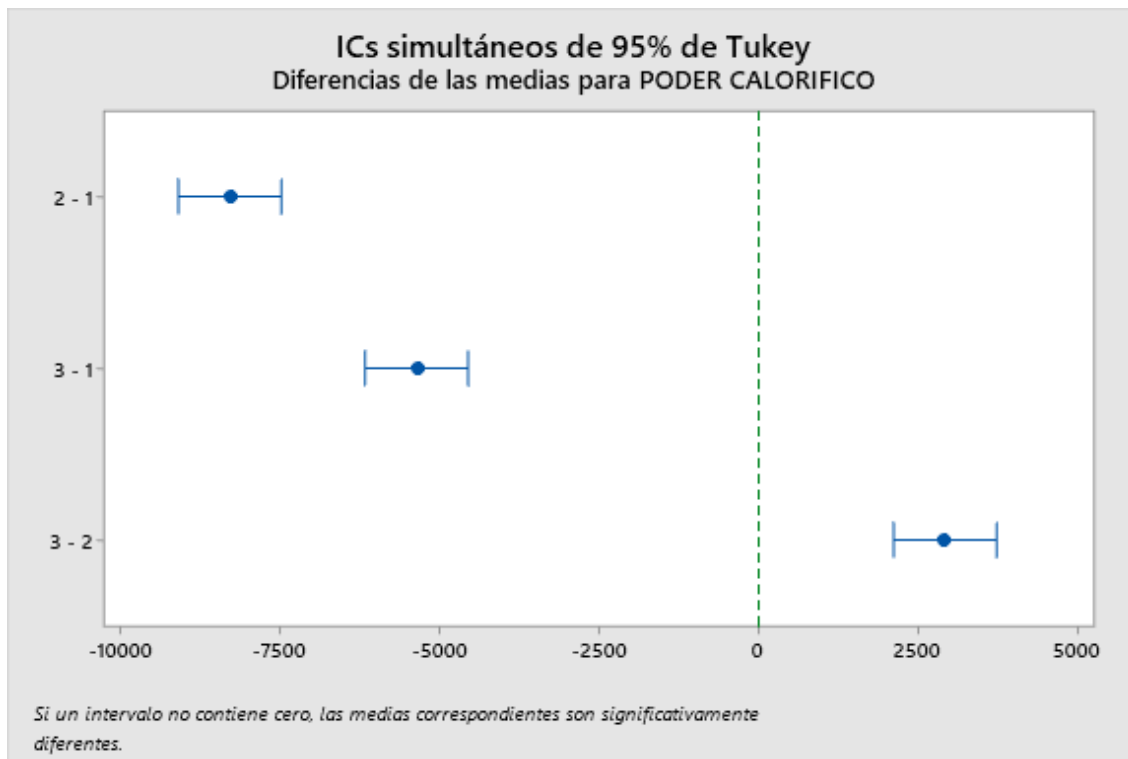
Desv.Est. agrupada = 537.421

Comparaciones en parejas de Tukey

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

| <u>MUESTRA</u> | <u>N</u> | <u>Media</u> | <u>Agrupación</u> |
|----------------|----------|--------------|-------------------|
| 1 | 6 | 12939 | A |
| 3 | 6 | 7581 | B |
| 2 | 6 | 4663 | C |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Comparaciones en parejas de Fisher

