

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera  
y fibras de semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.)  
para su uso como combustible sólido.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:**

Bach. KAREN MELISSA ESPIRITU RIOS

**ASESOR:**

Ing. MSc. JOSÉ FLORES FLORES

**CO – ASESOR:**

Ing. MSc. JESSY ISABEL VARGAS FLORES

**YARINACOCHA – PERÚ**

**2021**



## ANEXO 16: ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En el distrito de Yarinacocha, reunidos en forma virtual a través de la Plataforma Google Meet, siendo las 10:00 am del día 12 de marzo de 2021, se reunió el Jurado de Tesis, presidido por el **Dr. Boris Mirko CHAVEZ CABELLOS**, e integrado por el **Ing. Darwin Josué ESTACIO ALBORNOZ** y el **Ing. Caleb LEANDRO LAGUNA** en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de la tesis titulada: **Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) para su uso como combustible sólido**, cuya responsabilidad corresponde a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **Karen Melissa ESPÍRITU RÍOS**, a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**.

Terminada la el autor de la tesis respondió a las preguntas formuladas por los miembros del jurado, cuya evaluación se consolida según la tabla y parámetros cuantitativos que siguen:

JURADO DE TESIS		NOTA
<b>Presidente</b>	Dr. Boris Mirko CHAVEZ CABELLOS	<b>12</b>
<b>Miembro</b>	Ing. Darwin Josué ESTACIO ALBORNOZ	<b>20</b>
<b>Miembro</b>	Ing. Caleb LEANDRO LAGUNA	<b>20</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>17</b>

El Jurado después de deliberar y calificar los aportes de la tesis y la fundamentación del sustentante, compatibilizó el resultado cuantitativo con la tabla cualitativa equivalente sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes declara la sustentación como **APROBADO con OBSERVACIONES** asignándole un calificativo de **REGULAR (17)** puntos, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

Siendo las 12:00 horas del mismo día se dio por terminado el acto firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

 ..... Dr. Boris Mirko Chávez Cabellos	 ..... Ing. Darwin Josué Estacio Albornoz MIEMBRO	 Ing° Caleb Leandro Laguna CIP 66597 MIEMBRO
--	---	---



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

## CONSTANCIA

N°0059

### ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO TURNITIN

La Biblioteca Central, hace constar por la presente, que le informe Final (Tesis) titulado:

**PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS VEGETALES UTILIZANDO EL ASERRIN DE MADERA Y FIBRAS DE SEMILLA DE PALMA ACEITERA (ELAEIS GUINEENSIS JAQC.) PARA SU USO COMO COMBUSTIBLE SOLIDO.**

Cuyo autor es : **ESPÍRITU RÍOS, KAREN MELISSA.**

Facultad : **FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES**

Escuela Profesional : **INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL.**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 9%.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecido en el **artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO**, aprobada con **RESOLUCIÓN N°164-2021-UNIA-CO**, el cual indica que no se debe superar el 24%. Se declara, que el trabajo de investigación: **SI contiene un porcentaje aceptable de similitud y/o plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.**

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 21/10/2021

  
UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL  
DE LA AMAZONÍA - UNIA  
**Dr. Je. de Taylor Dávila Francia**  
Jefe de la Biblioteca Central UNIA

*La primera universidad intercultural del Perú*

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis en primer lugar a papá DIOS, a mis padres quienes me dieron vida, apoyo, fortaleza en todo momento, a mis hermanos, maestros y amigos que sin su ayuda este sueño no se hubiera hecho realidad. Doy gracias a todos ellos que han formado parte de este proceso desde el fondo de mi corazón.

**Karen Espiritu**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis primeros agradecimientos son para Dios por abrirme el camino para alcanzar este logro, a la universidad Nacional Intercultural de la Amazonia por brindarme la oportunidad de crecer como persona desde el primer día de clase, en esta investigación recibí el apoyo de varias personas que me orientaron de forma incondicional Ing. Iván Salvador decano de la facultad de ciencias forestales de la Universidad Nacional de Ucayali, Agradezco a la facultad de Ingeniería Agroindustrial por formarme profesionalmente con docentes de alto nivel académico.

En el periodo de ejecución de esta tesis mis agradecimientos al Ing. Cristian Fachin. A mi asesor al Mg. José Flores Flores quien me acompañó y me oriento en este trabajo. A mi Co-asesora la Ing. Jessy Isabel Vargas Flores por su apoyo y asesoría. A Ing. Ramiro Salas, Economista Filadelfo Flores Buitrón a todos ellos de una manera u otra con su empatía me impulsaron a terminar esta investigación.

Finalmente, un reconocimiento especial para mi familia mi esposo mis hijos Liam Salvador Pardave Espiritu y Jakzon Abdiel Pardave Espiritu que son el motor y motivo que siempre están a mi lado apoyándome a lo largo de este camino y con su soporte logaron hacer de mí un gran ser humano y profesional.

# ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1. Antecedentes de la investigación .....	2
2.2. Bases teoricas .....	5
2.2.1. Aserrín.....	5
2.2.2. Palma aceitera ( <i>Elaeis guinensis</i> J.).....	6
2.2.3. Fibras semilla de la palma aceitera.....	7
2.2.4. Producción de briquetas .....	7
2.2.5. Proceso de producción.....	8
2.2.6. Parámetros tecnológicos de las briquetas .....	9
2.2.7. Requisitos para las briquetas.....	11
2.2.8. Características energéticas de las briquetas .....	12
2.3. Definición de términos básicos .....	12
2.3.1. Biocombustible .....	12
2.3.2. Biomasa .....	12
2.3.3. Briquetas .....	13
2.3.4. Briquetado .....	13
2.3.5. Combustible solido .....	13
2.3.6. Densidad aparente .....	13
2.3.7. Energía calorífica .....	13
2.3.8. Propiedades físicas .....	13
2.3.9. Moldeado.....	13
2.3.10. Propiedades químicas.....	13
III. MÉTODOS.....	14
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio .....	14
3.1.1. Ubicación del área de estudio.....	14
3.1.2. Descripción del área de estudio.....	14
3.2. Identificación - descripción del material experimental .....	14
3.3. Procedimientos .....	15
3.3.1. Descripción del proceso productivo .....	16
3.3.2. Para determinar el contenido de humedad .....	17
3.3.3. Para determinar el poder calórico .....	17
3.3.4. Para determinar las cenizas.....	17
3.3.5. Para determinar la densidad .....	18
3.3.6. Para la determinación de compresión paralela.....	18
3.3.7. Para la determinación de compresión perpendicular.....	18
3.4. Variables .....	18
3.4.1. Variable Independiente .....	18
3.4.2. Variable dependiente .....	19

3.5. Población y muestra .....	19
3.5.1. Población.....	19
3.5.2. Muestra .....	20
3.6. Tratamientos .....	20
3.6.1. Diseño experimental.....	21
3.7. Recolección de datos.....	21
3.7.1. Fuentes de información.....	21
3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición .....	22
3.7.3. Metodología experimental .....	22
3.7.4. Métodos de análisis.....	23
3.8. Técnicas para procesamiento de datos .....	24
3.9. Procesamiento de datos .....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	25
4.1. Propiedades físicas – química de briquetas vegetales .....	25
4.1.1. Contenido de humedad .....	25
4.1.2. Densidad .....	27
4.1.3. Poder calórico .....	29
4.1.4. Contenido de cenizas.....	32
4.2. Propiedades mecánicas de briquetas vegetales de aserrín – fibras de semilla de palma aceitera .....	35
4.2.1. Compresión perpendicular al eje de la briqueta .....	35
4.2.2. Compresión paralela al eje de la briqueta .....	37
V. CONCLUSIONES .....	40
VI. RECOMENDACIONES.....	41
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	42
VIII. ANEXOS.....	45

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición del aserrín.....	5
Cuadro 2. Taxonomía palma africana ( <i>Elaeis guineensis</i> J.) .....	6
Cuadro 3. Composición química de la fibra de palma aceitera (%MS). .....	7
Cuadro 4: Densidad aparente de los combustibles sólidos: .....	10
Cuadro 5. Requerimientos según la norma alemana DIN 51731 .....	12
Cuadro 6. Caracterización de combustibles sólidos .....	12
Cuadro 7. Variables, indicadores y niveles propuestos para la investigación .....	19
Cuadro 8. Tratamientos para la investigación.....	20
Cuadro 9. Croquis de distribución de los tratamientos. ....	21
Cuadro 10. Contenido de humedad de briquetas vegetales con cuatro proporciones.....	25
Cuadro 11. Pruebas de normalidad .....	26
Cuadro 12. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de humedad.....	26
Cuadro 13. Densidad básica de briquetas vegetales por tratamiento .....	27
Cuadro 14. Pruebas de normalidad .....	28
Cuadro 15. Análisis de varianza (ANOVA) en densidad de briquetas vegetales .....	28
Cuadro 16. Estadísticos Descriptivos del Poder Calórico.....	29
Cuadro 17. Pruebas de normalidad .....	30
Cuadro 18. Análisis de varianza (ANOVA) del poder calórico .....	31
Cuadro 19. Pruebas Post hoc poder calórico .....	31
Cuadro 20: Estadísticos Descriptivos de Ceniza .....	32
Cuadro 21. Pruebas de normalidad para el contenido de cenizas .....	33
Cuadro 22. Análisis de Varianza del contenido cenizas .....	34
Cuadro 23. Estadísticos Descriptivos de Compresión Perpendicular .....	35
Cuadro 24. Pruebas de normalidad en analisis de compression perpendicular.....	36
Cuadro 25. Análisis de Varianza (ANOVA) compresión perpendicular .....	36
Cuadro 26. Pruebas Post Hoc: Compresión Perpendicular.....	37
Cuadro 27. Estadísticos Descriptivos de Compresión Paralela.....	37
Cuadro 28. Análisis de varianza de Compresión paralela .....	39
Cuadro 29. Prueba Post Hoc: Compresión paralela .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama para la producción de briquetas .....	15
Figura 2. Diagrama de bloques para la elaboración de briquetas .....	22
Figura 3. Contenido de humedad de briquetas vegetales por tratamientos. ....	25
Figura 4. Densidad de briquetas vegetales por tratamientos. ....	27
Figura 5. Poder Calórico de briquetas vegetales por tratamientos. ....	30
Figura 6. Contenido de cenizas de briquetas vegetales .....	33
Figura 7. Compresión perpendicular de briquetas vegetales. ....	35
Figura 8. Contenido de Compresión paralela de briquetas vegetales .....	38
Figura 9. Prensa universal TINIUS OLSEN en prensado de las briquetas.....	45
Figura 10. Moldes de acero para el prensado de las briquetas. ....	45
Figura 11. Prueba de compresión perpendicular las briquetas .....	46
Figura 12. Estufa para el secado de las briquetas .....	46

## RESUMEN

En esta investigación se producen briquetas vegetales para aprovechar los recursos provenientes de la actividad agrícola, forestal e industrial. El objetivo general de esta investigación es la producción de briquetas a partir de aserrín de madera; con una mezcla de fibras de semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis J.*), para su uso como combustible sólido y su caracterización fisicoquímico y mecánica; se tuvieron cuatro tratamientos experimentales T1: 90% de fibra de semilla de palma aceitera y 10% de aserrín; T2: 70% de fibra de semilla de palma aceitera y 30% de aserrín; T3: 50% de fibra de semilla de palma aceitera y 50% de aserrín; T4: 0% de fibra de semilla de palma aceitera y 100% de aserrín de madera. La humedad de las briquetas vegetales varía de acuerdo a la humedad del medio ambiente porque son altamente higroscópicas alrededor de un 14 por ciento, la densidad de las muestras de briquetas para el T1, es la que presenta mayor densidad básica ( $0.61 \text{ g/cm}^3$ ) que las demás muestras; en la medición del poder calórico de las muestras por calorimetría, las cuatro muestras presentan diferencias altamente significativas; con la prueba de contraste de Duncan o Tukey se determinó que el T3, presenta un mayor poder calórico de 4074 kcal, en cuanto a las propiedades mecánicas el T2 es la que muestra mayor resistencia a la compresión perpendicular al eje con  $201 \text{ kg/cm}^2$ ; mientras que el T1 presenta mayor resistencia a la compresión paralela al eje con  $9 \text{ kg/cm}^2$ .

Palabras claves: Residuos, densificados, combustible sólido, briketa, poder calórico.

## SUMMARY

In this research, vegetable briquettes are produced to take advantage of resources from agricultural, forestry and industrial activities. The general objective of this research is the production of briquettes from wood sawdust; with a mixture of oil palm seed fibers (*Elaeis guineensis* J.), for its use as solid fuel and its physicochemical and mechanical characterization; There were four experimental treatments T1: 90% oil palm seed fiber and 10% sawdust; T2: 70% oil palm kernel fiber and 30% sawdust; T3: 50% oil palm kernel fiber and 50% sawdust; T4: 0% oil palm kernel fiber and 100% wood sawdust. The humidity of vegetable briquettes varies according to the humidity of the environment because they are highly hygroscopic, being in a range between 13 - 14; the density of the briquette samples, such as T1, is the one with the highest basic density (0.61 g/cm<sup>3</sup>) than the other samples; in the measurement of the caloric power of the samples by calorimetry, the four samples show highly significant differences; With the Duncan or Tukey contrast test it was determined that T3 has a higher caloric power (4074 kcal), in terms of mechanical properties T2 is the one that shows the highest resistance to compression perpendicular to the axis with 201 kg/cm<sup>2</sup> ; while T1 presents greater resistance to compression parallel to the axis with 9 kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Waste, densified, solid fuel, briquette, caloric value.

