UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

“Análisis de la granulometría y morfología del aserrín de la madera de cinco especies forestales de Pucallpa y sus posibilidades de uso en la fabricación de briquetas”

Tesis para optar el título de:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

Bach. HERBERT OLDEMAR VALERIO REQUIZ

Pucallpa - Perú
2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 422/2021-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 10:00 a.m. del viernes 01 de octubre de 2021, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, los mismos que estuvo designados con Memo Múltiple N.º 127-2021-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido	Presidente
Dr. David León Moreno	Miembro
Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: ***"ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA Y MORFOLOGÍA DEL ASERRÍN DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA Y SUS POSIBILIDADES DE USO EN LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS",*** *presentado por el bachiller,* ***VALERIO REQUIZ HERBERT OLDEMAR;*** asesorado por el Dr. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante en consecuencia la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 11:35 a.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Desiderio Vásquez Plácido
Presidente

Dr. David León Moreno
Miembro

Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

La presente Tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali para obtener el Título profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Desiderio Vásquez Plácido

Presidente

Dr. David León Moreno

Miembro

Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco

Miembro

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas

Asesor

Bach. Herbert Oldemar Valerio Requiz

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°0334-2021

La **Dirección de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el **Informe Final de Tesis, titulado**:

"ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA Y MORFOLOGÍA DEL ASERRÍN DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA Y SUS POSIBILIDADES DE USO EN LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS"

Cuyo(s) autor (es)	:	**VALERIO REQUIZ, HERBERT OLDEMAR**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	INGENIERÍA FORESTAL.
Asesor(a)	:	Dr. SALVADOR CÁRDENAS, MANUEL IVÁN

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

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

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

Fecha: 27/08/2021

Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON
Dirección de Producción Intelectual

UNIVERCIDAD NACIONAL DE UC AYALI

OEBYP – REPOSITORIO INSTITUCIONAL

AUTORIZACION DE PUBLICACION DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERCIDAD NACIONAL DE UCAYALI

YO. HERBERT OLDEMAR VALERIO REQUIZ

Autor(a) de la TESIS de pregrado titilada:
"ANALISIS DE LA GRANULOMETRIA Y MORFOLOGIA DEL ASERRIN DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA Y SUS POSIBILIDADES DE USO EN LA FABRICACION DE BRIQUETAS"

Sustentado el año: 2021

Con la asesoría de: DR. MANUEL IVAN SALVADOR CARDENAS

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela profesional de: INGENIERIA FORESTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] Significa que se publicara en el repositorio institucional solo la caratula la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción es solo valida marca si su tesis y/o documento presenta material patentable para ello deberá presentar el trámite de PATI y/o INDECOPI cuando se solicite a DGPI UNU.

TOTAL [X] Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publica en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y la veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización. Garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, en caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 05/11/2021

Email: hevare_12@hotmail.com Firma:

Teléfono: 963677865 DNI: 44168480

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS

En la ciudad de Pucallpa a las 09:00 a.m. del día miercoles 07 de octubre del 2020, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los integrantes del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, conformado por los siguientes docentes:

Dr. DESIDERIO VÁSQUEZ PLÁCIDO	Presidente
Dr. DAVID LEÓN MORENO	Miembro
Ing. M.Sc. MOISÉS TORRES VELASCO	Miembro
Dr. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS	Asesor

Se procedió a la sustentación del Proyecto de Tesis denominado: **"ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA Y MORFOLOGÍA DEL ASERRÍN DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA Y SUS POSIBILIDADES DE USO EN LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS"**, presentado por el bachiller **HERBERT OLDEMAR VALERIO REQUIZ.** Finalizada la sustentación se procedió a la evaluación respectiva. El proyecto de tesis fue **APROBADA** quedando apta para su ejecución.

Siendo las 11:00 a.m. horas del mismo día se dio por concluido el acto académico.

Dr. Desiderio Vásquez Plácido
Presidente

Dr. David León Moreno
Miembro

Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco
Miembro

cc. Decano
Asesor
Miembro del Jurado (3)
Interesado
Archivo

DEDICATORIA

Dedico esta obra primeramente a Dios por permitirme tener vida, salud y poder realizar uno más de mis propósitos que es ser ingeniero forestal.

A mis padres, Olimpio y Olga, por brindarme su amor, apoyo, comprensión y educación durante esta larga y hermosa carrera, la ingeniería.

A mis hermanos y hermanas por su ejemplo, quienes me enseñaron que con el trabajo y perseverancia se encuentra el éxito profesional.

A mi pareja por estar siempre a mi lado y darme su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

- Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional de Ucayali por haberme aceptado por ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera.

- Al Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, Catedrático de la Universidad Nacional de Ucayali, asesor del presente trabajo, por su invalorable y desinteresado apoyo en la elaboración y culminación de la tesis.

- Agradezco a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Ucayali, por los conocimientos teóricos y prácticos que me brindaron en las aulas y en el campo práctico.

- A la Universidad Nacional de Ucayali, por los servicios prestados en los laboratorios de anatomía de la madera, transformación química de la madera y tecnología de la madera en todo el proceso de la ejecución de los ensayos de la tesis.

- Al Ing. Cristian Fachin Vargas, encargado del área de tecnología de la madera por su apoyo en todo el proceso de la fabricación de las briquetas.

- A todas las personas que de una u otra manera han contribuido con el desarrollo y finalización del presente estudio.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **iii**

AGRADECIMIENTO ..... **iv**

ÍNDICE DEL CONTENIDO ..... **v**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xiii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xv**

RESUMEN ..... **xix**

ABSTRACT ..... **xx**

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I **2**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **2**

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA **2**

a. Problema general **2**

b. Preguntas de investigación **3**

1.2. JUSTIFICACIÓN **3**

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN **4**

Objetivo general **4**

Objetivos específicos **4**

CAPÍTULO II **5**

MARCO TEORICO **5**

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA **5**

2.1.1. El aserrín **5**

2.1.2. Granulometría del aserrín ……..…… **5**

2.1.3. Morfología del aserrín ……..…… **6**

2.1.4. Utilización del aserrín …… **6**

2.1.5. Briquetas …….. **7**

2.1.6. Características de las briquetas ……..…….. **8**

2.1.7. Equipos de briquetado ……..…… **8**

- Briqueteadora mecánica de pistón (Densificación por impacto) …… **9**
- Briqueteadora de tornillo (Densificación por extrusión) ……..…….. **10**
- Briqueteadora hidráulica o neumática ……..…….. **11**

2.1.8. Aglutinantes ……..…… **12**

2.1.9. Factores que inciden y regulan el proceso de la densificación ……. **12**

a. Contenido de humedad …….. **12**

b. Composición química ……..…… **13**

c. Presión dinámica …… **13**

d. Temperatura …… **14**

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS …….. **14**

2.3. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA ……..…… **17**

2.3.1. Aspectos generales de las especies en estudio …… **17**

a. Lupuna blanca (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertner) …… **17**

Taxonomía …… **17**

Descripción botánica …….. **17**

Distribución y hábitat …….. **18**

Características de la madera ……..…… **19**

Características tecnológicas ……..…… **19**

Propiedades físicas …… **19**

Propiedades mecánicas …… **20**

Fenología, polinización y dispersión …… **20**

Usos de la madera …….. **21**

b. Cumala (*Virola calophylla* Warburg) ……..…… **21**

Taxonomía ……..…….. **21**

Descripción botánica …….. **22**

Distribución y hábitat ……..…… **23**

Características de la madera …… **23**

Características tecnológicas …… **24**

Propiedades físicas ……..…… **24**

Propiedades mecánicas …… **24**

Fenología, polinización y dispersión ……..…… **25**

Usos de la madera …….. **25**

c. Copaiba blanca (*Copaifera paupera A. Chev)* …… **26**

Taxonomía ……... **26**

Descripción botánica ……..…… **26**

Distribución y hábitat …….. **27**

Características de la madera ……..…… **27**

Características tecnológicas ……..…….. **28**

Propiedades físicas **28**

Propiedades mecánicas **28**

Fenología, polinización y dispersión **28**

Usos de la madera **29**

d. Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth)) **29**

Taxonomía **29**

Descripción botánica **30**

Distribución y hábitat **31**

Características de la madera **31**

Características tecnológicas **32**

Propiedades físicas **32**

Propiedades mecánicas **32**

Fenología, polinización y dispersión **33**

Usos de la madera **33**

e. Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* (Harms)) **33**

Taxonomía **33**

Descripción botánica **34**

Distribución y hábitat **35**

Características de la madera **35**

Características tecnológicas **36**

Propiedades físicas **36**

Propiedades mecánicas **36**

Fenología, polinización y dispersión ……..…… **36**

Usos de la madera …….. **37**

2.3.2. Cuadro de las propiedades físicas y mecánicas de las 5 especies …. **38**

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS …… **40**

CAPÍTULO III …….. **43**

METODOLOGIA ……..…… **43**

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN ……..…… **43**

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN …….. **43**

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA …….. **43**

3.3.1. Población ……..…….. **43**

3.3.2. Muestra …….. **44**

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ……... **44**

3.4.1. Materiales ……..…… **44**

3.4.2. Herramientas ……..…… **44**

3.4.3. Equipos …….. **45**

3.4.4. Maquina …… **45**

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS …….. **45**

3.5.1. Recolección del aserrín ……..…… **45**

3.5.2. Transporte del aserrín …… **45**

3.5.3. Acondicionamiento del aserrín ……..…… **46**

3.5.4. Tamizado del aserrín ……..…… **46**

3.5.5. Secado del aserrín ……..…… **46**

3.5.6. Preparación del aglutinante …… **46**

3.5.7. Calentamiento de los moldes …… **47**

3.5.8. Fabricación de briquetas …… **47**

3.5.9. Determinación de las propiedades físicas …… **47**

a. Densidad …… **47**

b. Densidad aparente …… **48**

c. Contenido de humedad …… **48**

3.5.10. Determinación de la resistencia a la compresión paralela …… **49**

3.5.11. Determinación del poder calórico de las briquetas …… **49**

3.6. ANÁLISIS DE LA MORFOLOGÍA DE LAS PARTÍCULAS DE CORTEZA DE ASERRIN …… **50**

3.7. TRATAMIENTO DE DATOS …… **51**

3.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA …… **52**

CAPÍTULO IV …… **54**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN …… **54**

4.1. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PARTÍCULAS DEL ASERRÍN DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA …… **54**

4.2. MORFOLOGÍA DE LAS PARTÍCULAS DEL ASERRÍN DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA …… **56**

4.2.1. Morfología del aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) …… **56**

4.2.2. Morfología del aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) …… **59**

4.2.3. Morfología del aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) …… **61**

4.2.4. Morfología del aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) …… **63**

4.2.5. Morfología del aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) …….. **65**

4.3. CARACTERÍZACION DE LAS BRIQUETAS DE ASERRÍN …….. **67**

Briquetas de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) ……..…… **67**

Briquetas de *Virola calophylla* (Cumala) ……..…… **68**

Briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) …… **68**

Briquetas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) ……..…… **68**

Briquetas de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) ……..…… **68**

4.3.1. Análisis del peso de las briquetas …… **70**

4.3.2. Análisis del diámetro de las briquetas …….. **71**

4.3.3. Análisis del largo (Longitud) de las briquetas …….. **72**

4.3.4. Análisis del volumen de las briquetas ……... **73**

4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS BRIQUETAS DE ASERRÍN ……..…… **74**

4.4.1. Densidad de las briquetas ……...…….. **74**

4.4.2. Contenido de humedad ……..…… **78**

4.4.3. Densidad aparente …….... **81**

4.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN ...… **83**

4.6. PODER CALÓRICO SUPERIOR DE BRIQUETAS DE ASERRÍN …….. **87**

CAPÍTULO V ……... **92**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ……... **92**

5.1. CONCLUSIONES ……... **92**

5.2. RECOMENDACIONES …… **94**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ……..…… **95**

ANEXOS **98**

ANEXO 01 ..... **99**

ANEXO 02 ..... **109**

ANEXO 03 ..... **110**

ANEXO 04 ..... **111**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Propiedades físicas y mecánicas de la Lupuna blanca (*Ceiba pentandra*) ……..… **38**

Tabla 02. Propiedades físicas y mecánicas de la Cumala (*Virola calophylla*) …. **38**

Tabla 03. Propiedades físicas y mecánicas de la Copaiba blanca (*Copaifera paupera*) …… **38**

Tabla 04. Propiedades físicas y mecánicas de la Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) ……..…… **39**

Tabla 05. Propiedades físicas y mecánicas del Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*) …… **39**

Tabla 06. Composición granulométrica promedio del aserrín de cinco especies forestales con cuatro tamices …… **54**

Tabla 07. Resumen de los datos morfológicos de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …… **67**

Tabla 08. Características métricas de las briquetas de aserrín de las cinco especies forestales y cuatro granulometrías ……..…….. **69**