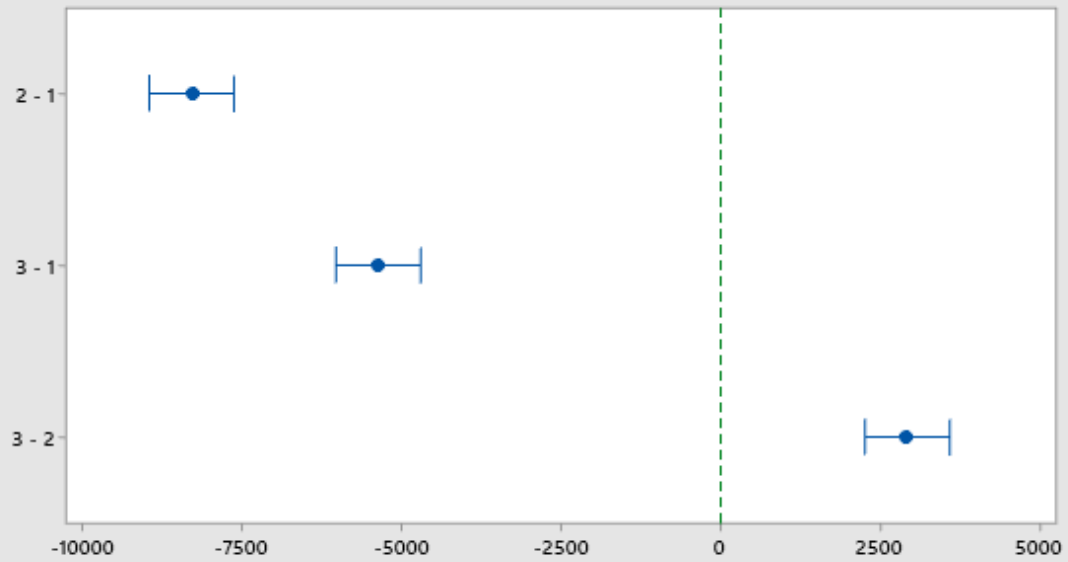
Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

MUESTRA N Media Agrupación

| | | | |
|---|---|-------|---|
| 1 | 6 | 12939 | A |
| 3 | 6 | 7581 | B |
| 2 | 6 | 4663 | C |

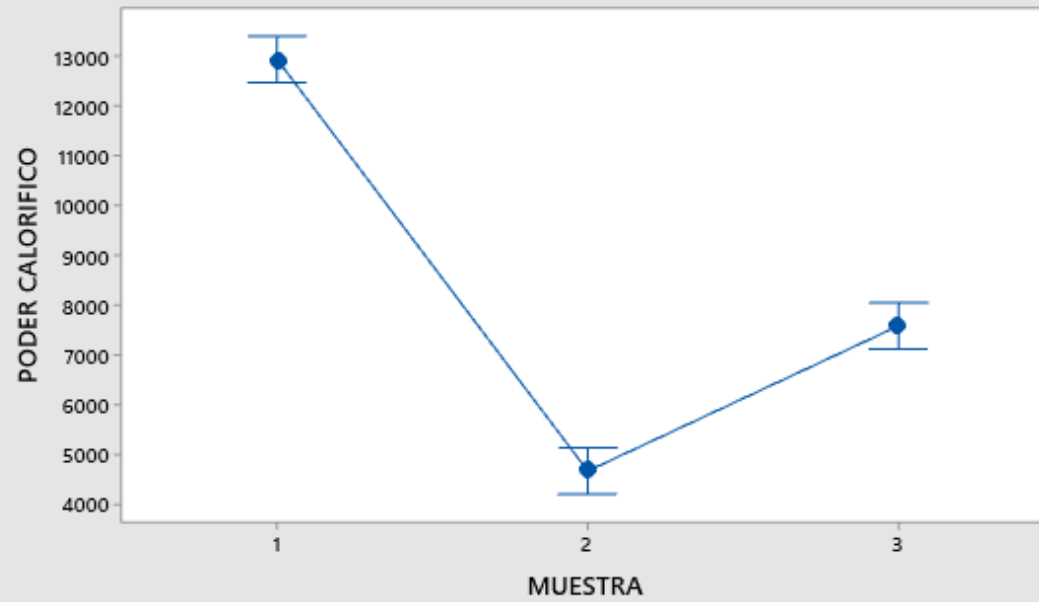
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ICs individuales de 95% de Fisher
Diferencias de las medias para PODER CALORIFICO



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

Gráfica de intervalos de PODER CALORIFICO vs. MUESTRA
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Anexo 2: Panel fotográfico