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Diaz *et al.* (2012), debido al gran aumento de la población mundial generan residuos por ello se ha visto la necesidad de reducir estos problemas ambientales, como inundaciones y otros, además de ocupar grandes espacios. La gran demanda por nuevas fuentes de energía limpia, barata y renovable nos ha llevado a evaluar el potencial energético de varios subproductos agroforestales.

Estos problemas han motivado las labores de investigación y desarrollo de procesos de producción de briquetas a base de aserrín de madera (A) y fibras de semilla de palma aceitera (F), para dar un valor agregado a los residuos generando nuevas fuentes energéticas a bajos costos con buenas características físicas y mecánicas.

Por lo anterior, esta investigación tiene como objetivo el aprovechamiento de residuos de la industria forestal y agrícola para estudiar el potencial energético y las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las briquetas producidas con cuatro tratamientos T1 (10 A – 90 F), tratamiento 2 (30 A – 70 F); tratamiento 3 con (50 A – 50 F), finalmente el T4 con (100 A – 0 F), estos procesos se realizaron con ayuda de una prensa universal Thinius mediante el proceso de prensado a 3500 kg/m<sup>2</sup>. Serán caracterizadas en base a la norma alemana DIN 51731 con la finalidad de proponer procesos que aumenten el valor económico de los residuos. La metodología que se desarrollara, está direccionada en cuatro puntos: Caracterización de la materia prima, determinación del potencial energético de productos obtenidos a partir de los residuos.

Esta investigación parte de la hipótesis planteada; es posible la producción de briquetas vegetales a partir de aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera con buenas características físicas y mecánicas, durante su estudio demostró el tratamiento 1 tuvo las características deseadas para su uso como combustible sólido. El proceso de producción consistió en la obtención del aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera; Secado del aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera, pesado, mezclado; moldeado, prensado; secado.

De acuerdo con Tingo *et al.* (2011), el uso de briquetas vegetales es amplio que va desde su empleo en hornos industriales para elaborar alimentos, calderos industriales, en residencias para generar calor, hasta en cocinas rurales, donde el tipo y características exigidas para cada uso son variadas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes de la investigación

González *et al.* (2016), en este trabajo de investigación titulada “Características energéticas de combustibles densificados de residuos de la uva Isabella (*Vitis labrusca* L.)”, el objetivo fue la evaluación de las características energéticas del residuo generados de la producción de uvas entre ellos se encuentran hollejos, escobajo, semilla. Para pasar un proceso de densificación y evaluar sus propiedades caloríficas de los residuos y las briquetas; se hicieron análisis inicial y final de reactividad mediante la relación MV (material volátil) / CF (carbono fijo). Mediante un estudio se determina que no se puede realizar el densificado de las semillas por su alto contenido graso. De tal modo que el proceso de densificación, con la mezcla de residuos de la uva durante la elaboración de briquetas favorece la concentración de energía.

Vera (2016), en su investigación titulada “Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello-Cesar”. El objetivo fue la elaboración de briquetas de cascarillas de café, Para ello se usaron dos tipos de ejemplares entre ellos se encuentra el molde a base de madera y la prensa artesanal, ambas máquinas fueron usadas para obtener las briquetas, presentando la prensa mayor grado de compactación. Se evaluaron los contenidos de cenizas, humedad, granulometría, también se hicieron comparaciones calorimétricas de los densificados y la leña respectivamente.

Los resultados obtenidos de la comparación fueron en cuanto a las partículas de los residuos o materia prima son de menor tamaño se obtiene un producto con mejor característica, obteniendo así una briketa de mayor poder calórico, en dicha prueba realizada los resultados muestran que las briquetas de cascara de café poseen mayor poder calórico y emite menor cantidad de dióxido de carbono.

Zevallos (2015), en su investigación titulada “Evaluación de la cantidad de energía de residuos de la palma aceitera – Ucayali”. El objetivo fue determinar la cantidad de energía de los residuos obtenidos del proceso de extracción de la palma aceitera. Las poblaciones de recopilación de residuos fueron las empresas agroindustriales procesadoras de palma aceitera, de los distritos de Ucayali y Aguaytia, ubicadas en los márgenes de la carretera Federico Basadre. Para la determinación del poder calórico se usaron ecuaciones matemáticas. Se muestran resultados obtenidos donde se observa que el 41 por ciento de una tonelada de fruto de palma recién obtenido del campo son desechos, respecto a los resultados del poder calórico se tuvo escobajo un valor de 382 Kcal, respecto a la fibra es 421 kcal y el cuesco con 443 kcal; los dos primeros ya mencionados (fibra y cuesco)

es recomendado su uso como combustible sólido, el escobajo es menos posible su uso por su mayor presencia en humedad, es posible aprovechar los residuos de la palma y obtener combustibles de alto valor energético y reducir el índice de contaminación que generan estos residuos.

Cieza Orrillo y Rivadeneyra (2013), en esta investigación titulada "Formulación de briquetas a base de cascarilla de arroz (*oryza sativa*) a emplearse como combustible de cocinas eco regionales, en la región Lambayeque". El método que se usó fue el proceso productivo de las briquetas de cascara de arroz (*Oryza sativa* L.). Dando uso y aprovechando los desperdicios generados por las industrias, que es un problema porque genera afecciones ambientales como incremento de plagas y degeneración de suelos, se determinó que la fórmula con valores de 20 % de aglutinante y 80 por ciento de cascara de arroz (*Oryza sativa* L.). Se usaron distintas materias primas para aglomerar como goma de algarrobo, goma de eucalipto, goma de pino, el uso de aglomerantes en briquetas es importante porque evitan la ruptura o se desborone, a su vez le da compactación y une los componentes. Los resultados obtenidos fueron la determinación de humedad, cenizas y poder calorífico: Briquetas de algarrobo 5.32%, eucalipto 5.35 % y pino fue de 5.31 %.

El porcentaje de cenizas fue 12.28 %, 13.71 %, 13.16 %. Se observa que el resultado calorimétrico de la briqueta con goma de algarrobo es de 18924.8 kJ/kg, goma o resina de eucalipto 18464.6 kJ/kg y pino 18304.4 kJ/kg. Se concluye que la briqueta de cascarilla de arroz con el aglomerante de la resina de algarrobo posee mayor poder calórico.

Mitchual *et al.* (2013), en su trabajo de investigación titulada "Maize cobriquettes and Ceiba pentandra at room temperature and low compaction pressure without a binder. International Energy and Environmental Engineering". El objetivo fue elaborar briquetas a partir de diferentes partículas y mazorcas de maíz consistió en triturar las mazorcas utilizando un molino de martillo. Las partículas de las mazorcas de maíz y aserrín de *C. pentandra* utilizadas para el estudio fueron  $\leq 1$  mm. Se trabajaron a distintos porcentajes de mezclas de 90: 10, 70:30 y 50:50 (*C. pentandra* / mazorca de maíz). Usaron una prensa hidráulica de laboratorio, los resultados indicaron que la densidad de las briquetas de las obtenidas a partir de partículas de mazorca de maíz sólo oscilaba entre 541 y 659 kg/m<sup>3</sup> mientras que la obtenida a partir de una mezcla de *maizecobs* y *C. pentandra* varió de 565 a 774 kg/m<sup>3</sup>. En todos los niveles de presión de compactación, las briquetas hechas de maíz tenían un índice de resistencia al impacto del 0%, mientras que los hechos de una combinación de mazorcas de maíz y *C. pentandra* osciló entre 115% y 500% como resultado se dice que es posible producir briquetas de buena calidad con alto valor calórico con las características adecuadas a temperatura ambiente y bajas presiones.

Lima (2013), realizo en su trabajo de investigación titulada “Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía”. En Nuevo León, México, su objetivo fue evaluar la composición química y producción de energía de residuos maderables. Porque esto es uno de los principales problemas y obstáculos que se presentan para tener bosques e industrias sostenibles; es la gran cantidad de residuos y desperdicios generados por estas, problema que incentiva a desarrollar nuevos campos de investigación aplicados al tratamiento los residuos que estos generan, para su aprovechamiento, donde se evaluaron la cantidad de energía que producen en función de sus componentes físicos y químicos de la corteza, duramen y albura de las especies maderables. Los contenidos de humedad encontrados en todas las especies oscilan entre en rango de 46 a 148 por ciento. Evaluando las densidades se dice que para obtener mayor poder calórico se utilizaría la albura y el duramen porque son las partes más duras y presentan mayor compactación y densificación.

Sellin *et al.* (2013), en esta investigación titulada “Use of banana crop residues to produce briquettes. Chemical engineering, EMC, Federal University of Santa Catarina”. Se realizaron briquetas que se usaron como combustible para la generación de energía. Se realizó en la región norte del estado de Santa Catarina en Brasil, que cuentan con una importante producción de banano más 900 hectáreas plantadas que generan 1,5 t de hojas y 2,5 t de pseudotallo por tonelada de plátano producido. Se realizó el análisis en los residuos como humedad para la elaboración de briquetas que debe estar entre 8 y 15%, valor calórico de las hojas fue de aproximadamente 17,10 MJ/kg y del pseudotallo fue de aproximadamente 13,70 MJ/kg. En Los residuos y briquetas se evalúa por análisis químico, el poder calorífico, la resistencia mecánica a compresión, propiedades térmicas y características fisicoquímicas de estos residuos demuestran que son potenciales candidatos para producir briquetas.

Gallipoliti *et al.* (2012), realizaron en su trabajo de investigación titulada “Fabricación briquetas con aserrín blanco de pino, análisis inmediato y obtención de su poder calorífico”. El objetivo fue fabricar briquetas a partir de residuos del pino y el almidón de yuca como aglomerante. Aprovechando los residuos de madera para generar energía, briquetas de 10cm aproximadamente. Hicieron el análisis de humedad y determinación de cenizas, obteniendo como resultados valores bajos en cenizas y el contenido de humedad que genera el polvo. Se realizó la medición de su poder calorífico de las briquetas con la bomba de Mahler, se comparó este valor con fórmula de regresión lineal, se llegó a tener resultados muy cercanos. Los buenos resultados obtenidos incentivan a continuar con los ensayos para optimizar el proceso de elaboración y producción de

briquetas con la finalidad de lograr un producto de calidad, evitar la contaminación que generan estos residuos y aprovechar un combustible energético reemplaza el uso de leña en los hogares de bajos recursos.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Aserrín

Arostegui (1990) menciona que, el aserrín es un grupo de polvillo que se desprende de un tronco o tabla durante el proceso de aserrado producida en los pequeños aserraderos o grandes industrias madereras, tienen un diámetro no superior a 3.5 mm. Los residuos forestales, sobre todo el aserrín, son altamente contaminantes para el medio ambiente.

**Cuadro 1.** Composición del aserrín.

<b>CONTENIDO</b>	<b>%</b>
Celulosa	40 - 61
Hemicelulosa	15 - 30
Lignina	17 - 35
Cenizas	02 – 5.8

FUENTE: Arostegui (1990).

Lima (2013) en su investigación menciona que, la celulosa es un homopolímero lineal constituido por unidades de glucosa con estructura de anillo piranósico, unidas entre sí por enlaces B-1,4 glicosídicos. Las cadenas de celulosa son lineales, alargadas y las unidades de glucosa están enlazadas en un plano debido a tres razones: a las uniones glicosídicas, a la conformación de silla piranósico y a que los sustituyentes están orientados ecuatorialmente. Estos hechos dan como resultado una cadena molecular balanceada, esencialmente lineal y que además tiene tendencia a formar puentes de hidrógeno inter e intramoleculares. Como consecuencia de su estructura fibrosa y fuertes uniones hidrógeno la celulosa presenta una alta resistencia a la tracción y es insoluble en la mayoría de los solventes.

Lima (2013) en su investigación señala que, la hemicelulosa es un polisacárido formado por 5 unidades diferentes de azúcares (glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa). Las hemicelulosas sufren las mismas reacciones de degradación que la celulosa. Como su accesibilidad es mayor, por no poseer una supraestructura en

fibrillas, es atacada en primera instancia y en mayor grado que la celulosa. Tanto el hinchamiento, la hidrólisis ácida o alcalina comienzan en la hemicelulosa.

### 2.2.2. Palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.)

Velázquez y Gómez (2010) señala que, la palma aceitera es una planta tropical que crece en climas cálidos en altitudes de 0 a 500 msnm, es de origen occidental del continente africano, en forma silvestre y los nativos recolectaban los frutos para la extracción de aceite para ello utilizaban un método artesanal. El manejo y mejoramiento de la palma aceitera, se logró debido al desarrollo de plantaciones a gran escala para su industrialización, fueron iniciados por expertos europeos.