Tabla 09. Densidad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …….. **74**

Tabla 10. Análisis de la varianza de las densidades básicas de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales …… **75**

Tabla 11. Resumen de la prueba de Tukey de la densidad de las briquetas de aserrín debido al tamaño de criba de los tamices ……..…… **76**

Tabla 12. Resumen de la prueba de Tukey de la densidad de las briquetas de aserrín debido a las especies ……..……. **76**

Tabla 13. Contenido de humedad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías ……..… **78**

Tabla 14. Análisis de la varianza de los contenidos de humedad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales ……...… **79**

Tabla 15. Resumen de la prueba de Tukey del contenido de humedad de las briquetas de aserrín debido al tamaño de criba de los tamices …….. **79**

Tabla 16. Resumen de la prueba de Tukey del contenido de humedad de las briquetas de aserrín debido a las especies ……..…….. **80**

Tabla 17. Densidad aparente de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales …….…….. **82**

Tabla 18. Resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales …….. **83**

Tabla 19. Análisis de la varianza de las compresiones perpendiculares de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales …….. **84**

Tabla 20. Resumen del análisis de varianza unifactorial por especie forestal … **85**

Tabla 21. Resumen de la prueba de Tukey de la compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas de aserrín debido al tamaño de criba de los tamices ……..…….. **86**

Tabla 22. Resumen del poder calórico superior de las briquetas por especie y por número de tamiz ……...…….. **88**

Tabla 23. Análisis de la varianza de los poderes calóricos de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales ……..…….. **89**

Tabla 24. Resumen del análisis de varianza unifactorial del poder calórico por especie forestal …… **89**

Tabla 25. Resumen de la prueba de Tukey del poder calórico de las briquetas de aserrín debido a las especies ……..……. **90**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Viruta y aserrín de madera ……..…. **5**

Figura 02. Briqueteadora mecánica de pistón (Densificación por impacto) ……... **9**

Figura 03. Briqueteadora de tornillo (Densificación por extrusión) ……..……. **10**

Figura 04. Briqueteadora hidráulica o neumática …… **11**

Figura 05. Gráfico para la determinación de la forma de partícula de esfericidad y redondez …… **50**

Figura 06. Distribución porcentual de la granulometría del aserrín por especie . **54**

Figura 07. Morfología del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) con tamiz número 07 y aumento de 10X …… **57**

Figura 08. Morfología del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) con tamiz número 10 y aumento de 10X …… **57**

Figura 09. Morfología del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) con tamiz número 20 y aumento de 10X ……..…… **58**

Figura 10. Morfología del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) con tamiz número 45 y aumento de 10X ……..… **58**

Figura 11. Morfología del aserrín de la madera de *Virola calophylla* (Cumala) con tamiz número 07 y aumento de 10X …….. **59**

Figura 12. Morfología del aserrín de la madera de *Virola calophylla* (Cumala) con tamiz número 10 y aumento de 10X ……..…… **59**

Figura 13. Partículas del aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) con tamiz número 20 y con un aumento de 10X …… **60**

Figura 14. Partículas del aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) con tamiz número 45 y con un aumento de 10X …… **60**

Figura 15. Partículas del aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con tamiz número 07 y con un aumento de 10X …… **61**

Figura 16. Partículas del aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con tamiz número 10 y con un aumento de 10X ……..…….. **61**

Figura 17. Partículas del aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con tamiz número 20 y con un aumento de 10X ……. **62**

Figura 18. Partículas del aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con tamiz número 45 y con un aumento de 10X ……. **62**

Figura 19. Partículas del aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con tamiz número 07 y con un aumento de 10X ……. **63**

Figura 20. Partículas del aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con tamiz número 10 y con un aumento de 10X ……. **63**

Figura 21. Partículas del aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con tamiz número 20 y con un aumento de 10X ……..…….. **64**

Figura 22. Partículas del aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con tamiz número 45 y con un aumento de 10X ……..…….. **64**

Figura 23. Partículas del aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con tamiz número 07 y con un aumento de 10X ……..……. **65**

Figura 24. Partículas del aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con tamiz número 10 y con un aumento de 10X ……..……. **65**

Figura 25. Partículas del aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con tamiz número 20 y con un aumento de 10X ……..……. **66**

Figura 26. Partículas del aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con tamiz número 45 y con un aumento de 10X ……..……. **66**

Figura 27. Peso de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías ……..……. **70**

Figura 28. Diámetro de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …… **71**

Figura 29. Largo de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …….…….. **72**

Figura 30. Volumen de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …… **73**

Figura 31. Densidad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …… **75**

Figura 32. Contenido de humedad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …….. **78**

Figura 33. Densidad aparente de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías …….. **82**

Figura 34. Resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometría ……..…… **84**

Figura 35. Poder calórico de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales ……..…… **88**

Figura 36 - 37. Recojo de aserrín de los aserraderos de la ciudad de Pucallpa …..……. **111**

Figura 38 - 39. Transporte de aserrín de los aserraderos al laboratorio de tecnología de la madera de la universidad ……..…….. **111**

Figura 40 - 41. Tamizado de las muestras de aserrín de las cinco especies forestales ……..……. **112**

Figura 42 - 43. Morfología del aserrín de cinco especies forestales …….. **112**

Figura 44 - 45. Secado de las muestras de aserrín de cinco especies forestales en la estufa ……. **113**

Figura 46 - 47. Preparación del aglutinante (Almidón de yuca) ……..…….. **113**

Figura 48 - 49. Mesclado del aserrín con el aglutinante (Almidón de yuca) ….. **114**

Figura 50 - 51. Calentamiento de los moldes en la estufa …… **114**

Figura 52 - 53. Prensado de las briquetas en la prensa ……..…….. **115**

Figura 54 - 55. Enfriamiento de los moldes …… **115**

Figura 56 - 57. Sacado de las briquetas de los moldes en la prensa manual ... **116**

Figura 58 - 59. Codificado y pesado de las briquetas …...…… **116**

Figura 60 - 61. Medición del diámetro y largo de las briquetas ……..… **117**

Figura 62 - 63. Compresión perpendicular de las briquetas …… **117**

Figura 64 - 65. Pesado de las muestras de briquetas para obtener el poder calórico ……..…….. **118**

Figura 66, 67, 68 - 69. Obtención del poder calórico de las muestras de las briquetas de aserrín …….. **118**

RESUMEN

El objetivo general fue caracterizar granulométrica y morfológicamente el aserrín de madera de cinco especies forestales para ver sus posibilidades de uso en la fabricación de briquetas. Los objetivos específicos, fueron determinar la composición granulométrica y la morfología de las partículas del aserrín de madera de cinco especies forestales de Pucallpa; fabricar diferentes tipos de briquetas de madera como resultado de las características granulométricas y morfológicas de las partículas de aserrín y determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de briquetas. La investigación se ejecutó en el laboratorio de tecnología de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali, en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, región de Ucayali.

En cuanto a las dimensiones de los diámetros fueron variados debido a los distintos moldes, así como los volúmenes y las longitudes presentaron diferentes medidas. Las briquetas de aserrín de las especies de Lupuna blanca y Cumala resultaron las más livianas con 0.538 - 0.572 g/cm³ respectivamente, que las especies de Copaiba blanca, Capirona y Shihuahuaco con 0.644, 0.667 - 0.708 g/cm³. En cuanto al contenido de humedad las briquetas de aserrín de la especie de la Lupuna blanca presento un 20.48 %, de la especie de la Cumala presento un 16.01 %, de la especie de la Copaiba blanca presento un 13.12 %, de la especie de la Capirona presento 11.73 % y de la especie del Shihuahuaco presento 9.65 %. Las briquetas de aserrín de las especies de la Lupuna blanca y la Capirona tienen baja resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal, la especie del Shihuahuaco tiene mediana resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal a diferencia de las especies de la Cumala y la Copaba blanca que tienen alta resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal.

De esta manera se puede decir que existen diferencias significativas en la fabricación de briquetas de aserrín de la madera de cinco especies forestales de Pucallpa. Existen diferencias significativas entre los promedios del poder calórico de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales de Pucallpa.

ABSTRACT

The general objective was to characterize granulometrically and morphologically the wood sawdust of five forest species to see its possibilities of use in the manufacture of briquettes. The specific objectives were to determine the granulometric composition of the wood sawdust particles of five forest species from Pucallpa; determine the morphology of the wood sawdust particles of five forest species from Pucallpa; manufacture different types of wood briquettes as a result of the granulometric and morphological characteristics of the sawdust particles, independently of each forest species; determine the physical and mechanical properties of each type of morphological briquettes of the sawdust particles, independently of each forest species, The research was carried out in the wood technology laboratory of the National University of Ucayali, in the district of Manantay, province of Coronel Portillo, region of Ucayali

As for the dimensions of the diameters, they were varied due to the different molds, as well as the volumes and lengths presented different measures. The sawdust briquettes of the species of Lupuna blanca and Cumala were the lightest with 0.538 - 0.572 g/cm³ respectively, than the species of Copaiba blanca, Capirona and Shihuahuaco with 0.644, 0.667 - 0.708 g/cm³. Regarding the moisture content, the sawdust briquettes of the white Lupuna species presented 20.48%, of the Cumala species presented 16.01%, of the white Copaiba species presented 13.12%, of the species of the Capirona presented 11.73% and of the Shihuahuaco species presented 9.65%. The sawdust briquettes of the White Lupuna and Capirona species have low resistance to compression perpendicular to the longitudinal axis, the Shihuahuaco species has medium resistance to compression perpendicular to the longitudinal axis, unlike the Cumala and Copaba species. white that have high compressive strength perpendicular to the longitudinal axis.

In this way, it can be said that there are significant differences in the manufacture of sawdust briquettes from the wood of five forest species from Pucallpa. There are significant differences between the averages of the caloric power of the sawdust briquettes of five forest species from Pucallpa.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el manejo de residuos en el sector maderero ha tomado mayor interés, con el fin de hacer más productivas las empresas de este rubro. Variados son los productos que se generan a partir de los desechos maderables, pero aún queda gran cantidad de remanentes de madera, por lo que las empresas se ven obligadas a desecharlos en los ríos o incinerarlos al aire libre causando problemas ambientales.

El uso de biocombustibles se ha convertido en una necesidad para el ser humano, son elaborados a partir de biomasa que es una fuente energética renovable, se emplean recursos vegetales o animales que son considerados residuos en diferentes industrias estos pueden ser materia orgánica o inorgánica utilizados para generar energía limpia. Los recursos pueden ser: Forestales, agrícolas, biodegradables, industria agroalimentaria, entre otros.

La presente investigación trata sobre la fabricación de briquetas también llamadas biomasa sólida a base de aserrín de madera para el aprovechamiento de este residuo forestal, abundante de la industria maderera.

Este estudio se realizó en la Universidad Nacional de Ucayali ubicado en la carretera Federico Basadre km 6.200 en el departamento de Ucayali - Perú. Las briquetas son productos ecológicos y renovables, entre las ventajas que ofrecen: Energía limpia, fuente renovable, materia orgánica no tóxica y natural, que reduce las emisiones atmosféricas considerablemente en comparación con la leña.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los residuos forestales obtenidos en la producción de la madera pueden ser clasificados en dos tipos: Subproductos de las actividades de silvicultura y residuos del procesamiento de la madera, estos últimos por estar concentrados en un lugar determinado, su utilización resulta más factible y menos costosa. La elaboración de la madera incluye: Aserrado, descortezado y despulpe, en estos procesos se producen determinados desechos o subproductos, como aserrín y pedazos de madera de pequeñas dimensiones (Astillas, virutas, costaneras).

En la ciudad de Pucallpa la industria maderera procesa anualmente 300 000 m³ de madera rolliza aproximadamente, de los cuales el 50 % aproximadamente se convierte en residuos, dentro de los residuos se encuentra el aserrín con 12.5 % del volumen total de la madera procesada anualmente **(Según Mottet, 1979)**, es decir 37 500 m³, los mismos que son quemados contaminando el aire o son vertidos a las quebradas o ríos contaminando sus aguas, o se siguen acumulando en los aserríos o son vertidos en los alrededores de comunidades rurales, con el consecuente perjuicio para todos; teniendo en cuenta que la degradación natural de los residuos de la industria maderera es casi nula.

El aserrín proviene de madera con densidades diferentes, durabilidad natural diferente, constituidos de diferentes tamaños y de formas diferentes dependiendo de la especie, por lo que requiere de un amplio análisis, para ver la posibilidad de uso transformándolo en briquetas.

a. Problema general

¿Es necesario determinar las características granulométricas y morfológicas del aserrín de madera de cinco especies forestales para ver sus posibilidades de uso en la fabricación de briquetas?

b. Preguntas de investigación

¿Cuál es la composición granulométrica del aserrín de la madera de cinco especies forestales?