#### a. Taxonomía palma africana (*Elaeis guineensis* J.)

**Cuadro 2.** Taxonomía palma africana (*Elaeis guineensis* J.)

Clasificación	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Palmales
Familia	Palmaceae
Tribu	Coccoinea
Genero	<i>Elaeis</i>
Especie	<i>(Elaeis guineensis)</i>

FUENTE: Quesada (2001).

#### b. Descripción botánica palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.)

Ortega y Ochoa (2003) señala que, los árboles de palma africana son monoicas, de troncos solitarios que tiene un tallo robusto no ramificado alcanza una altura de veinte a treinta metros, presentan espinas tiene foliolos irregulares de aspecto voluminoso o plumoso, se caracteriza por ser una planta perenne.

Los frutos de la palma aceitera se encuentran a una altura baja alrededor de las axilas, tienen un peso aproximado que varía entre los 10 y 90 kg dependiendo de la edad y el tamaño de la planta; también es una drupa que miden alrededor de cuatro centímetros su color es rojo oscuro a guinda negruzco, es carnoso aparecen entre 200-300 semillas la parte interna del racimo tiene forma aplanada, más pequeños y menos pigmentados. Su color

vario de violeta fuerte a negro, el mesocarpio o pulpa, conformado por el 35 a 95 por ciento es el peso del fruto su color es naranja, alrededor de treinta y cinco a sesenta de aceite y fibras alargadas que oscilan entre 10 – 20 por ciento.

### 2.2.3. Fibras semilla de la palma aceitera

Velázquez y Gómez (2010), las fibras de palma son residuos sólidos que se producen durante el proceso de transformación del fruto de palma aceitera que actualmente causan contaminación ambiental, tienen características similares al aserrín miden de 0.5 a 0.8 mm.

**Cuadro 3.** Composición química de la fibra de palma aceitera (%MS).

	PROMEDIO
Proteína	4.62
Extracto etéreo	27.46
Cenizas	3.74
<b><i>Fracciones de fibra (%)</i></b>	
FDN	52
FDA	36.46
Hemicelulosa	15.43
Celulosa	20.53

FUENTE: Velázquez y Gómez (2010).

### 2.2.4. Producción de briquetas

#### a. Briqueta

Según Martínez (2015), la briqueta es un biocombustible sólido de forma cilíndrica mide alrededor de 50 a 130 milímetros de diámetro y una longitud variable entre 5 a 30 milímetros. Presenta alta densidad entre 1000 – 1300 kg/m<sup>3</sup> y por ende emite mayor calor, se obtienen por un proceso de prensado o densificado de residuos que presentan origen lignocelulósico, para la producción se aplican grandes presiones que auto aglomeran las partículas por sí mismas.

## **b. Briquetas Artesanales**

Según Martínez (2015), en este tipo de briquetas no intervienen equipos sofisticados ya que no se necesita producir gran cantidad es decir que, con medios primarios o caseros se puede prensar y contar con un molde donde la biomasa mezclada con algún tipo de aglutinante y secado posteriormente para su utilización.

En este proceso lo importante es formar las briquetas y obtenerlas de una forma no continua, práctica y sencilla, donde se considera la presión de compactación, tiempo y forma de secado. La presión de compactación es baja, aproximadamente 5 MPa, debido al uso de altas cantidades de aglutinante que ayuda a la cohesión entre partículas.

### **2.2.5. Proceso de producción**

#### **a. Secado de residuos**

Según Ortiz *et al.* (2004), este método de secado natural se da mediante el aprovechamiento de las condiciones climáticas que ofrece el medio ambiente en donde es posible la deshidratación de los residuos para reducir el nivel de humedad y facilitar su transformación a combustibles sólidos para la generación de energía. Con este tipo de secado, se logra disminuir el contenido de humedad alrededor de 15 – 20 por ciento.

#### **b. Adición y mezclado de los residuos**

Según Fonseca y Tierra (2011), se realiza cuando los residuos se encuentran secos alrededor de 15 a 20 por ciento de humedad y las partículas sean homogéneas, se mezclan las materias hasta lograr una textura adecuada, eliminando el exceso de agua o agregar masa si es necesario.

#### **c. Prensado y moldeado de briquetas**

Según Blesa (2002), el prensado se realiza cuando los residuos presentan una consistencia homogénea, valiéndose de equipos apropiados, como prensas y moldes.

El prensado o densificación de los residuos es el proceso más importante en la elaboración de briquetas para mejorar las características del sólido permitiendo mayor poder calórico.

Para la densificación de las briquetas se usan tecnologías de fabricación que se clasifica:

- Alta presión: > 100 Mpa

- Mediana compactación con calentamiento: 5 – 100 Mpa
- Baja presión mediante el uso de aglomerante: < Mpa

#### **d. Secado de briquetas**

Ortiz *et al.* (2004), el secado consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido sobrante hasta un valor aceptable bajo. Una vez que se han obtenido las briquetas crudas (húmedas) el siguiente paso es su secado, el cual puede realizarse de forma natural (al aire libre), o en mufla.

El secado natural es el método de secado más económico que consiste en aprovechar las condiciones ambientales favorables donde hace sol que facilita la deshidratación de las briquetas y tiene una duración de entre 10 a 30 días. Se realiza por acción del viento donde se evapora la humedad por la influencia directa de la energía solar. En este tipo de secado las briquetas bajarán su humedad hasta establecer una relación entre su humedad interna y la del ambiente hasta lograr un equilibrio higroscópico.

### **2.2.6. Parámetros tecnológicos de las briquetas**

#### **a. Densidad**

Las briquetas tienen un factor característico llamada densidad que optimiza en la densificación de los residuos mejorando su almacenamiento y traslado.

Esta característica depende de dos factores: la densidad del material empleado, a mayor densidad en la materia prima será mejor los resultados en función a la masa por la unidad de volumen.

Después del prensado los densificados obtienen mejor densidad y mayor compactación y dureza para la manipulación y durante el transporte, menos volumen que astillas y leñas, presenta más resistencia a pruebas mecánicas de compresión.

Según la FAO (2003), se considera que tanto el poder calorífico como la densidad dependen principalmente de la humedad del combustible, Cuanto mayor sea la densidad de las briquetas mayor será el poder calórico que presentaran durante el proceso de combustión.

Para calcular la densidad de las briquetas deben considerarse dos valores: la masa y el volumen.

La densidad de la muestra se determina por la ecuación (1):

$$\rho = \frac{m_{Real}}{v_{Real}} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

Dónde:  $\rho$ ; densidad de las briquetas;  $m$ : masa de la muestra;  $v$ ; volumen de la muestra.

Para determinar el volumen de las muestras se utiliza la ecuación (2):

$$v = \pi r^2 h \quad (2)$$

**Cuadro 4.** Densidad aparente de los combustibles sólidos.

Combustibles sólidos		Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )
Trozos de madera	Haya	460
	Picea	310
Astillas	Coníferas	195
	Fronosas	260
Corteza	Coníferas	205
	Fronosas	320
Aserrín		170
Virutas		90
Pellets de madera		600

FUENTE: FAO (2004).

#### b. Humedad

Según Sebastián *et al.* (2010), la humedad es la cantidad de pérdida de peso que puede experimentar un material o muestra que es sometido en mufla o secada al aire cuando esta se calienta a una temperatura de 35 °C – 105 °C donde se alcanza el peso repetitivo, en briquetas es esencial poder aprovechar los residuos para la generación de energía porque influye principalmente en el poder calórico de los sólidos, aserrín su humedad oscila entre 10 – 15 por ciento este es el óptimo para producir las briquetas. Valores por encima o por debajo de este valor generan problemas en el proceso de aglomeración y compactación generando grietas.

Según Martines y Lira (2010), el contenido de humedad es de suma importancia porque a mayor humedad menor es el poder calórico, se mide en base seca o húmeda. La humedad en base húmeda se relaciona entre la masa de agua total y la masa seca; el contenido de humedad base seca representa relación entre la masa de agua en las briquetas y la masa seca.

Ecuación para calcular el contenido de humedad es la siguiente:

$$CH = \frac{P_{inicial} - P_{seco}}{P_{seco}} * 100$$

### c. Contenido de ceniza

Según Jara (2009), es aquella materia inorgánica sólida que no ha combustionado, la cantidad de ceniza en distintas biomásas no es mayor al 5 por ciento; esto depende también de las impurezas y residuos que contaminan como tierra, arena, piedras, astillas, bolsas entre otros lo que impide que se aproveche la energía neta disponible presentando disminución en el proceso.

### d. Poder calorífico

Según Vizhñay y Patricio (2013), la principal característica de las briquetas es el poder calórico, la energía presente (calor por unidad de masa de una fuente material) se aprovecha en la quema de un combustible y se expresa generalmente en mega julios (MJ/kg) o kilojulios por kg (kJ/kg), lo que está relacionado directamente con el material de procedencia.

Si se supone que es madera y corteza sin aditivos, su poder calorífico será el de la madera de la que proviene. Si las briquetas poseen restos de otras materias primas de mayor densidad, el poder calorífico será mayor.

Según Castell (2005), el poder calórico (PC) de una briketa solida se mide con la cantidad de energía que se emite durante la combustión completa en una medida masa o volumen. Se clasifica en poder calórico superior y poder calórico inferior. El poder calórico superior considera que el calor proveniente de la condensación de vapor presente en los productos de combustión, en tanto el poder calórico inferior no toma en cuenta ese calor.

## 2.2.7. Requisitos para las briquetas

Según la norma alemana DIN 51731 las briquetas fabricadas deben cumplir los siguientes requisitos:

**Cuadro 5.** Requerimientos según la norma alemana DIN 51731.

<b>Norma</b>	<b>Grupo</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>
DIN 51731	HP1	> 1	> 3
	HP2	6 – 10	15 – 30
	HP3	3 – 7	10 – 16
	HP4	1 – 4	<1
	HP5	0.4 – 1	<0.5

FUENTE: Krizan (2015).

### 2.2.8. Características energéticas de las briquetas

Las caracterizaciones de los combustibles sólidos están normalizadas bajo la normativa europea. La lista de análisis y métodos normalizados se observan en el Cuadro.

**Cuadro 6.** Caracterización de combustibles sólidos

<b>Característica/Propiedad</b>	<b>Normativa europea</b>
Humedad	CEN/TS 14774
Cenizas	CEN/TS 14775
C,H,N	CEN/TS 15104
S,Cl	CEN/TS 15289
Poder calórico	CEN/TS 14918
Densidad aparente	CEN/TS 15103
Temperatura de fusibilidad de las cenizas	CEN/TS 15370-1

FUENTE: Sebastián *et al.* (2010).

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Biocombustible

RAE (2017), son aquellos producidos de diversos residuos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos; entre ellos se encuentran las briquetas obtenido mediante la compresión de las biomásas orgánicas.

### 2.3.2. Biomasa

RAE (2017), residuos orgánicos de origen biológico derivados espontáneos y utilizables como fuente de energía calorífica.

### **2.3.3. Briquetas**

RAE (2017), combustible sólido o aglomerado de residuos de carboncillo u otras materias orgánicas en forma cilíndrica o rectangular.

### **2.3.4. Briquetado**

RAE (2017), es el proceso de amasar minerales pequeños o pulverizados como carbón, aserrín y otros; sometido a presiones continuamente se utiliza aglomerantes.

### **2.3.5. Combustible sólido**

RAE (2017), es aquel material empleado para la producción de energía calorífica pueden ser leña o carbones muy usados en cocinas, hornos, maquinas, chimeneas, otros cuyo agente es el fuego.

### **2.3.6. Densidad aparente**

RAE (2017), es aquella densidad obtenida por el método de desplazamiento de agua en una probeta graduada; para ello se introduce la briqueta y se mide el volumen de agua desplazada.

### **2.3.7. Energía calorífica**

RAE (2017), es la capacidad que posee una materia de generar trabajo en forma de movimiento, calor, luz, etc.

### **2.3.8. Propiedades físicas**

RAE (2017), las propiedades físicas son aquellas que logran cambiar la materia sin alterar su composición. Dependen de la estructura y el procesamiento del material, describen características como: magnetismo, calor, conductividad eléctrica o térmica.

### **2.3.9. Moldeado**

RAE (2017), se procedió al moldeado lo cual consiste en ejercer una forma determinada para su producto y a su vez permite una íntima incorporación de los componentes para obtener una forma establecida de acuerdo con el tipo y tamaño de molde.

### **2.3.10. Propiedades químicas**

RAE (2017), es cualquier propiedad de un material que se hace evidente durante una reacción química; es decir, cualquier cualidad que puede ser establecida solamente al cambiar la identidad química de una sustancia.

### III. MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

##### 3.1.1. Ubicación del área de estudio

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en los ambientes y laboratorios de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), ubicados en la carretera Federico Basadre km. 6, Provincia de Coronel Portillo ciudad de Pucallpa.

- Para los análisis físicos y químicos del material lignocelulósico y de las y briquetas, como: Humedad, densidad, se realizó en los laboratorios de tecnología de la madera. Para la prueba del poder calórico y cenizas se llevó a cabo en el laboratorio de química orgánica, debido a la existencia de una bomba calorimétrica y mufla, que es son equipos básicos.
- Para la prueba de compresión perpendicular y paralela, de las briquetas se ejecutó en los ambientes del laboratorio de tecnología de la madera en la Universidad Nacional de Ucayali, por contar con una prensa universal.

##### 3.1.2. Descripción del área de estudio

Esta investigación se ubica geográficamente en la parte central del Perú en la región de la selva baja, políticamente está ubicado en Pucallpa; distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo; región de Ucayali.

Se encuentra a una altitud media de 153 msnm, entre las Coordenadas (Sur: 8° 21' 07", longitud oeste: 74°34' 31").

#### 3.2. Identificación - descripción del material experimental

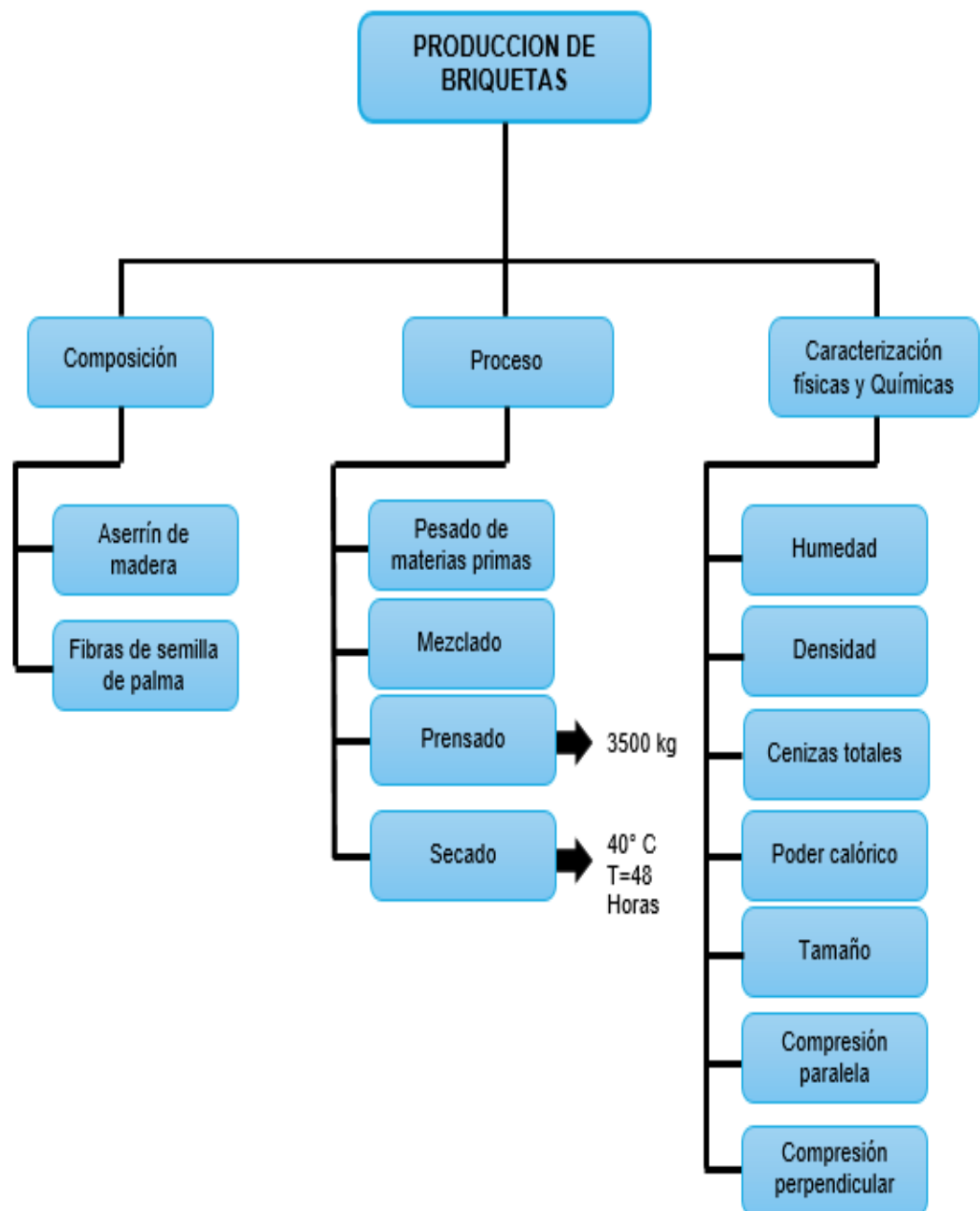
El material experimental, con el que se realizó el estudio comprende fibras de semilla de palma aceitera (F) y aserrín de madera (A) de la actividad de aserrío mezclados estos en proporciones de (90:10, 70:30, 50:50), sometidos a moldeado, prensado y secado, permitiendo obtener briquetas lignocelulósico vegetales. Dichas briquetas serán sometidas a ensayos físicos y químicos.

Las muestras experimentales serán distribuidas de la manera siguiente:

- **Muestra 1:** 90% fibras de semilla de palma aceitera (F) y 10% de aserrín de madera (A)
- **Muestra 2:** 70% fibras de semilla de palma aceitera (F) y 30% de aserrín de madera(A).
- **Muestra 3:** 50% fibras de semilla de palma aceitera (F) y 50% de aserrín de madera (A).
- **Muestra 4:** 0% fibras de semilla de palma aceitera (F) y 100% de aserrín de madera (A).

### 3.3. Procedimientos

Realizar el procedimiento de la obtención de las briquetas vegetales



**Figura 1.** Diagrama para la producción de briquetas  
FUENTE: Elaboración propia

### **3.3.1.Descripción del proceso productivo**

#### **a. Obtención del aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera.**

La recolección de los residuos se hizo en bolsas de 5 kg vacíos donde se llenó la materia prima, para lo cual se siguieron los siguientes pasos: llenado, Pesado, transporte.

#### **b. Secado del aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera.**

Esta etapa consistió en secar los residuos en la estufa hasta obtener un contenido de humedad adecuada, que se encuentren entre el 12% al 14% para poder pasar a la siguiente etapa, se tardó 144 horas en obtener la humedad deseada debido que la materia prima se encontraba con una humedad elevada.

#### **c. Pesado de las materias primas**

En este proceso se pesaron 53 gramos de muestra total del cual se pesó fibras de semilla de palma aceitera (F) y aserrín de madera (A) en todas estas concentraciones 90%:10%, 70%:30%, 50%:50%, colocando en la balanza digital en bolsas plásticas hasta obtener el peso deseado de acuerdo a los porcentajes posteriormente se cerraron las bolsas con la materia prima.

#### **d. Mezclado**

Se mezclaron todos los componentes tantas fibras de semilla de palma aceitera (F) y aserrín de madera (A) en todas estas concentraciones 90%:10%, 70%:30%, 50%:50%, colocando las materias primas en un recipiente y se mezcló con una varilla de madera hasta obtener una consistencia apropiada.

#### **e. Moldeado**

Se procedió al moldeado de las briquetas con un embudo de botella boca ancha y se llenaron en el molde de acero inoxidable de una altura de 13 cm y un diámetro de 4 cm, previamente ha sido calentado en el horno a 200 °C, se colocan los moldes en la prensa universal con el PIN correspondiente y procede al siguiente proceso.

#### **f. Prensado**

El prensado de las briquetas se realizó en la prensa universal a una presión de 3500 kg/m<sup>2</sup> durante cinco minutos, se retiran los moldes de la prensa y se deja enfriar para retirar las briquetas con una prensa manual.

### **g. Secado**

El secado de las briquetas se realizó en la estufa durante 2 días a una temperatura de 40°C hasta lograr un peso constante, se deja enfriar para retirar las briquetas y se colocan en bolsas con cierre hermético.

#### **3.3.2. Para determinar el contenido de humedad**

Norma CEN/TS 14774 (UNE-CEN/TS 14774 EX): Se llevó a cabo en una estufa donde se pesó con una balanza el peso inicial y el peso final de cada briqueta la muestra para análisis general, Temperatura de secado 40 °C, Tiempo de secado; hasta masa constante un total de 12 muestras con distintas concentraciones cada uno T1=90%(F) -10%(A), T2= 70% (F) – 30%(A), T3= 50%(F) – 50%(A), T4=0(F) – 100%(A) con tres repeticiones cada una.

#### **3.3.3. Para determinar el poder calórico**

Norma CEN/TS 14918 (UNE 164001 EX): Biocombustibles sólidos – para la determinación del poder calórico.

Bomba calorimétrica: Se mide la capacidad calorimétrica mediante transferencia de calor cuando se quema a volumen constante; Se coloca la muestra en un recipiente adiabático que tiene una cubeta metálica en el interior; se introduce la cámara de reacción de 350 cm, en la tapa se encuentra dos válvulas una que entra el oxígeno y otro para la salida de gases; se hace la conexión por medio de una pastilla y electrodos provisto de manómetro, por otro lado se abre la boquilla y se deja pasar el oxígeno hasta que el manómetro señale 20 atmosferas. se quemó con oxígeno en condiciones normalizadas. El incremento de temperatura. La muestra se comprime, la combustión es controlada y marca el valor del poder calórico.

Este proceso se llevó a cabo en el laboratorio de la universidad nacional de Ucayali en el laboratorio de transformación química de la madera.

#### **3.3.4. Para determinar las cenizas**

Norma CEN/TS 14775 (UNE-CEN/TS 14775 EX): Biocombustibles sólidos – determinación del contenido en cenizas.

Se llevó acabo en una mufla de la Universidad Nacional de Ucayali en el laboratorio de química orgánica, se pesó los crisoles en la balanza analítica, taro, se pesaron y colocaron las muestras y se calcula de la cantidad (masa) del residuo tras la incineración de la muestra. A una temperatura del horno: 550°C, el enfriamiento y luego se pesará la muestra restante para calcular el contenido de ceniza.

### **3.3.5. Para determinar la densidad**

Norma CEN/TS 15150 (UNE CEN/TS 15150 EX): Biocombustibles sólidos – Métodos para la determinación de la densidad de partículas.

Densidad = Masa de la briqueta / Volumen de la briqueta.

El volumen de la briqueta (V) =  $3.1416 \times R^2 \times H$ .

Donde:

V: Volumen de la briqueta

R: Radio de la briqueta

H: espesor de la briqueta

Se realizó las mediciones de las briquetas con un Vernier y se hicieron 3 repeticiones para corroborar los resultados estos análisis se llevarán a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali en el laboratorio de tecnología de la madera.

### **3.3.6. Para la determinación de compresión paralela**

Se determinó la resistencia a la compresión paralela de las briquetas con respecto a su eje simétrico. La finalidad fue determinar su comportamiento mecánico cuando este es sometido a una carga de  $3500 \text{ kg/m}^2$  en la prensa universal.

Para este análisis es necesario el uso de la prensa universal, se llevó a cabo en el laboratorio de tecnología de la madera en la Universidad Nacional De Ucayali porque cuenta con el equipo modelo PCE-PCE-7755.

### **3.3.7. Para la determinación de compresión perpendicular**

Se determinó la resistencia a la compresión perpendicular de las briquetas con respecto a su eje simétrico. La finalidad fue determinar su comportamiento mecánico cuando este es sometido a una carga de  $3500 \text{ kg/m}^2$  en la prensa universal.

Para este análisis es necesario el uso de la prensa universal, se llevó a cabo en el laboratorio de tecnología de la madera en la Universidad Nacional De Ucayali porque cuenta con el equipo modelo PCE-PCE-7755.

## **3.4. Variables**

Las briquetas se realizaron mediante el proceso de densificación, teniendo en consideración las siguientes variables dependientes e independientes, así como sus indicadores, niveles y unidades que se muestran en el Cuadro 7.

### **3.4.1. Variable Independiente**

- Aserrín de madera (A)
- Fibras de semilla de palma aceitera (F)

### 3.4.2. Variable dependiente

- Humedad
- Densidad
- Cenizas
- Poder calórico
- Compresión paralela
- Compresión perpendicular

**Cuadro 7:** Variables, indicadores y niveles propuestos para la investigación

Variables	Indicadores		Niveles (rangos)	Unidades
Independiente: Briquetas vegetales	Formulación de mezclado (Aserrín de madera: A/ fibras de semilla de palma aceitera: F)	Aserrín de madera (A)	10,30,50,100	%
		Fibras de semilla de palma aceitera (F)	90,70,50,0	%
		Humedad	10 - 15.	%
Dependientes: propiedades físicas y mecánicas	Propiedades físicas	Densidad	≥550	kg/m <sup>3</sup>
		Cenizas	0 - 2	%
	Propiedades mecánicas	Poder calórico	45000-5000	kcal/kg
		- Compresión paralela - Compresión perpendicular		

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

En este trabajo de investigación la población es de tipo infinito estuvo representado por toda la cantidad de aserrín generados por las empresas de aserrio y re aserio existentes en los botaderos, ubicados a lo largo de la carretera Manantay y sus alrededores, del distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali; así mismo por la cantidad de fibras de semilla de palma existente en el botadero de las empresa extractora de aceite de palma, ubicados a lo largo de la carretera Federico Basadre, jurisdicción de la provincia de Coronel Portillo, región Ucayali.