¿Cuál es la morfología del aserrín de la madera de cinco especies forestales?

¿Cuál es la influencia de la granulometría y morfología del aserrín de la madera de cinco especies forestales en la fabricación de briquetas?

¿Cuál es la influencia de las propiedades físicas y mecánicas del aserrín de la madera de cinco especies forestales en la fabricación de briquetas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El aserrín acumulado en los aserraderos constituye un depósito y un foco para la propagación de hongos (Especialmente de los géneros *Fomes*, *Schyzophylum* y *Polyporus*, entre otros) que provocan la podredumbre de árboles moribundos o muertos con un contenido de humedad relativamente alto.

La acumulación de aserrín constituye un peligro de incendio; además tiene efectos ambientales negativos, son altamente contaminantes para el medio ambiente.

A pesar de esto el aserrín se siguen acumulando en los aserraderos o son vertidos a los ríos y quebradas o en los alrededores de comunidades urbano marginales, con el consecuente perjuicio para todos; a sabiendas que la degradación natural de los residuos de la industria maderera es lenta o casi nula.

Con el propósito de dar una solución a dicha problemática, se justifica realizar un análisis profundo de las características del aserrín con la finalidad de proponer su uso como materia prima para la producción de briquetas para ser utilizados como combustible en remplazo de madera sólida.

Los resultados obtenidos permitirán lo siguiente:

a. Que los industriales e inversionistas inviertan en la región de Ucayali abriendo, ampliando o diversificando su línea de producción, con productos maderables como briquetas, generando fuentes de trabajo en la región directa o indirectamente.

b. La utilización del aserrín disminuirá los efectos negativos que actualmente viene causando al ambiente en general.

c. Incrementar la escasa información sobre la utilización del aserrín, briquetas, beneficiando de esta manera a docentes, estudiantes de todos los niveles y personas del que hacer maderero.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

- Caracterizar granulométrica y morfológicamente del aserrín de madera de cinco especies forestales para ver sus posibilidades de uso en la fabricación de briquetas.

Objetivos específicos

- Determinar la composición granulométrica de las partículas del aserrín de madera de cinco especies forestales de Pucallpa.
- Determinar la morfología de las partículas del aserrín de madera de cinco especies forestales de Pucallpa.
- Fabricar diferentes tipos de briquetas de madera como resultado de las características granulométricas y morfológicas de las partículas de aserrín, independientemente de cada especie forestal.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas (Densidad, Contenido de humedad, Resistencia a la compresión y poder calórico) de cada tipo de briquetas morfológicas de las partículas de aserrín, independientemente de cada especie forestal.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

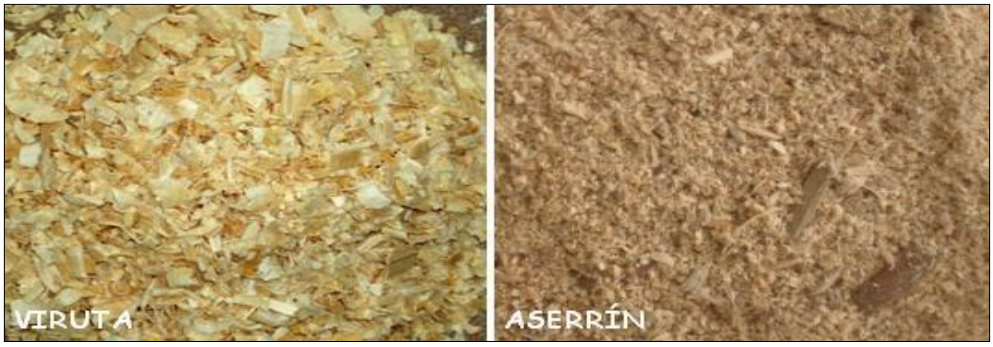
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. El aserrín

El **serrín** o **aserrín** es el desperdicio del proceso de aserrado de la madera, como el que se produce en un aserradero. A este material, que en principio es un residuo o desecho de las labores de corte de la madera, se le han buscado destinos diferentes con el paso del tiempo **(Wikipedia, 2011).**

Figura 1

Viruta y Aserrín de Madera.



Basaure P. (2008), manifiesta que el aserrín de madera se compone principalmente de fibras de **celulosa** unidas con **lignina**. Según análisis, su composición media es de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y un 2% de nitrógeno (N) asociado a otros elementos.

2.1.2. Granulometría del aserrín

Ortiz. (2003), indica que la granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de un residuo. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de residuo se separan estos mediante cedazos o tamices.

El análisis granulométrico se desarrolló con el objetivo de evaluar las distribuciones de las partículas de acuerdo a sus dimensiones. Mediante estudios de este tipo se puede determinar la ruta crítica para la transportación de la materia prima, buscando una mayor economía por este concepto, los análisis se realizaron mediante el método de tamizado.

Los grupos de tamices escogidos para cada ensayo dependen del tamaño estimado de partícula para la muestra.

Los resultados obtenidos para los cuatro parámetros fueron procesados a través del programa Microsoft Excel para determinar su factibilidad.

2.1.3. Morfología del aserrín

Love, A. (2003), menciona la **morfología** es la disciplina encargada del estudio de la estructura de un organismo o características. Esto incluye aspectos físicos de la apariencia externa (Forma, color, estructura) así como aspectos de la estructura interna del organismo como huecos y órganos.

La célula es la estructura viva más sencilla, ya **que** está formada por una membrana, citoplasma y material genético (ADN). Si nos centramos en la **morfología celular** propiamente dicha, esta se refiere esencialmente a identificar la forma, estructura y tamaño de las células.

La concepción moderna de la **Morfología** tiene un enfoque dialéctico, pues no sólo estudia la forma de las estructuras, sino que investiga otros aspectos esenciales relacionados con ellas, como sus funciones, evolución y relaciones con el medio circundante.

2.1.4. Utilización del aserrín

Senia Regalado, (2007), indica que, del aserrín, uno de los residuos forestales de mayor impacto ambiental, que empleando la técnica de densificación se obtiene, entre otros productos, las briquetas y los

pellets. Además, con la ejecución de varias acciones es posible llegar a un producto, ya sea aglomerado para la industria del tablero de partícula de madera.

2.1.5. Briquetas

Las briquetas se pueden definir como su compresión o compactación, para disminuir los espacios vacíos entre las partículas y dentro de las partículas.

Ortiz *et al* (1994), sostiene que el empleo energético de la biomasa forestal residual, tiene una serie de desventajas con respecto a otros combustibles como son su baja densidad y dificultad de manejo. Una de las posibilidades de transformación física, consiste en su compactación para la obtención de productos combustibles densificados con un alto poder calorífico, y homogéneos en propiedades y dimensiones. Esto permite la automatización de los sistemas de alimentación y control de la combustión, además de permitir de unos gastos menores de transporte y almacenamiento.

Las briquetas son unos elementos normalmente de forma cilíndrica, con diámetros comprendidos entre 5 - 10 cm y de gran densidad, formados por materiales prensados que se utilizan como combustible **(Ortiz *et al,* 1994).**

Los productos compactados con menos de 30 mm de diámetro son considerados convencionalmente pellets y con diámetro mayores, briquetas **(Cubasolar, s.f).**

Ortiz *et al* (1994), afirma que los pellets son elementos densificados de forma cilíndrica con diámetros normalmente comprendidos entre 6 y 12 mm y longitudes de 10 a 30 mm. 30 metros cúbicos de aserrín pueden convertirse en un metro cúbico de pellets **(EMBACUBA CUBAMINREX, s.f).**

Ortiz *et al* (1994), menciona que en la empresa NCS American Forestal SAC, produce briquetas sin aglomerante, con una maquina

briqueteadora de tornillo (Densificación por extrusión), la producción es de 250 kg/h a una presión de 1 200 kg/cm^2, la humedad del aserrín es el 10% la producción se realiza en la ciudad de Pucallpa - Perú.

(CUBASOLAR, s.f), menciona que la forma de las briquetas puede ser muy variable y depende de la maquinaria utilizada en su obtención. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad en España son de forma cilíndrica.

Otra forma de las briquetas es la de sección octogonal, con un hueco redondo en el centro. De esta manera se consigue una ignición más rápida; esto puede resultar ventajoso o perjudicial (Dependiendo del objetivo buscado). Otra forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas para así no desintegrarse con los golpes. Este tipo de briquetas arden más despacio, pero se almacenan mucho mejor pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal hueco.

2.1.6. Características de las briquetas

(CUBASOLAR, s.f), afirma que las briquetas deben tener las siguientes características:

- Deben mantener sus propiedades como sólidos compactados hasta que cumplan su función (Durante su manipulación, transporte, almacenaje, dosificación y combustión).
- Deben comportarse satisfactoriamente como combustibles, dentro de un sistema integral concebido.

2.1.7. Equipos de briquetado

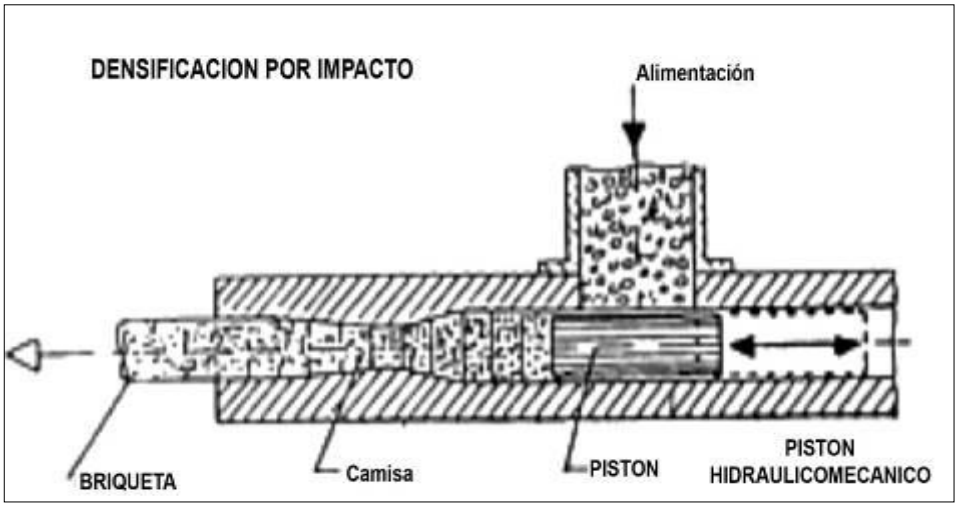
Ortiz *et al* (1994), manifiesta que existen distintas tecnologías de briquetado, siendo las más utilizadas, las siguientes:

- **Briqueteadora mecánica de pistón (Densificación por impacto)**, la compactación se consigue mediante el golpeteo sobre la biomasa, por un pistón accionado a través de un volante de inercia. Las densidades conseguidas suelen estar entre 1 000 y 1 200 kg/m^3.

(ABYPER 2015), menciona que la Briqueteadora de pistón funciona bajo el mismo principio que las prensas exenticas, la cual inserta el material hacia un dado cónico, a medida que el material es empujado hacia la cámara de compresión, como se muestra. La temperatura de la briqueta aumenta debido a la fricción producida con la pared del dado cónico y la alta presión. por lo cual generalmente se utilizan rieles o guías para que, al salir de la máquina, las briquetas se enfríen de manera natural. Cuando la briqueta sale de la prensa, se enfría y solidifica la lignina en la sección perimetral de la briqueta, la cual será cilíndrica con la forma del dado utilizado, la alimentación suele hacerse mediante un transportador de tornillo. Este tipo de máquinas posee rangos de producción entre 800 y 5 000 kg/h. El material no debe contener un porcentaje de humedad menor al 8%, debido a que este influye directamente en la conformación de la briqueta.

Figura 2

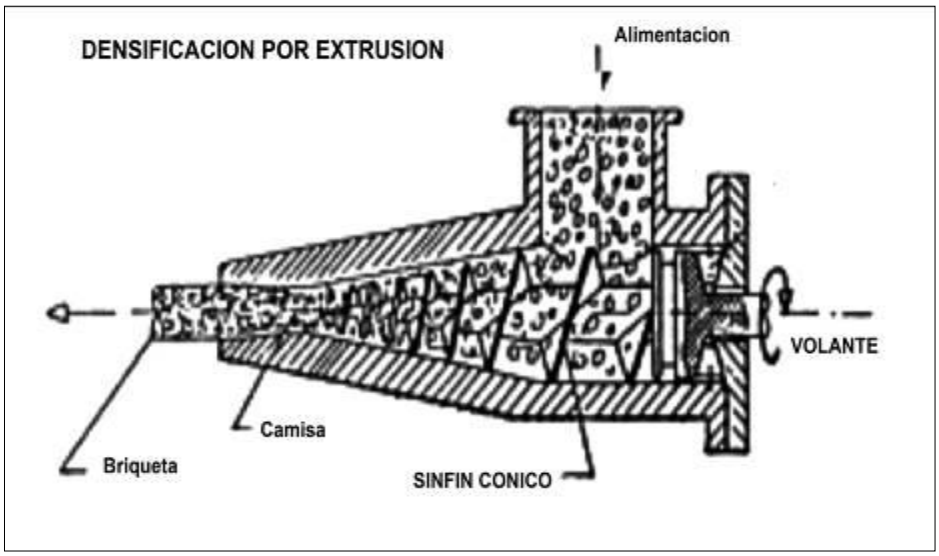
Briqueteadora Mecánica de Pistón (Densificación por impacto).



- **Briqueteadora de tornillo (Densificación por extrusión)**, la presión es ejercida por un tornillo sinfín especial, que hace avanzar el material hasta una cámara que se estrecha progresivamente (Forma cónica). Este equipo permite realizar briquetas con orificio al interior que favorece su combustión. Las densidades conseguidas suelen estar entre 1 300 y 1 400 kg/m^3.

Figura 3

Briqueteadora de Tornillo (Densificación por extrusión).



(ABYPER 2015), menciona que la briqueteadora de tornillo funciona con un sistema de tornillo extrusor, el cual consta de un tornillo de filete variable, el cual va disminuyendo a medida que avanza el material, el cual es comprimido. Las briquetas producidas en este tipo de máquinas tienen la característica de poseer un agujero en el centro de la briqueta, esto debido al eje del tornillo extrusor. Al igual que a la prensa briqueteadora mecánica, se producen altas temperaturas en la superficie de las briquetas, los rangos de producción varían entre los 180 - 350 kg/h. Una de las ventajas de este tipo de máquinas es que la producción se produce mediante un proceso continuo y el largo de las briquetas es determinado generalmente por la ruptura por deflexión de la misma.

- **Briqueteadora hidráulica o neumática**, la presión es producida por uno o varios cilindros accionados por sistemas hidráulicos o neumáticos. Estos equipos producen briquetas con densidades del orden de 700 y 1 000 kg/m^3.

(ABYPER 2015), menciona que la Briqueteadora hidráulicas generalmente producen dos tipos de briquetas, cilíndricas y rectangulares. Las primeras son generadas mediante máquinas sencillas, las cuales no cuentan con proceso de pre compresión, y alcanzan una producción de entre 50 y 100 Kg/h, este tipo de máquinas no están diseñadas para operar de manera continua por más de 8 horas diarias. El segundo tipo de briqueteadoras hidráulicas, cuenta con centrales hidráulicas de mayor complejidad, están diseñadas para trabajar de manera continua y sin necesidad de supervisión, el rango de producción se encuentra entre los 100 y 600 kg/h. Destacan su versatilidad, ya que se puede ajustar fácilmente la fuerza de compresión ejercida por los cilindros. La temperatura de salida de las briquetas normalmente no supera los 15° sobre la temperatura ambiente.

Figura 4

Briqueteadora Hidráulica o Neumática.



2.1.8. Aglutinantes

Janczak (1981), sostiene que los aglutinantes son usados según la disponibilidad local, los combustibles orgánicos más apropiados para servir de aglutinantes son la resina, alquitrán, estiércol animal, fango de alcantarillado y los desechos de pescado. Si no se dispone de aglutinantes combustibles o si los desechos necesitan un material aglutinante más fuerte, como en el caso del polvo de carbón vegetal, es necesario utilizar aglutinantes no combustibles como el limo, la arcilla o el barro. Aunque el aglutinante no combustible disminuye el valor calorífico de la briqueta y aumenta el contenido de cenizas.

La resina que tiene el pino sirve de aglutinante natural **(EMBACUBA. CUBAMINREX, s.f).**

2.1.9. Factores que inciden y regulan el proceso de la densificación

a. Contenido de humedad

El contenido de humedad influye en el peso, resistencia mecánica, contracción y expansión, conductiva térmica, acústica, durabilidad, inflamabilidad y permeabilidad **(Aróstegui, 1982).**

El incremento de la humedad causa mayor cantidad de vapor de agua que se genera durante la compresión, el cual rompe la briqueta por su superficie al enfriarse. Por otra parte, mientras menor sea la humedad del material inicial, la fricción en el proceso aumenta y con ello se incrementa la demanda de energía. Los límites de humedad dependen del material y el tipo de briqueteadora que se utiliza, normalmente se acepta como humedad óptima alrededor de 7%, permitiéndose como límite inferior 5% y como superior 15% **(CUBASOLAR, s.f).**

La humedad, desempeña un importante papel en la densificación, ayuda a la transferencia del calor y mejora la plasticidad del material. Si el material es muy húmedo o muy seco las presiones necesarias se incrementan drásticamente **(CUBASOLAR, sf).**

Ortiz *et al* (1994), sostiene que, durante la producción de las briquetas, es necesario que la humedad del material esté comprendida entre el 8 y 15 % y que el tamaño de las partículas este comprendido entre 0.5 y 1 cm.

b. Composición química

Las biomasas residuales como compuestos ligno-celulósicos, aportan la lignina propia como aglutinante. La lignina definida como un polímero termoplástico y otros fenoles, gomas y ceras se reblandecen a temperaturas superiores. El reblandecimiento de la lignina y su endurecimiento posterior a causa de su enfriamiento, mientras que el material está aún bajo presión, es el factor clave para la formación de la briqueta. Es un proceso físico dependiente de la temperatura, la presión y el contenido de lignina del material. Envuelve de hecho comprensión, fricción entre partículas, deformación y rompimientos celulares, aglutinamientos entre las partículas adyacentes, las superficies de las partículas entran en contacto interno y la lignina, las ceras y los fenoles reblandecidos térmicamente permiten la adherencia entre las partículas vecinas estos compuestos actúan como un aglutinante **(CUBASOLAR, s.f).**

c. Presión dinámica

En máquinas de alta presión (>100 MPa), raramente se usa aglutinante externo, en medias presiones (5-100 MPa) depende del material y su compactación, en bajas presiones hasta 5 MPa siempre es necesario añadir aglutinante **(CUBASOLAR, s.f).**

Janczak (1981), afirma que las prensas industriales modernas para la madera y los desechos agrícolas ejercen una presión que varía entre 1 000 y 1 200 kg/cm^2. A estas presiones, la temperatura es muy elevada. La acción de la temperatura y la presión elevadas destruyen la elasticidad de la madera, haciendo posible fabricar las briquetas sin aglutinante.

d. Temperatura

Cuando se calienta la madera sobre su rango de temperatura de plasticidad (165°C) se pierde su elasticidad y se comprime más fácilmente **(CUBASOLAR, sf).**

Kollman (1959), afirma que la madera es el combustible sólido más rico en gases con el 85% aproximadamente de materias volátiles, el desprendimiento de gases, es a partir aproximadamente de los 150°C, se liberan rápidamente grandes cantidades de componentes volátiles, a los 800°C termina prácticamente la desgasificación de la madera.

Janczak (1981), sostiene que la temperatura de ignición para el serrín varía de 315-460 °C.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Janczak, J. (1981), menciona que las **briquetas** o **bloque sólido combustible** son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas.

Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas.

El término "Briqueta" es un término confuso porque puede estar fabricada con diversos materiales compactados. La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal (Procedente de aserraderos, fábricas de puertas, fábricas de muebles, fábricas de tableros de partículas, etc.), biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas.

Generalmente están hechas con materia residual, como madera, cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cáscara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón, etc. Y se aglomeran con agua, aunque en algunos casos con otros residuos orgánicos.

Estas leñas compactadas son utilizadas para calefacción, para cocinar y para uso industrial como ladrillos, cal, cemento, metalurgias, secadores, tostadores y demás procesos que consumen grandes cantidades de madera.

La briqueta más utilizada es la leña de aserrín compactado, también conocida como leñetas, que no utilizan ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funcionan como pegamento natural, sería bueno conocer la granulometría y morfología del aserrín sin aglutinantes, tal vez mejore la calidad de las briquetas.

Son 100 % naturales y ecológicas, ya que están hechas de desperdicios forestales tales como el serrín, viruta, chips, ramas, restos de poda, raleo fino, etc. Los mismos son molidos, secados a un 10 % de humedad y luego se compactan para formar briquetas generalmente de formato cilíndrico o cuadrado.

Esta leña de aserrín compactado posee mayor poder calorífico que la leña tradicional, encienden más rápido, no desprenden humos ni olores y su uso disminuye la tala de árboles.

Es importante conocer la granulometría y morfología del aserrín ya que puede influir en la calidad de la fabricación de las briquetas.

(Aróstegui, 1982), sostiene que las briquetas de madera son una alternativa económica al carbón o a los leños. Están hechas de recortes y restos de madera y aserrín prensados. Pueden arder durante horas, haciendo de ellas una buena opción para usar materiales que de otra manera se tirarían. Con el equipo adecuado, algo de conocimientos y las siguientes Instrucciones:

1. Primero, necesitarás una prensa de briquetas. Hay muchos fabricantes y modelos de los cuales elegir. Para la mayoría de los hogares, lo adecuado es una prensa pequeña. Aunque inicialmente puede parecer cara, una prensa de briquetas es una inversión que eventualmente te ahorrará bastante dinero en gastos de madera.

2. Las prensas pueden hacerse usando un equipo, moldes de briquetas y un equipo comercial de madera. Los manuales para construir prensas pueden conseguirse en línea.

3. Luego, necesitarás reunir material para las briquetas. Aserrín, restos de madera y troncos secos y pequeños pueden ser útiles. Asegúrate de que los materiales no han sido tratados químicamente o barnizados. Las tiendas de carpintería y de maderas cercanas estarán encantadas de donarte o venderte su aserrín por un precio establecido.

4. Puedes prensar el material como está o chamuscarlo primero, particularmente si el material está comprimido restos grandes o maderas. Chamuscarlo te dará un aroma a carbón cuando lo enciendas y será más sencillo de encender. Puedes chamuscarlo en un horno danés, de cerámica o en otro receptáculo de piedra. Según Blog Jam DC.com, el material se chamusca a una temperatura de 850 a 950 grados Fahrenheit.

5. Las prensas de briquetas comerciales suelen manejarse con un interruptor, y algunas requieren precalentamiento. Enciende la máquina y carga el material en el alimentador. Si tu prensa tiene un sistema de enfriamiento o de eliminación de humos actívalo según las instrucciones. Las prensas hechas en casa podrían ser operadas con un tornillo o con una manivela. Siempre sigue las instrucciones de tu equipo y nunca introduzcas más material del que indica el manual.

6. Las briquetas de madera pueden almacenarse fácilmente debido a que son uniformes, en forma, tamaño y peso. Para mantenerlas listas para usar, guárdalas en un lugar seco, lejos de llamas vivas.

2.3. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA

2.3.1. Aspectos generales de las especies en estudio

a. Lupuna blanca (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertner)

Taxonomía:

(CITEMADERA Y CAMARA NACIONAL FORESTAL 2008), describen taxonómicamente a la *Ceiba pentandra* (L.) Gaertner (Lupuna blanca) de la siguiente manera:

Familia: BOMBACACEAE
Género: *Ceiba*
Especie: *Pentandra*
Nombre común: Lupuna blanca
Nombre científico: *Ceiba pentandra* (L.) Gaertner
Sinónimos botánicos: *Bombax pentandrum* L.

Según **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona lo siguiente:

Descripción botánica:

Es un **árbol** de 100 - 200 cm de diámetro o más y 30 - 40 o más m de alto, con la ramificación en el segundo o tercer tercio, el fuste abultado en la base y aletas (Raíces tablares) de hasta 4 m de alto.

Corteza externa agrietada, color marrón grisáceo a verdusco, con aguijones cónicos de 4-6 cm de longitud, aguzado.

Corteza interna gruesa, color rosado blanquecino, con vetas longitudinales vagamente fibrosas de color más oscuro, con pequeñas inclusiones granulares de color anaranjado, también con estrías radiales visibles en la sección transversal; oxida rápidamente a marrón; exuda mucílago traslúcido escaso luego de varios minutos de cortada.

Ramitas terminales con sección circular, color marrón grisáceo cuando secas, de 8-14 mm de diámetro, usualmente con muchos aguijones pequeños.

Hojas compuestas digitadas, alternas y dispuestas en espiral, agrupadas al extremo de las ramitas, 7-11-folioladas, el peciolo de 10-18 cm de longitud, los foliolos elípticos, alargados, de 5-16 cm de longitud por 1.5-2 cm de ancho, enteros, el ápice agudo, acuminado, la base aguda, los nervios secundarios inconspicuos, las hojas glabras.

Inflorescencias fascículos de 8-15 flores en nudos a lo largo de las ramitas.