### 3.5.2. Muestra

La muestra que se empleó en la investigación, debido a que la población es de tipo infinito, entonces se considera un muestreo de tipo no probalístico por conveniencia. Para los ensayos se estima 800 gramos de aserrín y 800 gramos de fibras de semilla de palma aceitera debido a que realizó las briquetas de 53 gramos cada una con cuatro concentraciones distintas y cada una con tres repeticiones.

Se realizó el análisis granulométrico a partir de una muestra de 50 gramos tanto de aserrín y fibra de semilla de palma con un tamaño de partículas que varía desde 1,25 mm hasta 0,5 mm, para asegurar un producto homogéneo que preserve sus propiedades.

### 3.6. Tratamientos

La investigación trata de la evaluación de 12 briquetas aplicando cuatro tratamientos incluyendo el testigo con tres repeticiones, las mismas que constan de la mezcla de aserrín de madera (A) y fibras de semilla de palma aceitera (F), en diferentes proporciones, la cual se muestra en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Tratamientos para la investigación.

Tratamiento	Especificaciones
T1	90% (F); equivalente a 47.7 gramos de fibras de semilla de palma / 10% (A) equivalente a 5.3 gramos de aserrín de madera.
T2	70% (F); equivalente a 37.1 gramos de fibras de semilla de palma / 30% (A) equivalente a 15.9 gramos de aserrín de madera.
T3	50% (F); equivalente a 26.5 gramos de fibras de semilla de palma / 50% (A) equivalente a 26.5 gramos de aserrín de madera.
T4	Testigo 0% (F); equivalente a 0 gramos de fibras de semilla de palma / 100% (A) equivalente a 53 gramos de aserrín de madera.

FUENTE: Elaboración propia.

**Cuadro 9:** Croquis de distribución de los tratamientos.

R1 T1	R2 T1	R3 T1
R1 T2	R2 T2	R3 T2
R1 T3	R2 T3	R3 T3
R1 T4	R2 T4	R3 T4

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.6.1. Diseño experimental

Se hizo uso un DCA (diseño completamente al azar) con cuatro tratamientos y tres repeticiones, sumando un total de 12 unidades experimentales y cada unidad experimental tuvo un peso de 53 gramos.

Para analizar y explicar los efectos de cada uno de los tratamientos se realizó el ANOVA (análisis de varianza) y pruebas de comparación de las medias en Tukey (alfa=0.05), con la finalidad de verificar si existen diferencias significativas entre los tratamientos, para ello se usó el software estadístico SPSS.

#### a. Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado fue un DCA diseño completamente al azar y su fórmula matemática es:

$$Y_i = \mu + T_j + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación en la unidad experimental

$\mu$  = Promedio

$T_i$  = Efecto de i-esimo tratamiento

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental

### 3.7. Recolección de datos

#### 3.7.1. Fuentes de información

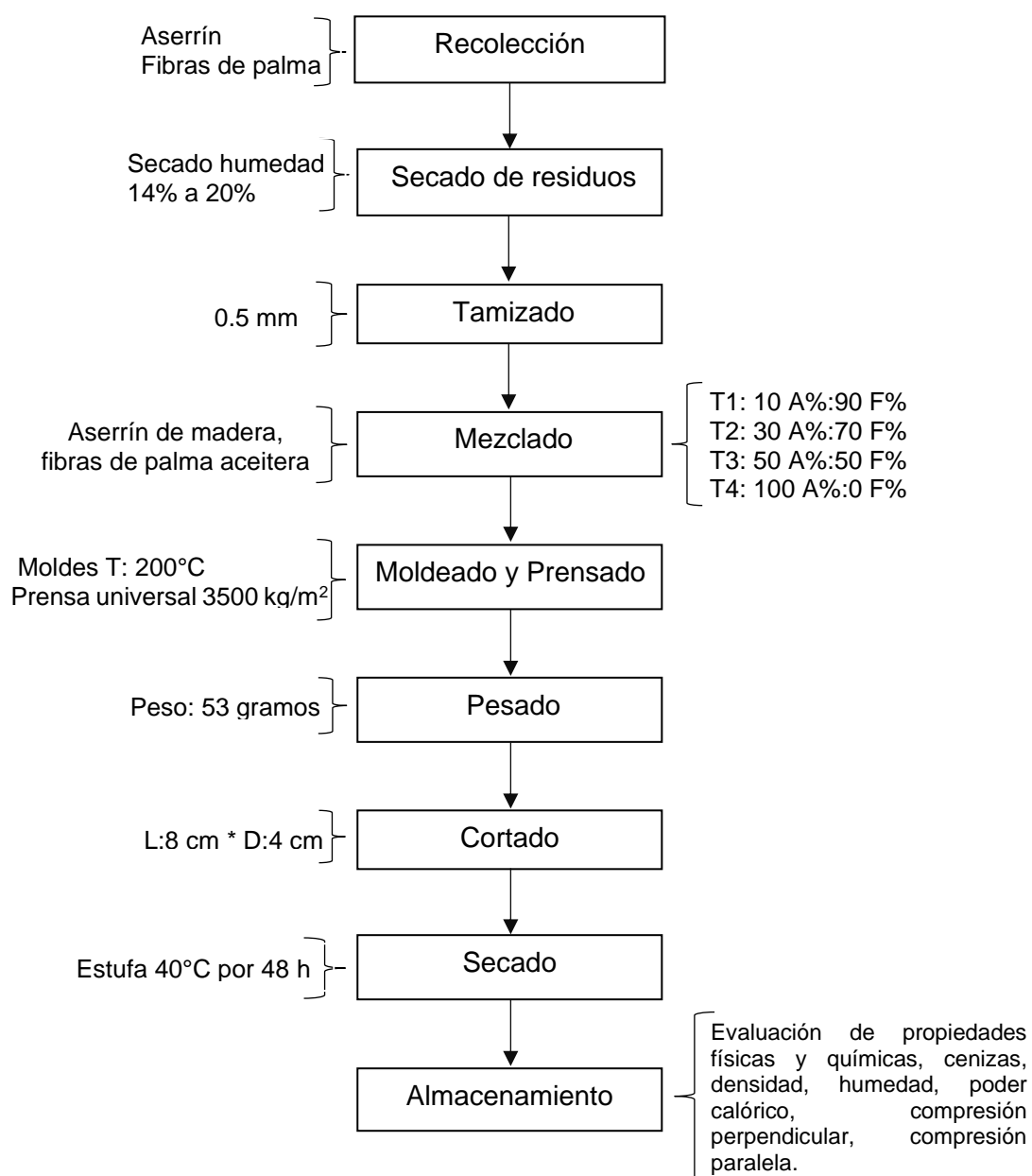
Las fuentes de información secundaria están constituidas por textos especializados, revistas científicas, tesis, todos ellos relacionados al tema de investigación. En cuanto a la fuente de información primaria; los resultados de la lectura de los equipos de medición, bomba calorimétrica, determinador de (humedad, densidad, cenizas), entre otros; que luego esta información se procesó estadísticamente.

### 3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición

La unidad experimental estuvo formada por mezclas de fibras de semilla de palma aceitera y aserrín de madera en proporciones de 90%:10%, 70%:30%, 50%:50%, 0%:100%, cada mezcla fue sometido a procesos estandarizados tales como: homogenización, cortado y secado, obteniéndose muestras de briquetas que serán sometidos a análisis físico y químicos, potenciales seleccionados al azar.

### 3.7.3. Metodología experimental

La investigación se realizará en una etapa como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de bloques para la elaboración de briquetas

FUENTE: Elaboración propia.

### **3.7.4. Métodos de análisis**

La mayor parte los métodos de análisis físicos y mecánicos para la caracterización de los combustibles sólidos se encuentran normados, estas normas aún se encuentran en revisión están incompletos, porque existen pocas experiencias en su aplicación y practica de estas mismas. Algunos análisis no mencionados sobre todo los físicos tienen que ser analizados y estudiados para obtener mejor información sobre su comportamiento del combustible.

#### **a. Método para determinar el contenido de humedad**

Norma CEN/TS 14774 (UNE-14774 EX): “combustibles sólidos”.

En la determinación de humedad se utiliza la estufa para el secado, se pesa la briqueta luego se coloca en la estufa a temperatura de 40° centígrados, se pesa la muestra hasta lograr un peso constante.

#### **b. Método para determinar el poder calórico**

Norma CEN/TS 14918 (UNE-14918 EX): “combustibles sólidos” en la determinación de poder calórico.

Se utiliza una bomba calorimétrica donde colocas la briqueta, se quemó con por el gasto de oxígeno en condiciones normales; la temperatura aumenta y se comprime la briqueta controlando la combustión y el cálculo del poder calorífico.

#### **c. Método para determinar cenizas**

Norma CEN/TS 14775 (UNE-14775 EX): “combustibles sólidos” en la determinación de cenizas.

Se llevó a cabo en una mufla se calculan cantidades del aserrín y las fibras de palma aceitera, luego de la incineración de residuos a una temperatura 550 °C, el enfriamiento y luego se pesó la muestra restante en la balanza.

#### **d. Método para la determinación de la densidad.**

Norma CEN/TS 15150 (UNE-15150 EX): “combustibles sólidos” para determinar la densidad de las briquetas vegetales.

Densidad: mediante la fórmula densidad es igual  $m/v$ ,  $m$ = peso la briqueta y el volumen es igual a  $V= \pi r^2h$ , se realizó las mediciones de las briquetas con un barner y se hicieron 3 repeticiones para corroborar los resultados estos análisis se llevó a cabo en los ambientes del laboratorio de tecnología de la madera en la Universidad nacional de Ucayali.

**e. Método para la determinación compresión paralela**

Para determinar las pruebas de resistencia (compresión paralela) en briquetas respecto a su eje simétrico, con la finalidad de observar su comportamiento mecánico frente a altas presiones de 3500 kg/m<sup>2</sup> en la prensa universal.

Para este análisis es necesario el uso de la prensa universal, se realizó en los ambientes del laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali; porque cuenta con el equipo modelo PCE-PCE-7755.

**f. Método para la determinación compresión perpendicular**

Para determinar las pruebas de resistencia a la compresión perpendicular, respecto a su eje simétrico de las briquetas vegetales para observar su comportamiento cuando es sometido a presión de 3500 kg/m<sup>2</sup> en la prensa universal.

Para este análisis es necesario el uso de la prensa universal, se hizo en la UNU porque cuenta con el equipo modelo PCE-PCE-7755.

**3.8. Técnicas para procesamiento de datos**

Para el proceso de datos en briquetas vegetales se utilizó un análisis de varianza (ANOVA), los resultados del análisis físico - mecánico, la media, desviación estándar, cuadros y figuras según los tratamientos se realizó en el programa Excel 2013.

**3.9. Procesamiento de datos**

Para los análisis físicos – químicas y mecánicas, utilizó un análisis de varianza unifactorial.

- Factor único: Proporciones de aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (4 tratamientos)
- Unidades experimentales: briquetas
- N° de repeticiones: 3

## IV.RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Propiedades físicas – química de briquetas vegetales

Los análisis físicos – químicos en briquetas vegetales producidos a partir de aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera se detallan a continuación:

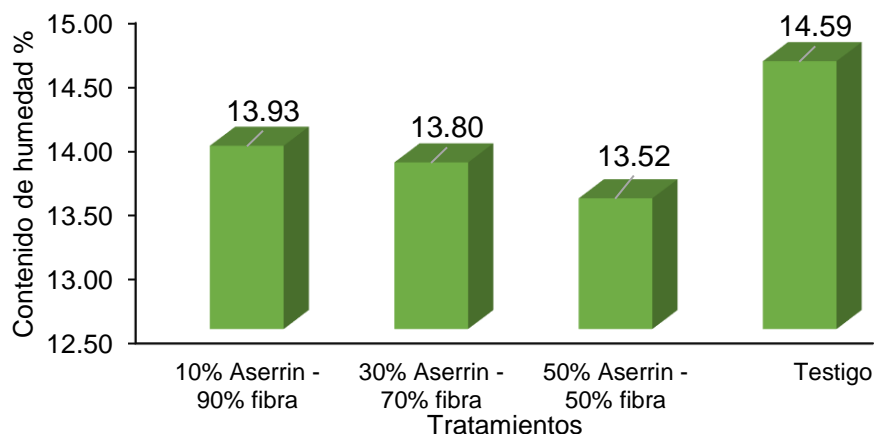
#### 4.1.1. Contenido de humedad

En el cuadro 10 se muestran los promedios del contenido de humedad de briquetas vegetales de los cuatro tratamientos, teniendo con mayor humedad al T4 con 14.59%, la misma que se observa en la figura 3.

Asimismo, se observa que la dispersión de los datos es heterogénea a pesar que las desviaciones estándar de los tratamientos son pequeños.