Flores de 6-10 cm de longitud incluyendo el pedicelo que es largo y delgado, de 3-5 cm de longitud, las flores hermafroditas, actinomorfas, con cáliz y corola presentes, el cáliz cupuliforme, de 0.8-1.5 cm de longitud, con dientes cortos en el extremo, la corola con 5 pétalos libres de 3-4 cm de longitud, color amarillento, pubescentes en el dorso, el androceo de 3-4 cm de longitud, conformado por 5 filamentos que portan las anteras, el pistilo con ovario súpero, ovoide, el estilo alargado que sobrepasa el nivel de los estambres, el estigma vagamente capitado.

Frutos cápsulas ovoides de 10-15 cm de longitud y 5-8 cm de diámetro, 5-valvadas, con la superficie lisa, las semillas numerosas, cubiertas de material algodonoso.

Distribución y hábitat:

La *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), se encuentra en los bosques húmedos Neotropicales desde Centroamérica hasta el Sur de Brasil y Bolivia, mayormente debajo de 1 500 msnm. La especie es frecuente y ampliamente distribuida en la Amazonia peruana y en los departamentos de Loreto (Yurimaguas), Ucayali (Pucallpa,

Contamana), Huánuco (Tingo María) y San Martin (Tarapoto), en bosques primarios y secundarios donde la especie es dominante.

Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Es una especie con tendencia heliófita y de crecimiento rápido, presente en bosques de variados estadios de madurez, desde bosques secundarios tempranos en zonas cercanas a caminos y riberas hasta bosques primarios, en suelos de diferente textura, niveles de acidez y fertilidad, a veces temporalmente inundables o con pedregosidad elevada.

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona que las:

Características de la madera:

La *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) es de:
Color: De crema a pardo rojizo
Brillo: Bajo
Grano: Ligeramente entrecruzado
Textura: Media a gruesa
Veteado: Medianamente pronunciado en las superficies tangenciales y radiales, en forma de arco superpuestos y jaspeados respectivamente

Características tecnológicas:

La *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), es una madera de fácil aserrío se comporta muy bien al cepillado y de buena trabajabilidad.

Propiedades físicas:

Las propiedades físicas de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) son:
Densidad básica: 0.28 gr/cm³.
Contracción tangencial: 9.01 %
Contracción radial: 3.10 %

Contracción volumétrica: 10.70 %
Relación T/R: 1.50

Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) son:
Módulo de elasticidad en flexión: 450,1000 kg/cm²
Módulo de rotura en flexión: 399 kg/cm²
Compresión paralela (RM): 242 kg/cm²
Compresión perpendicular (ELP): 25 kg/cm²
Corte paralelo a las fibras: 38 kg/cm²
Dureza en los lados: 236 kg/cm²
Tenacidad (Resistencia al choque): 1.69 kg-m

Fenología, polinización y dispersión:

La floración de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), es durante la estación seca, entre Abril - Agosto y la fructificación durante la estación de lluvias. El árbol deja caer sus hojas antes de la floración y ésta es relativamente breve y sincrónica.

En cuanto a polinización, durante el período en que sus flores están abiertas, *Ceiba pentandra* recibe un amplio espectro de visitantes, tanto diurnos como nocturnos. Aunque se ha sugerido la importancia de visitantes diurnos en la polinización, algunos autores han evidenciado que los murciélagos *Phyllostomus hastatus* y otros de este género son los mayores polinizadores, aunque no se descarta la participación de murciélagos del género *Glossophaga*.

Los botones florales de *C. pentandra* abren al anochecer y duran sólo una noche. En el transcurso de la siguiente mañana ocurre la separación y caída de los pétalos, estambres y el estilo. Así, los visitantes diurnos son incapaces de polinizar efectivamente las flores de *C. pentandra* antes que ocurra la caída del estilo.

Es notable la producción de grandes cantidades de néctar, hasta 200 litros por árbol, durante el periodo de floración.

En cuanto a la fecundación de las flores, el sistema de reproducción sexual en *Ceiba pentandra* es variable a lo largo de su rango de distribución, que abarca los trópicos de varios continentes. En África y Asia se informa de niveles relativamente altos de autofecundación. Sin embargo, en la Amazonia central han evidenciado que *C. pentandra* requiere fertilización cruzada para la producción de frutos y semillas viables.

La dispersión en *C. pentandra* es efectuada por el aire caliente producido durante los días cálidos de la estación seca. Las semillas vuelan por el aire sustentadas por el "Algodón" ("Kapoc") que tienen adherido, el cual actúa como un paracaídas que puede transportar la semilla a largas distancias bajo condiciones favorables de viento caliente.

Usos de la madera:

Madera con atributos similares a la especie congenérica *Ceiba samauma*; es excelente para la industria del laminado bajo la forma de Triplay, que la ha utilizado intensamente en el país.

El material algodonoso que rodea las semillas, conocido como "Kapok" en el mercado internacional, es apreciado como relleno para cobijas y ropa pues tiene propiedades como aislante térmico; plantaciones establecidas en Indonesia para esta producción rinden en promedio 2-4 Ton./Ha./año de este material.

b. Cumala (*Virola calophylla* Warburg)

Taxonomía:

(CITEMADERA Y CAMARA NACIONAL FORESTAL 2008), describen taxonómicamente a la *Virola calophylla* Warburg (Cumala) de la siguiente manera:

Familia: MYRISTICACEAE
Género: *Virola*
Especie: *Calophylla*
Nombre común: Cumala
Nombre científico: *Virola calophylla* Warburg
Sinónimos botánicos: *Myristica calophylla* Spruce, *Virola calophylloidea* Markgraf

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona lo siguiente:

Descripción botánica:

Es un **árbol** de 50-120 cm de diámetro y 20-35 m de altura, con el fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo tercio, monopódica, la base del fuste con raíces tablares pequeñas, de hasta 0.5 m de alto

Corteza externa agrietada finamente, color marrón rojizo, las grietas separadas 2-4 cm; ritidoma presente, en placas rectangulares, coriáceas.

Corteza interna homogénea, rosada; al ser cortada exuda abundante savia rojizo-traslúcida muy amarga y astringente.

Ramitas terminales con sección circular, de 4-6 mm de diámetro, color marrón rojizo cuando secas, glabras o glabrescentes, lisas y regulares.

Hojas simples, alternas y dísticas, de 20-28 cm de longitud por 9-11 cm de ancho, oblongas a ovadas, alargadas, enteras, el ápice agudo, la base suavemente cordada o rotunda, la nervación pinnada, los nervios secundarios 16-22 pares, finamente impresos en el haz y en relieve en el envés al igual que el nervio central, las láminas cartáceas, lustrosas y glabradas en el haz, blanquecinas y con indumento de pelos estrellados diminutos en el envés (10x).

Inflorescencias: la especie es dioica; las inflorescencias son panículas axilares de 25-35 cm de longitud, provistas de numerosas flores, los pedúnculos y pedicelos pulverulento-ferrugíneos en las zonas distales.

Flores pequeñas y unisexuales, con perianto reducido, tepaloídeo, 3-dentado, tubular-campanulado, de 2-3 mm de longitud, pubescente, las flores femeninas de 3-4 mm de longitud, cortamente pediceladas, el pistilo con ovario súpero, globoso, piloso, el estigma subsésil, inserto, las flores masculinas de similar tamaño a las femeninas, las anteras 3, muy pequeñas, connadas, introrsas, basifijas.

Frutos globosos, de 2-3 cm de diámetro, la superficie de color marrón rojizo; abren en 2 valvas carnosas; en su interior existe una semilla cubierta parcialmente de arilo rojo.

Distribución y hábitat:

La *Virola calophylla* (Cumala), se encuentra en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali, entre 80 y 1 000 msnm. La especie existe en cantidades regulares en la Amazonía del Perú.

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona que las:

Características de la madera:

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (Albura) de color beige pálido y las capas internas (Duramen) de color amarillo pálido, observándose entre ambas capas un leve y gradual contraste de color.

En la madera seca al aire la albura se toma de color amarillo pálido HUE 8/2 2.5Y y el duramen marrón muy pálido HUE 7/3 10YR. (Munsell Soil Color Charts).

Olor: No distintivo.

Lustre o brillo: Moderado.

Grano: Recto.

Textura: Media.

Veteado o figura: Definido por anillos de crecimiento y fibras, satinado por el contraste de los radios, que son finos y ordenados.

Características tecnológicas:

La *Virola calophylla* (Cumala), es una madera medianamente pesada, que presenta contracciones lineales bajas y contracción volumétrica moderadamente estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría baja a media.

Propiedades físicas:

Las propiedades físicas de la *Virola calophylla* (Cumala) son:

Densidad básica: 0.45 gr/cm³.

Contracción tangencial: 9.87 %

Contracción radial: 4.45 %

Contracción volumétrica: 13.40 %

Relación T/R: 2.40

Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas de la *Virola calophylla* (Cumala) son:

Módulo de elasticidad en flexión: 106,000 kg/cm²

Módulo de rotura en flexión: 447 kg/cm²

Compresión paralela (RM): 185 kg/cm²

Compresión perpendicular (ELP): 37 kg/cm²

Corte paralelo a las fibras: 52 kg/cm²

Dureza en los lados: 212 kg/cm²

Tenacidad (Resistencia al choque): 0.90 kg-m

Fenología, polinización y dispersión:

La *Virola calophylla* (Cumala), el registro de floración y fructificación es a lo largo de todo el año.

La fenología de esta especie ha sido estudiada a lo largo de diez años en la estación de Jenaro Herrera (73°45'W, 4°55'S, 140 msnm; 2690 mm precipitación total anual); allí se ha observado que ella es arrítmica, es decir no presenta períodos de floración bien definidos o que correlacionen claramente con los eventos climatológicos. La duración de la floración es 2.4 meses, y hay un lapso de 2.5 meses entre el inicio de la floración y el de la formación de frutos. La fructificación dura unos 3 meses, y sólo un 43% de las floraciones culminan en formación de frutos. Hay floraciones todos los años.

Estudios efectuados en Brasil revelan que el balance de sexos es marcadamente desigual en esta especie dioica, existiendo en condiciones naturales aproximadamente tres veces más árboles de sexo masculino que femeninos en un área dada.

La dispersión de las semillas en la especie congenérica *Virola koschnyi* es efectuada básicamente por aves (Tucanes: *Ramphastos* spp., Pavas: *Penelope* sp., Trogones: *Trogon* sp.), las cuales remueven el 60-70% de los frutos **(Flores, 1997)**. Los mismos dispersores, con adición de un mono del género *Ateles*, son reportados para la especie *Virola surinamensis*.

Usos de la madera:

Madera de buena calidad, blanda y liviana, con grano recto y textura media, de color amarillo rojizo cuando seca. Es muy trabajable, apreciada en carpintería y construcción, aunque no es muy durable.

c. Copaiba blanca (*Copaifera paupera A. Chev)*

Taxonomía:

(CITEMADERA Y CAMARA NACIONAL FORESTAL 2008), describen taxonómicamente a la *Copaifera paupera* (A.D.C) A. Chev (Copaiba blanca) de la siguiente manera:

Familia: FABACEAE

Género: *Copaifera*

Especie: *Paupera*

Nombre común: Copaiba blanca

Nombre científico: *Copaifera paupera*

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona lo siguiente:

Descripción botánica:

Es un **árbol** de 20 a 30 m. de altura, de tronco recto. **Copa** globosa y amplia, puede alcanzar 30 m. de alto.

Corteza rugosa, gris verdoso con lenticelas pequeñas parduzcas, con ramitas glabras.

Hojas paripinnadas coriáceas, alternas, compuestas; presentan de 4 a 5 pares de foliolos, pelúcidos punteados, densos y finamente reticulados; lustrosas en ambas caras, oblicuamente oblongaelípticas, redondeadas o agudas en la base, obtusamente acuminadas de 3 a 5 cm de largo y de 1 a 2 cm de ancho. Inflorescencia terminal racimosa, en panículas estrechas.

Flores blancas, sésiles, olorosas, pequeñas, bisexuales, glabras por fuera y vellosas por dentro.

Frutos legumbre bivalva dehiscente.

Semillas de 1.2 hasta 4 cubiertas por un arillo de vivo color anaranjado.

Distribución y hábitat:

La *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), existe en cantidades regulares en la Amazonía del Perú. Especie distribuida ampliamente en los bosques de la Amazonia, se encuentra en los departamentos de Loreto y Ucayali, en formaciones ecológicas de bosque húmedo tropical, bosque seco tropical de suelos bien drenados y fumíferos.

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona que las:

Características de la madera:

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de la madera (Albura) de color beige y las capas internas (Duramen) de color castaño rojizo con veras oscuras, observándose entre ambas capas un gran contraste en el color.

En la madera seca al aire la albura se toma de color blanco rosáceo HUE 8/2 7.5YR y el duramen rojo amarillento, con vetas oscuras aceitosas HUE 5/6 5YR. (*Munsell Soil Color Charts*).
Brillo: Medio.
Grano: Recto.
Textura: Media a fina.
Veteado: Arcos superpuestos y bandas longitudinales muy angostas y oscuras.
Durabilidad: Especie muy resistente al ataque de hongos e insectos de madera húmeda. El duramen es muy difícil de preservar, pero la albura tiene una penetración completa. Tratamientos preservantes por los métodos de inmersión y presión. La albura retiene más de 200 kg/m³, siendo la penetración total uniforme, el duramen retiene menos de 50 kg/m³. No se nota ningún tipo de penetración. Vació a presión con sal CCA.

Características tecnológicas:

La *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), es una madera pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es moderadamente estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media a alta.

Propiedades físicas:

Las propiedades físicas de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) son:
Densidad básica: 0.61 gr/cm³.
Contracción tangencial: 7.00 %
Contracción radial 3.40 %
Contracción volumétrica: 10.70 %
Relación T/R: 2.30

Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) son:
Módulo de elasticidad en flexión: 112,000 kg/cm²
Módulo de rotura en flexión: 736 kg/cm²
Compresión paralela (RM): 268 kg/cm²
Compresión perpendicular (ELP): 74 kg/cm²
Corte paralelo a las fibras: 99 kg/cm²
Dureza en los lados: 587 kg/cm²
Tenacidad (Resistencia al choque): 3.40 kg-m

Fenología, polinización y dispersión:

La *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), registro de floración y fructificación ocurren todos los años, pero con diferente intensidad. La floración ocurre en la época lluviosa (Enero - Mayo). Los frutos maduran en 3-4 meses. La diseminación de las semillas se inicia en la época seca (Julio) y se puede prolongar hasta principios de la época lluviosa (Setiembre).

Durante y/o después de la diseminación se presenta una defoliación total o parcial de la copa. La pulpa de los frutos de esta especie es muy apetecida por varias especies de mamíferos y aves, los cuales contribuyen a su dispersión **(Flores, 1997)**. La dispersión también ocurre a través de corrientes de agua. En especies afines como *Copaifera langsdorfii* **(Carvalho, 1994)**, se ha determinado que las flores son principalmente polinizadas por abejas; entre ellas *Apis mellifera* y *Trigona* spp. Los árboles jóvenes pueden dar sus primeros frutos en plantación a la edad de 15 años. También para *Copaifera langsdorfii* se determinó en la zona de Sao Paulo, Brasil que la floración ocurren en la estación lluviosa y la fructificación en la época seca **(Pedroni, L. 1992)**.

Usos de la madera:

La madera se puede utilizar para vigas, columnas, machihembrados, muebles y objetos torneados. También se utiliza en carpintería, pisos, revestimientos interiores, parquet, contra chapado, entarimado, elaboración de cajas, molduras, encofrados y laminados, por sus cualidades podría sustituir al Pino Oregón. Preservada podría utilizarse para estantillos o postes para cercas. Es apta para tableros de partículas y tableros madera - cemento.

d. Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth))

Taxonomía:

(CITEMADERA Y CAMARA NACIONAL FORESTAL 2008), describen taxonómicamente al *Calycophyllum spruceanum* (Benth) (Capirona) de la siguiente manera:

Familia: RUBIACEAE
Género: *Calycophyllum*
Especie: *Spruceanum*
Nombre común: Capirona
Nombre científico: *Calycophyllum spruceanum* (Benth)
Sinónimos botánicos: *Eukylista spruceana* (Benth)

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona lo siguiente:

Descripción botánica:

Es un **árbol** que alcanza 35 metros de altura total y 0,60 a 1,20 metros de diámetro a la altura del pecho. Presenta tronco de fuste recto, cilíndrico y la copa globosa en el último tercio.

Corteza externa es tersa y lustrosa de color marrón verdoso, provista de ritidoma papiráceo rojizo que al desprenderse en placas coriáceas expone el tronco blanco grisáceo, por ello también se le conoce como “Palo Mulato”. En el bosque esta especie es inconfundible por su corteza y aspecto gigante.

Corteza interna es homogénea y delgada, de color crema verduzco.

Ramitas terminales con sección circular o aplanadas en las zonas terminales, de 5-6 mm de diámetro, color marrón rojizo cuando secas, lisas, lustrosas, provistas de lenticelas blanquecinas.

Hojas simples, opuestas decusadas, elípticas u oblongas, láminas cartáceas de 5 a 10 centímetros de longitud y 3 a 5 centímetros de ancho, los peciolos de 1.5 a 2.5 centímetros de longitud acanalados, láminas enteras cartáceas, con nervación pinnada que al envés presenta domatios o mechones de pelos diminutos.

Inflorescencias cimas terminales de 10-15 cm de longitud, provistas de numerosas flores.

Flores de color blanco en inflorescencias cimosas terminales de 10 a 15 centímetros de longitud, provistas de numerosas flores, hermafroditas de 1 a 1.5 centímetros de longitud, corola tubular campanulada y pubescente en el interior.

Frutos cápsulas pequeñas, alargadas elipsoides, de 5 a 8 centímetros de longitud, superficialmente pubescente. Cuando

maduran al abrir sus valvas presentan las semillas diminutas aladas y alargadas con el embrión en posición central.

Distribución y hábitat:

La Capirona se encuentra en los bosques primarios y secundarios de la Amazonía del Perú y Brasil, en terrenos periódicamente inundados o no y en las formaciones ecológicas de bosque seco tropical (bs-T), bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T), por debajo de los 1 200 metros sobre el nivel del mar.

Es común en bosques secundarios, pioneros y tardíos en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Madre de Dios, Loreto y Ucayali. La especie es heliófita “amiga del sol” y vive asociada a otras especies tales como Quinilla, Shihuahuaco, Quina Quina, entre otras. Crece en comunidades denominadas “Capironales”, en suelos pedregosos, mayormente limosos o arenosos, aluviales y fértiles, en bosques ribereños, temporalmente inundados.

Existe en regulares cantidades en la Amazonía del Perú, según los resultados de los inventarios forestales disponibles y de acuerdo a las zonas. El volumen bruto estimado de la Capirona asciende a 4,5 m^3/ha.

Según la **CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA, (2008)** menciona que las:

Características de la madera:

Color: El tronco recién cortado presenta capas externas de madera (Albura) de color blanco cremoso, similar a las capas internas (Duramen), no observándose entre ambas capas contraste en el color.

En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco HUE 8/2 10YR y el duramen marrón muy pálido HUE 8/3 10YR. (Munsell Soil Color Charts).

Olor: No distintivo.

Lustre o brillo: Moderado.

Grano: Recto.

Textura: Media.

Veteado o figura: Arcos superpuestos formado por anillos de crecimiento.

Características tecnológicas:

La *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es moderadamente estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media a alta.

Propiedades físicas:

Las propiedades físicas de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) son:

Densidad básica: 0.76 gr/cm³.

Contracción tangencial: 9.00 %

Contracción radial: 5.00 %

Contracción volumétrica: 15.00 %

Relación T/R: 2.30

Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) son:

Módulo de elasticidad en flexión: 100,000 kg/cm²

Módulo de rotura en flexión: 723 kg/cm²

Compresión paralela (RM): 283 kg/cm²

Compresión perpendicular (ELP): 67 kg/cm²

Corte paralelo a las fibras: 87 kg/cm²

Dureza en los lados: 425 kg/cm²
Tenacidad (Resistencia al choque): 2.00 kg-m

Fenología, polinización y dispersión:

La floración de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), se da desde inicios de la estación seca hasta su final, entre Abril - Setiembre y fructificación a fines de este, entre Agosto - Setiembre.

Usos de la madera:

La madera es de buena calidad, dura y pesada, con grano recto a ondulado y textura fina, de excelente durabilidad, usada extensamente para construcción rural (Puntales y travesaños). Es apreciada como leña, ya que el poder calórico es muy alto y arde aun fresca. Tiene excelentes cualidades para carpintería y moldurado. En años recientes, su demanda para la producción de parquet a nivel nacional es creciente.

e. Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* (Harms))

Taxonomía:

(CITEMADERA Y CAMARA NACIONAL FORESTAL 2008), describen taxonómicamente al *Dipteryx micrantha* (Harms) (Shihuahuaco) de la siguiente manera:
Familia: LEGUMINOSAE (FABOIDEAE)
Género: *Dipteryx*
Especie: *Micrantha*
Nombre común: Shihuahuaco
Nombre científico: *Dipteryx micrantha* (Harms)
Sinónimos botánicos: *Coumaruna micrantha* (Harms) Ducke

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona lo siguiente:

Descripción botánica:

Es un **árbol** de unos 50-150 cm de diámetro y 20-35 m de altura total, con el fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recta o con raíces tablares pequeñas de hasta 1 m de alto.

Corteza externa lenticelada, color marrón claro a grisáceo o verdusco; presenta escamas de ritidoma que desprenden aisladamente dejando huellas impresas (Martillado), las lenticelas de 2-4 mm de diámetro.

Corteza interna granular, color amarillo pálido, con gránulos de color blanquecino y amarillo oscuro.

Ramitas terminales con sección circular, color marrón oscuro cuando secas, de unos 4-9 mm de diámetro, finamente agrietadas y glabras.

Hojas compuestas imparipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, de 13-30 cm de longitud, el peciolo de 4-8 cm de longitud, éste y el raquis acanalados y estrechamente alados, las alas de 1-2 mm de ancho, el raquis terminado en un mucrón lanceolado y alargado, de 2-3.5 cm de longitud, los foliolos 4-7 pares, oblongos, de 4-10 cm de longitud y 2-3.5 cm de ancho, enteros, los nervios secundarios 10-14 pares, promínulos en ambas caras, el ápice de los foliolos obtuso a agudo, cortamente acuminado, la base obtusa a rotunda, las láminas glabras, coriáceas, rígidas.

Inflorescencias panículas terminales o axilares de 10-20 cm de longitud, multifloras.

Flores hermafroditas, zigomorfas, de 0.8-1.2 cm de longitud, con cáliz y corola presentes, el pedicelo de 1-2 mm de longitud, el cáliz de 3-5 mm de longitud, la corola rosada, de 6-10 mm de longitud, el androceo 5-7 mm de longitud, con varios estambres, el gineceo con un pistilo de ovario súpero y alargado, el estigma capitado.

Frutos oblongoides de 3-6 cm de longitud y 2-4 cm de diámetro, leñosos, indehiscentes, la superficie de color amarillento, el mesocarpio harinoso y oleoso, la semilla única.

Distribución y hábitat:

Se encuentra en los departamentos de Loreto y Ucayali. La especie existe en cantidades medias a altas en la Amazonía norte del Perú.

Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, aunque también en zonas con una estación seca marcada; es una especie con tendencia esciófita, presente en bosques primarios, en suelos arcillosos a limosos, fértiles y bien drenados, con pedregosidad baja a media.

Según la **(CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA 2008),** menciona que las:

Características de la madera:

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (Albura) de color blanco y las capas internas (Duramen) de color marrón con jaspes claros y de forma regular, observándose entre ambas un gran y abrupto contraste de color. En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco rosáceo HUE 8/2 7.5YR y el duramen marrón rojizo HUE 5/4 5YR. (Munsell Soil Color Charts).

Olor: Distintivo y característico.

Lustre o brillo: Moderado a elevado.

Grano: Entrecruzado.

Textura: Media.

Veteado o figura: Bien definido, arcos superpuestos y bandas angostas, paralelas, satinadas, jaspeado amarillo en la sección tangencial.

Características tecnológicas:

El *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en la categoría alta.

Propiedades físicas:

Las propiedades físicas del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) son:
Densidad básica: 0.87 gr/cm³
Contracción tangencial: 9.10 %
Contracción radial: 5.50 %
Contracción volumétrica: 15.00 %
Relación T/R: 1.60

Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) son:
Módulo de elasticidad en flexión: 153,000 kg/cm²
Módulo de rotura en flexión: 1,286 kg/cm²
Compresión paralela (RM): 672 kg/cm²
Compresión perpendicular (ELP): 150 kg/cm²
Corte paralelo a las fibras: 145 kg/cm²
Dureza en los lados: 1,353 kg/cm²
Tenacidad (Resistencia al choque): 6.20 kg-m

Fenología, polinización y dispersión:

La floración del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), es durante la estación seca y la fructificación a fines de ésta. Estudios efectuados en otra especie del género, *Dipteryx panamensis*, evidencian que cada árbol abre pocas flores cada día por un tiempo de varios meses.