**Cuadro 10.** Contenido de humedad de briquetas vegetales con cuatro proporciones.

Tratamiento	Media	Desv. Estándar
10% Aserrín - 90% fibra	13.93%	0.56
30% Aserrín - 70% fibra	13.80%	0.63
50% Aserrín - 50% fibra	13.52%	0.73
Testigo	14.59%	0.61



**Figura 3.** Contenido de humedad de briquetas vegetales por tratamientos.

El Cuadro N° 11 se muestra el test de Shapiro – Wilk usado para verificar la normalidad en los datos, por tener mostrar un tamaño en la muestra por debajo de 30, evidenciándose que cumplen con tener valores de significancia mayores a 0.05.

**Cuadro 11.** Pruebas de normalidad.

Tratamiento en briquetas		Shapiro – Wilk Estadística	gl	Sig.
Humedad	10% Aserrin - 90% fibra	0.936	3	0.51
	30% Aserrin - 70% fibra	0.794	3	0.101
	50% Aserrin - 50% fibra	0.8	3	0.114
	Testigo	0.771	3	0.05

a. Corrección de significación de Lilliefors

### Planteamiento de Hipótesis para el ANOVA del contenido de humedad

H<sub>0</sub>: Las medias de los tratamientos del contenido de humedad son iguales

H<sub>1</sub>: Al menos una de las medias de los tratamientos del contenido de humedad es diferente.

En Cuadro 12 se observa el análisis de varianza del contenido de humedad en la que podemos decir que no existe diferencia o significancia entre los tratamientos por tener valor no significativo mayor de 0.05.

Al no presentar diferencias significativas no se puede aplicar la prueba de Tukey o Duncan ya que el p valor o significancia 0.131 es mayor a 0.05.

**Cuadro 12.** Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de humedad.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre los grupos	0,743	3	0,248	2,532	0,131
Dentro de los grupos	0,783	8	0,098		
Total	1,526	11			

Sebastián *et al.* (2020) Señala que, las briquetas al ser secados en estufa obtienen un peso constante o peso final se encuentran en el límite de humedad del residuo en este caso es 14% en relación con el proceso de secado coincide que aun con leves adiciones de humedad, el proceso productivo disminuye el contenido de humedad, donde se cumple el aumento de significativo de la densidad al disminuir la humedad. De acuerdo a los resultados de humedad en briquetas se encuentra en un promedio de 14%, encontrándose dentro del rango establecido.

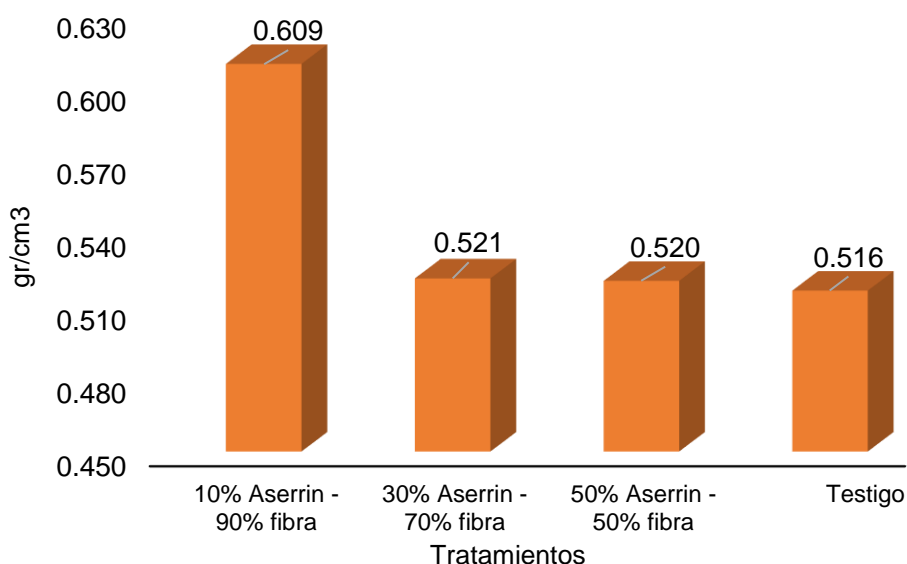
Según Castell (2005), la humedad en briquetas de igual manera tiene que ser menor al 25 %, es adecuado para el proceso de combustión porque una humedad superior demanda mucho tiempo y energía para su secado; reduciendo su rendimiento productivo.

#### 4.1.2. Densidad

El tratamiento 1 (10% de aserrín – 90% de fibra) es el que obtuvo mayor promedio de densidad básica con 0.609 gr/cm<sup>3</sup>, con una desviación estándar  $\pm$  0.0099, siendo ésta la más pequeña, mientras que los demás tratamientos tuvieron en promedio 0.52 gr/cm<sup>3</sup>. Ver Cuadro 13 y figura 4

**Cuadro 13.** Densidad básica de briquetas vegetales por tratamiento.

Tratamiento	Media	Desv. Estándar
10% Aserrin - 90% fibra	0.609 gr/cm <sup>3</sup>	0.009903
30% Aserrin - 70% fibra	0.521 gr/cm <sup>3</sup>	0.01638566
50% Aserrin - 50% fibra	0.52 gr/cm <sup>3</sup>	0.01654196
Testigo	0.516 gr/cm <sup>3</sup>	0.01439472



**Figura 4.** Densidad de briquetas vegetales por tratamientos.

En el Cuadro 14 se muestra la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk, por ser una muestra menor a 30, evidenciándose que cumplen con el supuesto de normalidad por tener valores de significancia mayores a 0.05.

**Cuadro 14.** Pruebas de normalidad.

	<b>Tratamiento</b>	<b>Shapiro – Wilk Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
Densidad	10% Aserrin - 90% fibra	0.87	3	0.296
	30% Aserrin - 70% fibra	0.81	3	0.139
	50% Aserrin - 50% fibra	0.98	3	0.73
	Testigo	0.796	3	0.106

a. Corrección de significación de Lilliefors.

#### **Planteamiento de Hipótesis para el ANOVA de la densidad de briquetas vegetales**

H<sub>0</sub>: Las medias de los tratamientos de la densidad de briquetas vegetales son iguales

H<sub>1</sub>: Al menos una de las medias de los tratamientos de la densidad de briquetas vegetales es diferente

En el Cuadro 15 se hizo el análisis de varianza en densidad básica de las briquetas vegetales donde se observa que no hay significancia entre los tratamientos por tener una significancia de 0.91 mayor a 0.05.

Al no presentar diferencias significativas no se puede aplicar la prueba de Tukey o Duncan.

**Cuadro 15.** Análisis de varianza (ANOVA) en densidad de briquetas vegetales.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre los grupos	0,002	3	0,001	0,176	0,910
Dentro los grupos	0,026	8	0,003		
Total	0,028	11			

Quirino (2002), en su investigación hizo pruebas de densidad aparente en briquetas vegetales de aserrín, estas se encuentran en un rango de 1000 kg/m<sup>3</sup>– 1300 kg/m<sup>3</sup>, en relación a la norma sueca las briquetas se encontrarían clasificadas dentro del grupo I porque sus valores son mayores a 550 kg/m<sup>3</sup>.

Ricardo (2003), en su investigación midió la densidad del aserrín y astillas teniendo un valor superior las astillas con 442.9 kg/m<sup>3</sup>, acuerdo al estudio en esta investigación las briquetas vegetales han cumplido su objetivo al presentar mayor densidad que las materias de origen.

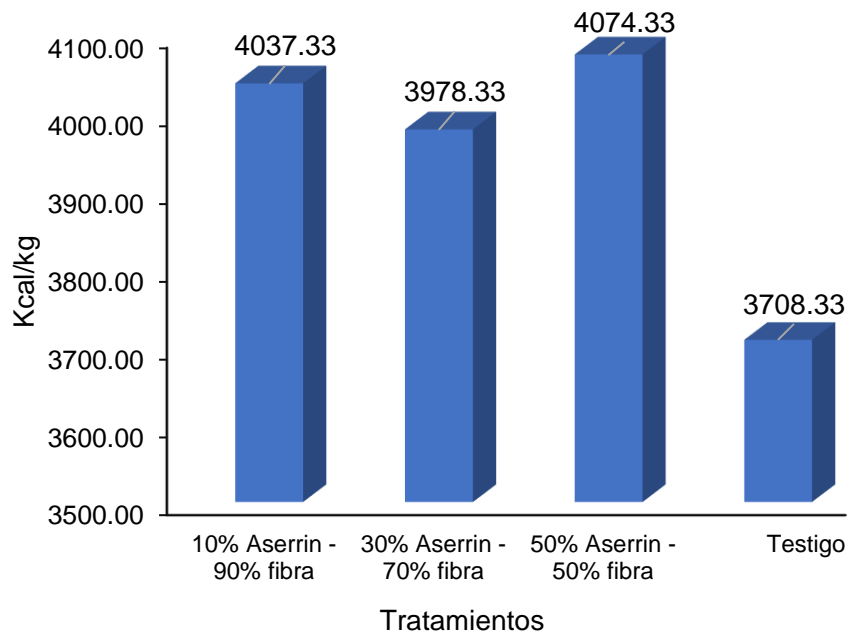
Según Vicente (2017) realizó pruebas con briquetas de cáscara de azúcar, en la cual la briqueta obtuvo 0,35 g/cm<sup>3</sup>, en el presente estudio la briqueta del Tratamiento 1 presenta una significancia alta respecto a los demás tratamientos. Esta densidad sigue siendo mayor a los obtenidos en esta investigación, esto podría deberse a que se usó mayor presión en la fabricación de la briqueta. Por el contrario, el Testigo no resulta conveniente por presentar valores inferiores entre todos los Tratamientos obtuvo 0,50 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.3. Poder calórico

Se puede observar en el cuadro 16 que el promedio más alto de poder calórico es el tratamiento 3 con 4074.33 Kcal/kg, teniendo con menor promedio al tratamiento 4 con 3709.33 Kcal/kg, la misma que se observa en la Figura 5.

**Cuadro 16.** Estadísticos Descriptivos del Poder Calórico.

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Estándar</b>
10% Aserrín - 90% fibra	4037.33	93.85
30% Aserrín - 70% fibra	3978.33	15.31
50% Aserrín - 50% fibra	4074.33	36.75
Testigo	3708.33	106.45



**Figura 5.** Poder Calórico de briquetas vegetales por tratamientos.

Se observa el Cuadro 17 la prueba de normalidad en Shapiro Wilk utilizada para muestras menores de 30, observándose que cumple este supuesto, por tener la significancia mayor a 0.05

**Cuadro 17.** Pruebas de normalidad.

	Tratamiento	Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
Poder Calórico	10% Aserrin - 90% fibra	0.773	3	0.051
	30% Aserrin - 70% fibra	0.897	3	0.377
	50% Aserrin - 50% fibra	0.806	3	0.13
	Testigo	0.991	3	0.824

a. Corrección de significación de Lilliefors

### Planteamiento de Hipótesis para el ANOVA del poder calórico

$H_0$ : Las medias de los tratamientos del poder calórico son iguales

$H_1$ : Al menos una de las medias de los tratamientos del poder calórico es diferente

Se observa el Cuadro 18 donde el ANOVA de la variable del poder calórico, en ello se observa que presentan diferencias significativas entre los tratamientos por tener valor de significancia 0.001 menor que 0.05.

Al presentarse estas significancias se aplica la prueba de Tukey y Duncan donde se identifica cuál de los tratamientos es diferente.

**Cuadro 18.** Análisis de varianza (ANOVA) del poder calórico.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre los grupos	246,872,250	3	82,290,750	15,151	0,001
Dentro de grupos	43,450,667	8	5,431,333		
Total	290,322,917	11			

En el Cuadro 19 se presentan las pruebas Post hoc; donde se observa que tanto en la prueba Tukey y la prueba Duncan que no existe nivel de significancia entre los tratamientos 1, 2 y 3; pero si con el tratamiento 4.

Teniendo al tratamiento III con mejor poder calórico con un valor promedio significativo con 4074.33 Kcal/kg.

**Cuadro 19.** Pruebas Post hoc poder calórico.

<b>Prueba</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto para alfa = 0.05</b>	
			<b>1</b>	<b>2</b>
HSD Tukey <sup>a</sup>	Testigo	3	37,083,333	
	30% Aserrin - 70% fibra	3		39,783,333
	10% Aserrin - 90% fibra	3		40,373,333
	50% Aserrin - 50% fibra	3		40,743,333
	<b>Sig.</b>		1,000	0,432
Duncan <sup>a</sup>	Testigo	3	37,083,333	
	30% Aserrin - 70% fibra	3		39,783,333
	10% Aserrin - 90% fibra	3		40,373,333
	50% Aserrin - 50% fibra	3		40,743,333
	<b>Sig.</b>		1,000	0,164

Se observan las medias para los grupos y los sub-conjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

De acuerdo al cuadro 19 pone en evidencia que las briquetas obtenidas con la proporciones 50%- 50% (Tratamiento 3), 10% - 90% (Tratamiento 1) y 30% -70% (Tratamiento 2) de aserrín y de fibras de semillas de palma aceitera respectivamente, fueron las que presentaron mayor poder calórico de 4074, 4037 y 3978 kcal/kg de briquetas anhidra; la briqueta vegetal obtenida con la proporción 100% de aserrín y 0% (Tratamiento 4) de fibras de semilla de palma aceitera presento en menor poder calórico (3708 kcal/kg de briqueta), difiriendo significativamente e inferior en el poder calórico de las otras briquetas.

De acuerdo con los resultados las briquetas que presentó mayor poder calórico de 4074 kcal/kg la de proporción de 50% (A) – 50% (F); la briqueta vegetal obtenida con la proporción 100% de aserrín y 0% de fibras de semilla de palma aceitera presento en menor poder calórico (3708 kcal/kg de briqueta), difiriendo significativamente e inferior en el poder calórico de las otras briquetas. El promedio de las briquetas es de 3949.25 Kcal/kg, respecto a la norma sueca SS187121 las briquetas vegetales se encuentran en el grupo I.

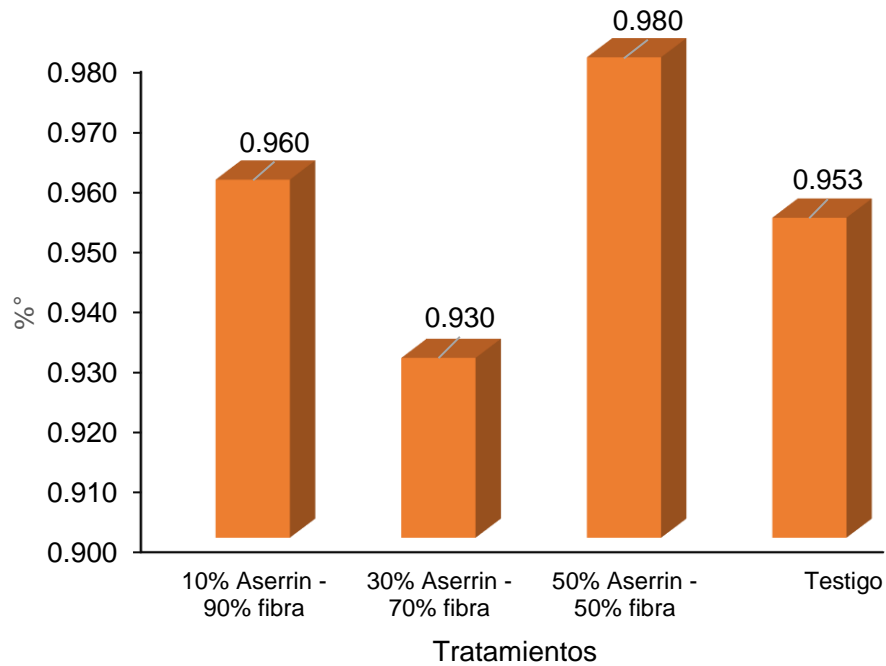
Según Carlos (2005), menciona en su investigación donde realizo briquetas de corteza de eucalipto; obteniendo un poder calórico mayor de 4200 kcal/kg, este valor es superior a los resultados obtenidos. Razón que el material de origen (corteza), tiene mayor poder calórico y contienen más resinas y gomas a diferencia de la madera que mejoran el grado de compactación y densificación.

#### 4.1.4. Contenido de cenizas

El Cuadro 20 y la Figura 07 muestran los promedios del contenido de cenizas de briquetas vegetales con cuatro tratamientos con proporciones de aserrin (A) y fibras de semilla de palma aceitera (F), teniendo mayor contenido de cenizas al tratamiento 3 T3 con 0.98%.

**Cuadro 20:** Estadísticos Descriptivos de Ceniza

Tratamiento	Media	Desv. Desviación
10% Aserrín - 90% fibra	0.9597	0.0410
30% Aserrín - 70% fibra	0.93	0.0721
50% Aserrín - 50% fibra	0.98	0.02
Testigo	0.9533	0.0551



**Figura 6.** Contenido de cenizas de briquetas vegetales con cuatro proporciones

En el Cuadro 21 presenta la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk usada en muestras menores de 30, observándose que cumple este supuesto, por tener los valores de significancia mayores a 0.05.

**Cuadro 21.** Pruebas de normalidad para el contenido de cenizas.

Tratamiento	Shapiro – wilk Estadístico	gl	Sig.
10% Aserrin - 90% fibra	0.999	3	0.946
30% Aserrin - 70% fibra	0.942	3	0.537
50% Aserrin - 50% fibra	1	3	1
Testigo	0.824	3	0.174

a. Corrección de significación de Lilliefors

#### **Planteamiento de Hipótesis para el ANOVA del contenido de ceniza**

$H_0$ : Las medias de los tratamientos del contenido de ceniza son iguales

$H_1$ : Al menos una de las medias de los tratamientos del contenido de ceniza es diferente

El Cuadro 22 muestra el ANOVA del contenido de ceniza donde se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos del contenido de ceniza por tener valor de significancia 0.697 mayor a 0.05.

Por lo que se puede afirmar que el contenido de cenizas es similar en los cuatro tratamientos de briquetas vegetales al no presentar diferencias significativas no se puede aplicar la prueba de Tukey o Duncan.

**Cuadro 22:** Análisis de Varianza del contenido cenizas.

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre los grupos	0,004	3	0,001	0,493	0,697
Dentro del grupo	0,021	8	0,003		
Totales	,024	11			

Según Alarcón (2017), el porcentaje de contenido en cenizas muestra la cantidad de poder calorífico que tiene un combustible sólido (carbón) es de 7.32 % a diferencia de las briquetas tiene un valor alto, en combustibles el contenido de ceniza del fly ash es elevado con 10.44 %. Esto es debido a la gran variabilidad dependiendo de su origen, teniendo un valor más bajo en yacimiento de adjuntas con 4.42 %, para santo domingo con 10.06 %. A diferencia del carbón y fly ash se observa que presenta un 30 % más de cenizas. Analizando los resultados del derivado del petróleo indican que el contenido de cenizas es de 1.01 % tiene un valor bajo a exclusión fuel oil que tiene un contenido de cenizas en un 3,07%, De acuerdo la tabla 22 y la figura 06, el tratamiento 2 correspondiente al 30% (A) de aserrín y 70% (F) fibras de semilla de palma aceitera, es el que presenta menor contenido de cenizas con 0.93%, es importante mencionar que esto se puede lograr gracias a una reducida presencia de humedad en los residuos orgánicos (aserrín), están ligados con el proceso de cambio físicos de éstos (Molienda, secado y compactación).

Según el CEDIT (Centro de desarrollo e investigación en termo fluidos), se define el tamaño óptimo de briquetas es 3.5 cm de diámetro y 10 cm de altura, también detalla que las cenizas restantes se utilicen como abono para terrenos agrícolas; en esta investigación se ha elaborado briquetas de aserrín y fibras de semilla de palma aceitera con un diámetro de 3.7 cm y altura de 8 cm encontrándose dentro de lo establecido por el CEDIT con un peso de 52 - 53 gramos. De acuerdo a la tabla 12 y la figura 05, el tratamiento 2 correspondiente al 30% (A) de aserrín y 70% (F) fibras de semilla de palma aceitera, es el que presenta menor contenido de cenizas con 0.93%, en relación a la cantidad de cenizas es menor a otros

combustibles, por lo que presentan mejores ventajas al emitir menores cantidades de CO<sub>2</sub> que otros combustibles.

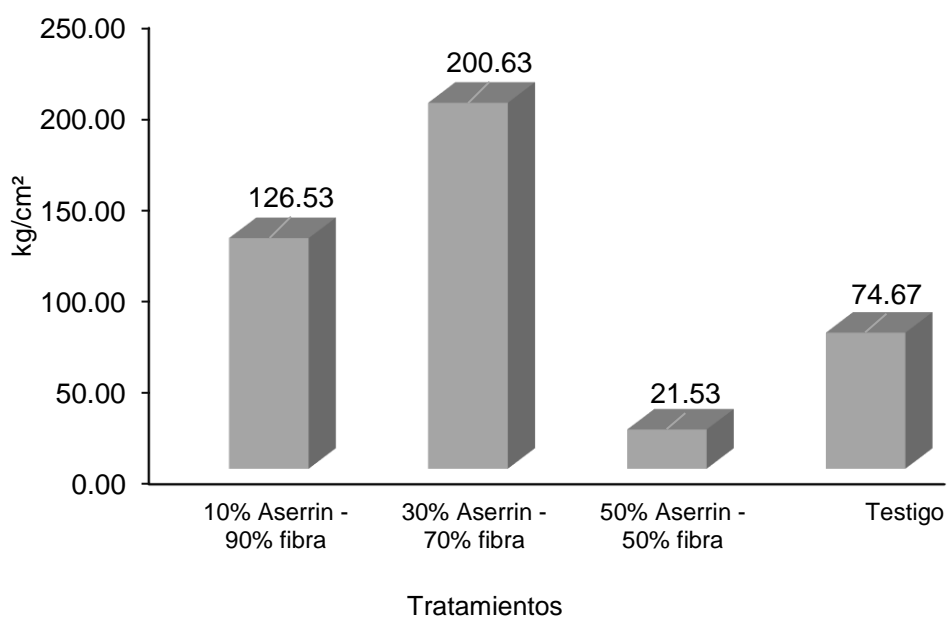
## 4.2. Propiedades mecánicas de briquetas vegetales de aserrín – fibras de semilla de palma aceitera

### 4.2.1. Compresión perpendicular al eje de la briketa

Se puede observar en el Cuadro 23 el promedio de compresión perpendicular de los tratamientos, teniendo el promedio más alto de compresión perpendicular al eje central de las briquetas vegetales al tratamiento 2 con 200.633 kg/cm<sup>2</sup> y una variabilidad de  $\pm 5.701$  kg/cm<sup>2</sup>, asimismo con menor promedio al tratamiento 3 con 21.53 kg/cm<sup>2</sup>, la misma que se observa en la Figura 7.

**Cuadro 23.** Estadísticos Descriptivos de Compresión Perpendicular.

Tratamiento	Media	Desv. Estándar
10% Aserrín - 90% fibra	126.5333	2.01329
30% Aserrín - 70% fibra	200.6333	5.70117
50% Aserrín - 50% fibra	21.5333	1.0116
Testigo	74.6667	9.29157



**Figura 7.** Compresión perpendicular de briquetas vegetales con cuatro proporciones.

En el Cuadro 24 se presenta la prueba de normalidad de Shapiro Wilk utilizada para muestras menores de 30, observándose que cumple este supuesto, por tener los valores de significancia mayores a 0.05.

**Cuadro 24.** Pruebas de normalidad en análisis de compresión perpendicular.

	<b>Tratamiento</b>	<b>Shapiro – Wilk Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
	10% Aserrin - 90% fibra	0.987	3	0.78
Compression	30% Aserrin - 70% fibra	0.931	3	0.491
Perpendicular	50% Aserrin - 50% fibra	0.792	3	0.094
	Testigo	0.837	3	0.206

a. Corrección de significación de Lilliefors

#### **Planteamiento de Hipótesis para el ANOVA de la compresión perpendicular al eje de la briqueta**

H<sub>0</sub>: Las medias de los tratamientos de la compresión perpendicular al eje de la briqueta son iguales.

H<sub>1</sub>: Al menos una de las medias de los tratamientos de la compresión perpendicular al eje de la briqueta es diferente.

En el Cuadro 25 se muestra el análisis de varianza de la variable compresión perpendicular en la que se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos por tener valor de significancia 0.000 menor a 0.05.

Al presentar diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey y Duncan para identificar cuál de los tratamientos es diferente.

**Cuadro 25.** Análisis de Varianza (ANOVA) compresión perpendicular.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre los grupos	52,480,142	3	17,493,381	564,697	0,000
Dentro los grupos	247,827	8	30,978		
Total	52,727,969	11			

En el Cuadro 26 se presentan las pruebas Post hoc; donde se observa que tanto en la prueba Tukey y la prueba Duncan que existe diferencias significativas entre los tratamientos, teniendo al tratamiento 2 con mayor compresión perpendicular

con un valor promedio significativo con 200.63 kg/cm<sup>2</sup> y al menor promedio al tratamiento 3 cuyo valor es de 21.53 kg/cm<sup>2</sup>.

En relación a los resultados obtenidos en forma global se puede decir que la resistencia a la compresión perpendicular de las muestras de las briquetas de aserrín y fibras de semilla de palma aceitera elaboradas con un diseño experimental semiindustrial presentan una superioridad en comparación a las elaboradas con un diseño convencional, con un valor de 2000.63 kg/cm<sup>2</sup>, este resultado se pudo lograr gracias a un alto poder de compactación de los residuos de aserrín que están ligados con el proceso de cambio fisicoquímicos y un prensado en caliente de 3500 kg.

**Cuadro 26.** Pruebas Post Hoc: Compresión Perpendicular.

Prueba	Tratamiento	N	Sub-conjunto para Alfa = 0.05			
			1	2	3	4
HSD Tukey <sup>a</sup>	50% Aserrin - 50% fibra	3	215,333			
	Testigo	3		746,667		
	10% Aserrin - 90% fibra	3			1,265,333	
	30% Aserrin - 70% fibra	3				2,006,333
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan <sup>a</sup>	50% Aserrin - 50% fibra	3	215,333			
	Testigo	3		746,667		
	10% Aserrin - 90% fibra	3			1,265,333	
	30% Aserrin - 70% fibra	3				2,006,333
	Signif.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se observa las medias para los grupos y los subconjuntos homogéneos.