La polinización es efectuada principalmente por abejas medianas y grandes, las cuales pueden viajar distancias considerables. En Costa Rica, se indica que pueden polinizar a *Dipteryx panamensis* las siguientes especies: *Bombus pullatus*, *Centris* spp., *Epicharis* spp., *Megachile* sp., *Melipona flavipennis*, *Mesoplia* sp., *Trigona musarum*.El patrón de floración, con pocas flores abriéndose cada día, sugiere que *Dipteryx* es de polinización cruzada obligada **(Flores, 1997).**

La dispersión es efectuada principalmente por murciélagos (*Artibeus jamaicensis*, *A. lituratus, Carollia spp*.) los cuales desprenden los frutos y los llevan a lugares seguros para consumir sin peligro el jugo oleoso del mesocarpio o pulpa. Monos (*Ateles spp.)* y roedores grandes (*Dasyprocta sp., Myoprocta sp*.) pueden ser también dispersadores eventuales.

Usos de la madera:

La madera es de muy buena calidad, extraordinariamente dura y pesada, de color blanquecino en la albura y marrón amarillento o rojizo en el duramen cuando seca, con grano entrecruzado y textura media a gruesa, también con veteado de arcos superpuestos. Es apta para el torneado, tiene buena durabilidad y es resistente a la humedad. Con ella se elaboran parquet, elementos de la construcción que requieren mucha resistencia y perduración, tales como puntales y vigas, mangos de herramientas, postes y chapas decorativas.

En otros países de Sudamérica se le aprovecha por el contenido de Cumarina de la semilla. Esta sustancia tiene uso industrial en perfumería.

2.3.2. Cuadro de las propiedades físicas y mecánicas de las 5 especies

Tabla 1

Propiedades Físicas y Mecánicas de la Lupuna Blanca (Ceiba pentandra).

LUPUNA BLANCA (*Ceiba pentandra*)			
PROPIEDADES FISICAS		**PROPIEDADES MECANICAS**	
Densidad básica	0.28 g/cm³	Módulo de elasticidad en flexión	450,1000 kg/cm²
Contracción tangencial	9.01 %	Módulo de rotura en flexión	399 kg/cm²
Contracción radial	3.10 %	Compresión paralela (RM)	242 kg/cm²
Contracción volumétrica	10.70 %	Compresión perpendicular (ELP)	25 kg/cm²
Relación T/R	1.50	Corte paralelo a las fibras	38 kg/cm²
		Dureza en los lados	236 kg/cm²
		Tenacidad (Resistencia al choque)	1.69 kg-m

Fuente: Compendio de información técnica de 32 especies forestales.

Tabla 2

Propiedades Físicas y Mecánicas de la Cumala (Virola calophylla).

CUMALA (*Virola calophylla*)			
PROPIEDADES FISICAS		**PROPIEDADES MECANICAS**	
Densidad básica	0.45 g/cm³	Módulo de elasticidad en flexión	106,000 kg/cm²
Contracción tangencial	9.87 %	Módulo de rotura en flexión	447 kg/cm²
Contracción radial	4.45 %	Compresión paralela (RM)	185 kg/cm²
Contracción volumétrica	13.40 %	Compresión perpendicular (ELP)	37 kg/cm²
Relación T/R	2.40	Corte paralelo a las fibras	52 kg/cm²
		Dureza en los lados	212 kg/cm²
		Tenacidad (Resistencia al choque)	0.90 kg-m

Fuente: Compendio de información técnica de 32 especies forestales.

Tabla 3

Propiedades Físicas y Mecánicas de la Copaiba Blanca (Copaifera paupera).

COPAIBA BLANCA (*Copaifera paupera*)			
PROPIEDADES FISICAS		**PROPIEDADES MECANICAS**	
Densidad básica	0.61 g/cm³	Módulo de elasticidad en flexión	112,000 kg/cm²
Contracción tangencial	7.00 %	Módulo de rotura en flexión	736 kg/cm²
Contracción radial	3.40 %	Compresión paralela (RM)	268 kg/cm²
Contracción volumétrica	10.70 %	Compresión perpendicular (ELP)	74 kg/cm²
Relación T/R	2.30	Corte paralelo a las fibras	99 kg/cm²
		Dureza en los lados	587 kg/cm²
		Tenacidad (Resistencia al choque)	3.40 kg-m

Fuente: Compendio de información técnica de 32 especies forestales.

Tabla 4

Propiedades Físicas y Mecánicas de la Capirona (Calycophyllum spruceanum).

CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum*)			
PROPIEDADES FISICAS		**PROPIEDADES MECANICAS**	
Densidad básica	0.76 g/cm³	Módulo de elasticidad en flexión	100,000 kg/cm²
Contracción tangencial	9.00 %	Módulo de rotura en flexión	723 kg/cm²
Contracción radial	5.00 %	Compresión paralela (RM)	283 kg/cm²
Contracción volumétrica	15.00 %	Compresión perpendicular (ELP)	67 kg/cm²
Relación T/R	2.30	Corte paralelo a las fibras	87 kg/cm²
		Dureza en los lados	425 kg/cm²
		Tenacidad (Resistencia al choque)	2.00 kg-m

Fuente: Compendio de información técnica de 32 especies forestales.

Tabla 5

Propiedades Físicas y Mecánicas del Shihuahuaco (Dipteryx micrantha).

SHIHUAHUACO (*Dipteryx micrantha*)			
PROPIEDADES FISICAS		**PROPIEDADES MECANICAS**	
Densidad básica	0.87 g/cm³	Módulo de elasticidad en flexión	153,000 kg/cm²
Contracción tangencial	9.10 %	Módulo de rotura en flexión	1,286 kg/cm²

Contracción radial	5.50 %	Compresión paralela (RM)	672 kg/cm²
Contracción volumétrica	15.00 %	Compresión perpendicular (ELP)	150 kg/cm²
Relación T/R	1.60	Corte paralelo a las fibras	145 kg/cm²
		Dureza en los lados	1,353 kg/cm²
		Tenacidad (Resistencia al choque)	6.20 kg-m

Fuente: Compendio de información técnica de 32 especies forestales.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Aserrín.** Es el desperdicio del proceso de aserrado de la madera, como el que se produce en un aserradero **(Monografias.com 2014).**

- **Briquetadora.** Maquina industrial para realizar briquetas de madera **(Wikipedia.com 2011).**

- **Celulosa.** Es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de β-glucosa (Desde cientos hasta varios miles de unidades), pues es un homopolisacárido **(Monografias.com 2014).**

- **Lignina.** Proviene del término latino lignum, que significa “Madera”; así, a las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las denomina leñosas. La lignina se encarga de engrosar el palo. La lignina está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos **(Monografias.com 2014).**

- **Conglomerante.** Se llama al material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos **(Wikipedia.com 2011).**

- **Aglomerantes.** Son todos aquellos materiales, generalmente pétreos blandos, que mezclados con agua se hacen plásticos, formando pasta y que al secarse alcanzan resistencia mecánica **(Wikipedia.com 2011).**

- **Combustión.** Es un proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía bajo en forma de calor y luz.

Para que este proceso se dé, es necesario la presencia de un combustible, un comburente y calor **(Monografias.com 2014).**

- **Resina.** Sustancia orgánica de consistencia pastosa, pegajosa, transparente o translúcida, que se solidifica en contacto con el aire; es de origen vegetal o se obtiene artificialmente mediante reacciones de polimerización **(Monografias.com 2014).**

- **Látex**. Jugo de tipo lechoso de color blanco que tienen algunos vegetales. Se encuentra en el interior de unos canales laticíferos y se extrae por la corteza de la planta **(Wikipedia.com 2011).**

- **Contenido de humedad.** Es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105°-110° C **(Monografias.com 2014).**

- **Composición química.** Se refiere a qué sustancias están presentes en una determinada muestra y en qué cantidades **(Wikipedia.com 2011).**

- **Biomasa residual.** Incluye los residuos forestales y agrícolas, los residuos producidos por industrias forestales y agrícolas, los residuos sólidos urbanos y los residuos biodegradables como efluentes ganaderos, lodos de depuradoras, aguas residuales urbanas, etc. **(Wikipedia.com 2011).**

- **Termoplástico.** Los termoplásticos hacen referencia al conjunto de materiales que están formados por polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares o fuerzas de Van der waals, formando estructuras lineales o ramificadas **(Monografias.com 2014).**

- **Fenoles.** Son compuestos químicos llamados aromáticos. Las sustancias provienen de los alcoholes aromáticos **(Wikipedia.com 2011).**

- **Temperatura.** Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera **(Monografias.com 2014).**

- **Compuestos orgánicos volátiles**. Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos. Los compuestos orgánicos volátiles, a veces llamados VOC (Por sus siglas en inglés), o COV (Por sus siglas en español), se convierten fácilmente en vapores o gases **(Wikipedia.com 2011).**

- **Desgasificación.** Acción de desgasificar **(Wikipedia.com 2011).**

- **Carbón**. Se llama carbón a una sustancia fósil resultante del proceso de descomposición de un material leñoso **(Wikipedia.com 2011)**.

- **Leño.** Trozo grande y grueso de un tronco de árbol o de una rama gruesa, generalmente cortada y limpia de ramas **(Monografias.com 2014).**

- **Chamuscado.** Chamuscado es un adjetivo que significa quemado o carbonizado superficialmente. Se utiliza para calificar a las cosas que, sometidas al fuego o altas temperaturas, son quemadas en su superficie o parte externa del tejido **(Wikipedia.com 2011).**

- **La madera sintética o madera Greendeck.** Es un material fabricado a partir de residuos de madera y plásticos reciclados seleccionados, resultando en un material de mayor durabilidad y menor mantenimiento **(Monografias.com 2014).**

- **Impermeabilizar.** Cubrir una superficie con una sustancia o material impermeable **(Wikipedia.com 2011).**

- **Ignífugo.** Que rechaza la combustión y protege contra el fuego **(Wikipedia.com 2011).**

- **Pesticida.** Es cualquier sustancia o mezcla de sustancias dirigidas a destruir, prevenir, repeler, o mitigar alguna plaga. El término pesticida se puede utilizar para designar compuestos que sean herbicida, fungicida, insecticida, o algunas otras sustancias utilizadas para controlar plagas **(Monografias.com 2014).**

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo se llevó a cabo en los Laboratorios de Tecnología de la Madera, Anatomía de la Madera y Transformación Química de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicada en la carretera Federico Basadre Km. 6.200. Políticamente se encuentra en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali.

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para los ensayos de la fabricación de las briquetas se aplicó el método de tipo experimental, el que consistió en observar y evaluar el proceso de fabricación de las briquetas de aserrín; identificando y cuantificando los defectos de cada una de las briquetas.

El tipo de investigación a utilizar fue el descriptivo, el cual “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice”.

En nivel de investigación de acuerdo a la naturaleza de estudio de la investigación, reúne por sus características de un estudio descriptivo, explicativo y correlacionado.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población estuvo constituida por el volumen total de aserrín de las especies de: *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), *Virola calophylla* (Cumala), *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) que se produjo en el último trimestre del 2020 en los aserraderos de Pucallpa.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 15 kg de aserrín por especie empleado para la fabricación de un total de 120 briquetas, 24 briquetas por especie, 6 briquetas por número de tamiz. Se utilizaron 4 medidas de tamiz.

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos de recolección de datos fue la observación directa en el laboratorio, entrevista, análisis de documentos, grabaciones y transcripciones.

Complementariamente se utilizaron algunos materiales, herramientas, equipos y maquinarias.

3.4.1. Materiales

- Aserrín de las cinco especies: *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), *Virola calophylla* (Cumala), *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco).
- Costales.
- Moldes de aceros para briquetas.
- Almidón de yuca en polvo.
- Tamices números: 07 (2.80 mm), 10 (2.00 mm), 20 (850 um) y 45 (355 um).
- Bolsas de polietileno.
- Cocina.
- Bandejas.
- Sobre manilas.
- Balde.
- Libreta de apuntes.

3.4.2. Herramientas

- Pala.

3.4.3. Equipos

- Cámara fotográfica.
- Laptop.
- Balanza digital (Marca - HW Kessel S.A y Modelo - FX-300).
- Microscopio (Marca - Leica, Modelo - DME, Serie - 341195389FZ019).
- Prensa universal (Marca - Tinius Olsen).
- Prensa hidráulica manual.
- Estufa (Marca - Ecosell).
- Bomba calorimétrica (Marca - Ica y Modelo - C 200).

3.4.4. Maquina

- Moto furgoneta.

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Recolección del aserrín

Se recolectaron el aserrín de las cinco especies forestales de distintos aserraderos de la ciudad de Pucallpa como son:

- Aserraderos portátiles, ubicado en el sector Ollada (Especie de Lupuna y Cumala)
- Aserradero Arbe S.A.C., ubicado en la carretera de Manantay km 0 (Especie Copaiba).
- Inversiones Forestales San Juan S.A.C., ubicado en la carretera de Manantay km 1 (Especie Capirona).
- Industrial Ucayali S.A.C., ubicado en la avenida centenario km 4.3 (Especie Shihuahuaco).

3.5.2. Transporte del aserrín

Se transportaron en una moto furgoneta las muestras de aserrín al Laboratorio de Tecnología de la Madera de la UNU, para su acondicionamiento y proceso de fabricación.