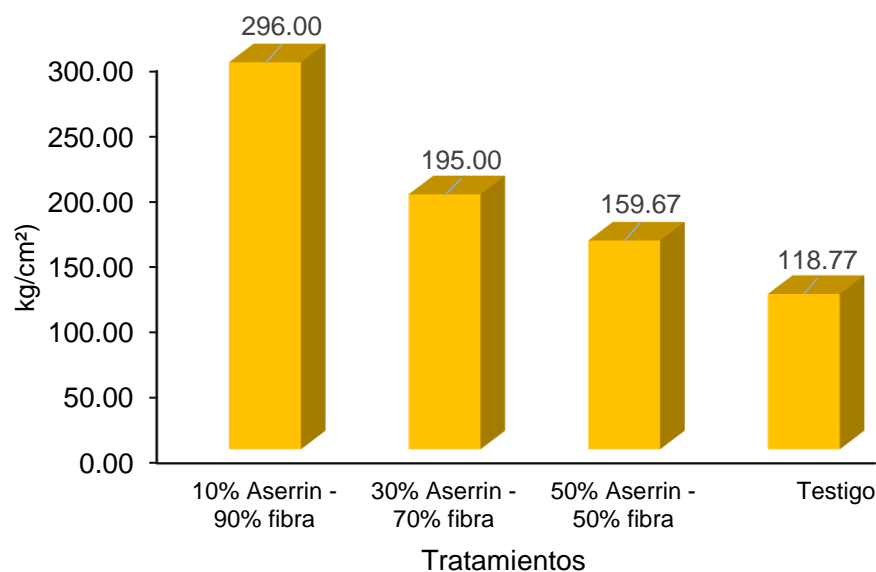
**a. Utiliza** el tamaño de la muestra de la media armónica = 3000.

#### 4.2.2. Compresión paralela al eje de la briketa

Se puede observar en el Cuadro 27 el promedio más alto de compresión paralela al eje central de las briquetas vegetales es el tratamiento 1 con 296 kg/cm<sup>2</sup>, y una desviación estándar alta de  $\pm 66.36$  kg/cm<sup>2</sup>, por otro lado el que obtuvo menor promedio fue el tratamiento 4 con 118.77 kg/cm<sup>2</sup> y una variabilidad de 9.097 kg/cm<sup>2</sup>, la misma que se observa en la Figura 9.

**Cuadro 27.** Estadísticos Descriptivos de Comprensión Paralela.

Tratamiento	Media	Desv. Desviación
10% Aserrín - 90% fibra	296	66.363
30% Aserrín - 70% fibra	195	6
50% Aserrín - 50% fibra	159.67	2.082
Testigo	118.77	9.097



**Figura 8.** Contenido de Comprensión paralela de briquetas vegetales con cuatro proporciones.

#### **Planteamiento de Hipótesis para el ANOVA de la compresión paralela al eje central de las briquetas vegetales**

$H_0$ : Las medias de los tratamientos de la compresión paralela al eje central de las briquetas vegetales son iguales

$H_1$ : Al menos una de las medias de los tratamientos de la compresión paralela al eje central de las briquetas vegetales es diferente

El Cuadro 28 muestra el resultado del análisis de varianza de la compresión paralela al eje central de las briquetas vegetales mostrando que existen diferencias significativas por tener un valor de 0.001 menor a 0.05.

Se realizó la prueba de Tukey para verificar cual tratamiento es el mejor.

**Cuadro 28.** Análisis de varianza para la Compresión paralela.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre los grupos	51,699,156	3	17,233,052	15,227	0,001
Dentro los grupos	9,054,193	8	1,131,774		
Total	60,753,349	11			

Se puede evidenciar en el Cuadro 29 que las briquetas obtenidas del tratamiento 1 con 10% de aserrín (A) - 90% de fibras de semilla de palma aceitera (F), fue la que presentó la mayor resistencia a la compresión paralela al eje con 2.960 kg/cm<sup>2</sup>; diferenciándose de los demás tratamientos, los demás tratamientos de 30%A – 70%F, 100%A -0%F y 50%A – 50%F no difieren entre si y presentan valores menores al tratamiento 1 con 1.950, 1.596 y 1.187, kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

**Cuadro 29.** Prueba Post Hoc: Compresión paralela.

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Testigo	3	1,187,667	
50% aserrín - 50% fibra	3	1,596,667	
30% aserrín - 70% fibra	3	1,950,000	
10% aserrín - 90% fibra	3		2,960,000
Sig.		0,091	1,000

De acuerdo a los resultados obtenidos en forma global la resistencia a la compresión perpendicular de las muestras en briquetas de aserrín y fibras de semilla de palma aceitera elaboradas con un diseño experimental semiindustrial presentan una superioridad en comparación a las elaboradas con un diseño convencional, con un valor presento la mayor resistencia a la compresión paralela al eje con 296 kg/cm<sup>2</sup>;, este resultado se pudo lograr gracias a un alto poder de compactación de los residuos de aserrín que están ligados con el proceso de cambio fisicoquímicos y un prensado en caliente de 3500 kg.

## V. CONCLUSIONES

1. En relacion al objetivo general se logro obtener briquetas vegetales de aserrin y fibras de semilla de palma aceitera con buenas características físicas y mecánicas para su uso como combustible sólido.
2. Se evaluaron las características físicas (Humedad, densidad); los contenidos de humedad de los cuatro tratamientos de briquetas vegetales en el análisis de varianza no muestran diferencias significativas, esto se explica porque han sido sometidos al secado en estufa, sin embargo, los sustratos que conforman las muestras de briquetas tienen comportamientos higroscópicos por lo tanto las muestras estarán sujetos a la humedad de equilibrio del medio.
3. Se logró calcular la densidad de los cuatros tratamientos de briquetas vegetales; observando que el tratamiento 1 es la que tiene mayor densidad con 10% de aserrín y 90% de fibra de semilla de palma aceitera con un valor de  $(0.609 \text{ gr./cm}^3)$ ; a diferencia de los demás tratamientos con valores inferiores.
4. Se determinó el poder calórico de las briquetas vegetales con cuatro tratamientos, en el análisis de varianza nos determina que entre las cuatro tratamientos hay diferencias significativas y contrastando con la prueba de Duncan y Tukey se determinó que la muestra con 50% de aserrín y 50% de fibra de semilla de palma aceitera es la que presenta mayor poder calórico (4074Kcal por kilogramo de muestra), clasificándolo según la norma sueca SS187121 como pertenecientes al grupo I y puede ser utilizado en las cocinas rurales, generadores de calor en zonas frías.
5. Las propiedades mecánicas como la comprensión perpendicular y paralela al eje son valores que están directamente relacionados con el grado de dureza del material y esto a su vez determina el tiempo de permanencia durante la generación de calor por combustión obteniendo mejores resultados de comprensión perpendicular y paralela la de mayor resistencia a la comprensión paralela al eje es el tratamiento 1 con  $296 \text{ kg/cm}^2$ ; y la perpendicular es de  $200.63 \text{ kg/cm}^2$ .

## VI.RECOMENDACIONES

1. En la presente investigación los parámetros como la presión de trabajo, y el tiempo de prensado son parámetros que influyen directamente en la densidad de las briquetas, es decir a mayor densidad mayor poder calórico, bajo este contexto se recomienda evaluar el poder calórico con presiones y tiempos en varias frecuencias.
2. El poder calórico es el parámetro que determina la calidad de los combustibles vegetales expresados como briquetas de tal modo es recomendable seleccionar residuos con altas densidades que permitan obtener una briketa prensada con alto poder calórico.
3. De las cuatro muestras analizadas el mayor poder calórico fue obtenido de la proporción 50% de aserrín y 50% de semilla de palma aceitera (4074 K cal/Kg.), según normas internacionales como la Sueca SS187121, el promedio es de 3949.25 Kcal/kg en referencia a la norma sueca SS187121 la briketa estaría dentro del grupo I, bajo este contexto se recomienda el uso de las briquetas como combustible para las cocinas mejoradas en las zonas de mayor consumo de leña, como combustible sólido en generadores de calor de zonas frías como la sierra del Perú.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Arpi, E; Calderón, S. 2010. Diseño de una máquina peletizadora empleando residuos forestales. I Congreso Internacional sobre residuos de madera/biomasa. Pucallpa, Perú.
- Assuireira, E; Assuireira, M. 2011. Desarrollo de densificados para uso energético empleando residuos forestales. I Congreso Internacional sobre residuos de madera/biomasa. Pucallpa, Perú.
- Calvo, E. 2013. Impactos ambientales de la quema de biomasa. Tesis Bach. Lima. IPCC / UNMSM. Lima, Perú.
- Cieza, LD; Rivadeneyra, DC. 2013. Formulación de briquetas a base de cascarilla de arroz (*oryza sativa*) a emplearse como combustible de cocinas eco regionales, en la región Lambayeque, 2012. Tesis Bach. Chiclayo. Perú. Universidad Señor de Sipan.
- Claessens, HA; Lammerts, B. 2013. An off-line two-dimensional analytical procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke aerosol. J. High Res. Chromatog. 10, pp. 342-347.
- Dávila, M. 2015. Situación actual ambiental y social de la industria maderera en Ucayali. I Congreso Internacional sobre residuos de madera/ biomasa. Pucallpa, Perú.
- FAO. 2012. Bosques y energía: Cuestiones claves. Roma: 8. 154 p.
- FOCER. 2002. Manuales sobre energía renovable: Biomasa. Editorial Users. S.A San José. Costa Rica. 11 p.
- Gallipoliti, V; Martina, P; Corace, J; Aeberhardt, E. 2012. Fabricación briquetas con aserrín blanco de pino, análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. Revista averma 16: 06-35.
- González, AF; Ruales, ÁV; Velazco, F. 2016. Características energéticas de combustibles densificados de residuos de la uva Isabella (*viti labrusca* L.). *Revista Mutis*, 5(2):5-15.
- Krizan, P. 2015. The Densification Process of Wood Waste.
- Jara, H. 2009. Biomasa y sus Propiedades como Combustible.

- Lima, L. 2013. Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis de maestría. Nuevo León, México, Universidad autónoma de nuevo león. Facultad de ciencias forestales.
- Martines, L; Lira, L. 2010. Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos.
- Martínez, AL. 2015. Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes. Tesis bach. Guatemala, USAC.
- Mitchual, SJ; Frimpong, K; Darkwa, NA; Akowuah, JO. 2013. Maize cobriquettes and Ceiba pentandra at room temperature and low compaction pressure without a binder. *International Energy and Environmental Engineering*, 4 (1):38.
- MINAG. 2014. plan estratégico sectorial multianual de agricultura 2013-2017.
- Ortega, C; Ochoa, R. 2003. La palma africana, una oleaginosa de ambiente tropical. *Revista Claridades Agropecuarias*. 122p.
- Pacheco, J; Tojes, F. 2015. Caracterización energética del densificado de aserrín como un biocombustible, pellet, utilizando tres diferentes aglutinantes: arcilla, almidón y yeso. Tesis Bach. Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Quesada, H. 2001. Cultivo e industria de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*). (No. D-1035). INFOAGRO.
- Riesco, A; Quevedo, M.; Sánchez. 2013. Análisis económico de alternativas para optimizar la cadena de valor forestal en la región Ucayali. CONDESU Pucallpa, Perú.
- Tingo, T; Fonseca, C. 2011. Desarrollo de un Proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz y pruebas de producción de gas pobre. Tesis Bach. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
- Sellin, N; Oliveiraa, BG; Marangonia, C; Souzaa, O; Oliveirab, APN; Oliveira, MN. 2013. Use of banana crop residues to produce briquettes. *Chemical engineering, EMC*, Federal University of Santa Catarina. Vol: 32. 349p.

- Sebastián, F; García D; Reseau A. 2010. Energía de la biomasa (volumen I). Zaragoza, España: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Starbuck, C. 2012. Producción y uso de composta de aserrín de avena y estiércol. III Simposium Internacional y IV Reunión Nacional de Agricultura Sostenible. Universidad de Guadalajara, 16-19 de noviembre.
- Velázquez, J; Gómez F, A. 2010. Palma Africana en Tabasco: Resultados de investigación. Colección José N. Rovirosa, Universidad Juárez autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México.
- Vera, V, A. 2016. Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello-Cesar. Tesis Bach. UNAD Valledupar, Colombia.
- Vizhñay, M, PJ. 2013. La matriz energética ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja. Instituto ecuatoriano de eficiencia energética alumbrado público. Loja. Ecuador.
- Wolte, E. 2013. Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. Palmas. Vol.: 34, tomo II.
- Yomona, J. 2014. Respiramos partículas 500 % más de lo permitido. Diario Ahora. Pucallpa, Perú. 17 abril: 9p.

## VIII. ANEXOS



**Figura 9.** Prensa universal TINIUS OLSEN para el prensado de las briquetas



**Figura 10.** Moldes de acero para el prensado de las briquetas.



**Figura 11.** Prueba de compresión perpendicular las briquetas



**Figura 12.** Estufa para el secado de las briquetas.