3.5.3. Acondicionamiento del aserrín

Se pesaron un kilogramo de aserrín por especie en bolsas de polietileno. luego se procedió a realizar un pre secado natural al aire libre, cuyo rango de secado fue entre 8 % y 12 % de contenido de humedad, para un mejor tamizado de las muestras.

3.5.4. Tamizado del aserrín

Para conocer la composición granulométrica del aserrín, se tamizo las muestras de aserrín de las cinco especies, pero de manera independiente, empleando cuatro medidas diferentes de tamices N° 07 (2.80 mm), N° 10 (2.00 mm), N° 20 (850 um) y N° 45 (355 um).

3.5.5. Secado del aserrín

Las muestras de aserrín por medida de tamiz o por granulometría, se pusieron en sobre manilas para después llevarlo a la estufa a 103 $\pm$ 2 °C, hasta conseguir que el peso de la muestra sea constante, este peso es el peso anhidra de la muestra y con ello poder determinar el contenido de humedad de cada muestra de aserrín.

3.5.6. Preparación del aglutinante

Se preparó el aglutinante de almidón de yuca, la preparación fue de 250 g de almidón de yuca para un litro de agua y fue colocada a fuego lento, hasta conseguir una consistencia viscosa. La concentración del aglutinante fue de 20 % en peso. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$[\ ] = \frac{W\ (sto) \times 100}{W\ (sto) + W\ (sol)}$$

Donde:

[ ] = Concentración del aglutinante en %

W (sto) = Peso del soluto (g)

W (sol) = Peso del solvente (ml)

3.5.7. Calentamiento de los moldes

Los moldes de acero fueron puestos en la estufa a una temperatura de 240 °C en promedio, por un tiempo de 35 minutos aproximadamente.

3.5.8. Fabricación de briquetas

Para la fabricación de briquetas de aserrín, se trabajó con un peso de 20 - 45 g de aserrín por molde, la variación del peso se debió a varios factores como: Distintas especies, granulometría y morfología del aserrín, tamaño y volumen de los moldes.

La proporción del aglutinante para las muestras estuvo en función al número o tamaño de tamiz, numero 07 (2.80 mm) y 10 (2.00 mm) fue de 30 % del peso de la muestra, para las muestras de tamaños de tamiz número 20 (850 um) y 45 (355 um) fue de 60 % del peso de la muestra.

La mezcla de aserrín y aglutinante totalmente homogénea, se colocó en el molde caliente y se procedió a densificarla en una prensa hidráulica. La presión aplicada para el proyecto fue de 2 400 kg/cm^2, el tiempo de prensado y enfriado fue de 60 minutos para las cinco especies.

Se retiro las briquetas del molde utilizando una prensa manual, para luego determinar sus propiedades física - mecánicas. El procedimiento fue el mismo para las 24 briquetas por especie, obteniéndose un total de 120 briquetas de las cinco especies.

3.5.9. Determinación de las propiedades físicas

a. Densidad

La determinación de la densidad de las briquetas, se realizó de acuerdo a la norma NTP 251.011-1980. Se pesó la briqueta (g), este valor se dividió entre el volumen de la briqueta; para determinar el volumen de las briquetas. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi \times d^2 \times l}{4}$$

Donde:

V = Volumen de la briqueta (cm^3)

π = 3,1416

d = Diámetro de la briqueta (cm) = 3.56 cm. (Prom.)

l = Longitud de la briqueta (cm)

Luego se aplicó la fórmula de la densidad anhidra, conociendo la masa (Peso) y el volumen de la briqueta. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$D = M/V$$

Donde:

D = Densidad (g/cm^3)

M = Masa (g)

V = Volumen (cm^3)

b. Densidad aparente

Para conocer cuál es el peso total de un 1 m^3 de briquetas, se determinó la densidad aparente, aplicando la siguiente expresión.

$$Dap = M/V$$

Donde:

Dap = Densidad aparente (kg/m^3)

M = Masa (Peso) total de las briquetas (kg)

V = Volumen de briquetas apilada (m^3)

c. Contenido de humedad

El contenido de humedad de las briquetas se determinó de la siguiente manera. Se molieron las briquetas y se tomaron muestras de 2 g (Peso húmedo) se colocó en estufa a 103 $\pm$ 2 °C hasta conseguir que el peso de la muestra sea constante (Peso seco al horno). Según la norma NTP 251.010-1980, se aplicó la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{Ph - Ps}{Ph} \; x \; 100\%$$

Donde:

CH: Humedad del aserrín expresada como un porcentaje

Ph: Peso del aserrín en estado húmedo o peso inicial

Ps: Peso del aserrín en estado anhidro o peso final

3.5.10. Determinación de la resistencia a la compresión paralela

La resistencia a la compresión perpendicular a la sección transversal de la briqueta, fueron determinadas según la norma NTP 251.014-1980, el ensayo se realizó con 3 briquetas por medida o número de tamiz y por especie. El ensayo se llevó a cabo en la prensa universal, registrándose los valores en kilogramos y la resistencia se calculó con la siguiente formula:

$$MOR = P/A$$

Donde:

MOR = Modulo de rotura (kg/cm^2)

P = Carga máxima que soporta la briqueta (kg)

A = Superficie de la sección transversal de la briqueta (cm^2)

$$A = \pi \, (d/2)^2$$

Dónde:

d = Diámetro de la briqueta (cm)

3.5.11. Determinación del poder calórico de las briquetas

El poder calórico de las briquetas de aserrín por especie y por granulometría, se determinaron en el Laboratorio de Transformación Química de la Madera de la UNU, procedimiento del poder calórico:

- Se peso 2 gramos aproximadamente de la muestra.
- Se coloco la muestra en la válvula de oxígeno.
- Se coloca la mecha con dirección a la muestra.
- Se cierra la tapa del recipiente.
- Se almacena oxigeno por 30 segundos aproximadamente.

- El recipiente se coloca en la bomba calorimétrica.
- Se ingresa en calibración para poner el peso de la muestra.
- Añadimos 2 litros de agua.
- Cerramos la tapa de la bomba calorimétrica.
- Vaciamos el agua y retiramos el recipiente.

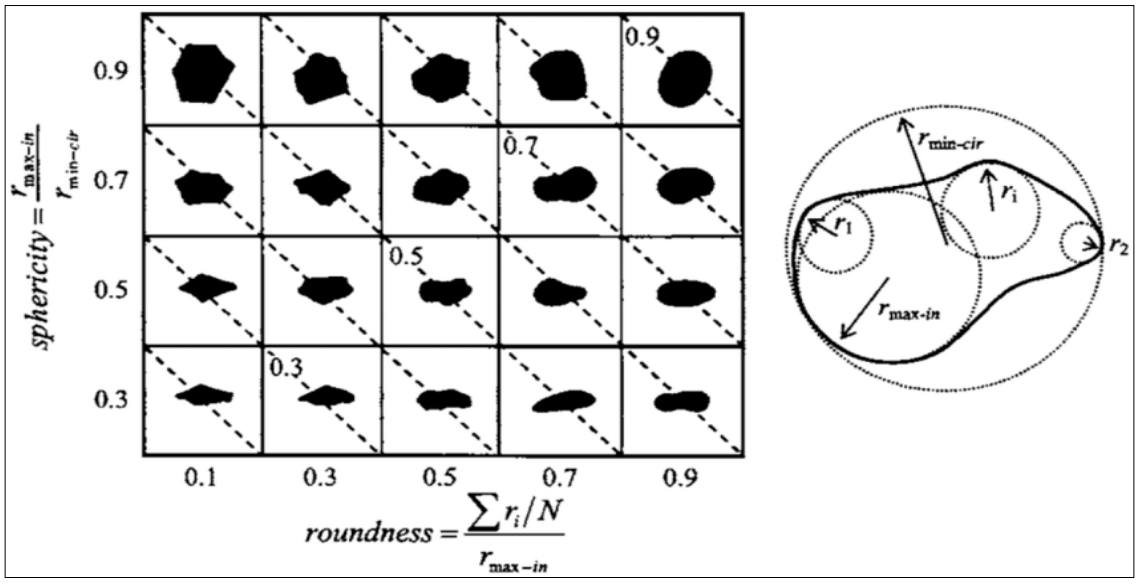
3.6. ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA Y MORFOLOGÍA DE LAS PARTÍCULAS DE CORTEZA DE ASERRIN

Para la determinación de la granulometría y morfología de las partículas de aserrín por especie, se realizó en el laboratorio de Tecnología y Anatomía de la Madera respectivamente de la UNU, utilizando cuatro medidas de tamices: 07 (2.80 mm), 10 (2.00 mm), 20 (850 um) y 45 (355 um) y un microscopio electrónico con un aumento de 10x.

Según las características granulométricas las muestras que presentaron una mayor resistencia al momento de la compresión perpendicular y poder calórico superior fueron las muestras con tamices número 07 (2.80 mm) y 10 (2.00 mm), por lo tanto, se recomienda utilizar muestras de esas dos medidas de tamices en la fabricación de briquetas.

Figura 5

Gráfico para la Determinación de la Forma de Partícula de Esfericidad y Redondez.



3.7. TRATAMIENTO DE DATOS

Para analizar los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de las briquetas de aserrín, se calcularán los promedios, las desviaciones estándares y los coeficientes de variación; además para determinar si existe diferencias significativas entre los valores promedios de las propiedades físicas y mecánicas de las briquetas de cada especie, se empleará la prueba de Análisis de Varianza.

El análisis de varianza aplicado fue de dos factores, con las siguientes características:

- **Factor 1:** Especie, con cinco variantes: Lupuna blanca, Cumala, Copaiba blanca, Capirona y Shihuahuaco.
- **Factor 2:** Numero de tamiz, con cuatro variantes: N° 07, 10, 20 y 45.
  - Variable de estudio: Densidad básica, densidad anhidra o aparente, contenido de humedad, resistencia a la compresión paralela y poder calórico.
  - Número de repeticiones: 6 por tratamiento.
  - Unidad experimental: Una briqueta.
- **Factor 3:**
  - Modelo estadístico que se usara: Análisis de varianza de dos factores.
  - Hipótesis a demostrar: Cual de las briquetas elaboradas con cinco especies forestales de aserrín y con cuatro medidas de tamiz son de mejor características técnicas.
  - Hipótesis estadística para comprobar la hipótesis: Propiedades físicas y mecánicas.

3.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA

"ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA Y MORFOLOGÍA DEL ASERRÍN DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA Y SUS POSIBILIDADES DE USO EN LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS"

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
General	**General**	**General**	**Independiente**	Método de producción.	Especie de madera. Tiempo de prensado. Tipo de proceso.
Análisis de la granulometría y morfología del aserrín de la madera de cinco especies forestales de Pucallpa y sus posibilidades de uso en la fabricación de Briquetas.	Caracterizar granulométrica y morfológicamente del aserrín de madera de cinco especies forestales para ver sus posibilidades de uso en la fabricación de briquetas.	La granulometría y morfología del aserrín afecta en la fabricación de briquetas.	Aserrín. Especies.		
Especifico	**Especifico**	**Especifico**	**Dependiente**	Calidad de producción.	Cantidad de materia prima ingresante. Cantidad de briquetas producidas.
¿Cuál es la composición granulométrica del aserrín de la madera de cinco especies forestales?	Determinar la composición granulométrica de las partículas de aserrín de madera de cinco especies forestales de Pucallpa.	La granulometría del aserrín afecta negativamente en la fabricación de briquetas.	Briquetas (Granulometría - morfología).		
¿Cuál es la morfología del aserrín de la madera de cinco especies forestales?	Determinar la morfología de las partículas de aserrín de madera de cinco especies forestales de Pucallpa.	La morfología del aserrín afecta negativamente en la fabricación de briquetas.		P. Físicas	Densidad. D. aparente. C. de humedad.
¿Cuál es la influencia de la granulometría y morfología del aserrín de la madera de	Fabricar diferentes tipos de briquetas de madera como resultado de la combinación de	La granulometría y morfología del aserrín afecta		P. Mecánicas	Compresión Poder calórico.

cinco especies forestales en la fabricación de briquetas?	las características granulométricas y morfológicas de las partículas de aserrín, independientemente de cada especie forestal.	negativamente en la fabricación de briquetas.			
¿Cuál es la influencia de las propiedades físicas y mecánicas del aserrín de la madera de cinco especies forestales en la fabricación de briquetas?	Determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de briquetas morfológicas de las partículas de aserrín, independientemente de cada especie forestal.	Las propiedades físicas y mecánicas afectan negativamente en la fabricación de briquetas.			

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PARTÍCULAS DEL ASERRÍN DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA

La tabla 6 y la figura 6 muestran la distribución granulométrica expresados en porcentaje del peso total del aserrín de madera de cinco especies forestales, seleccionados con cuatro números de tamices.

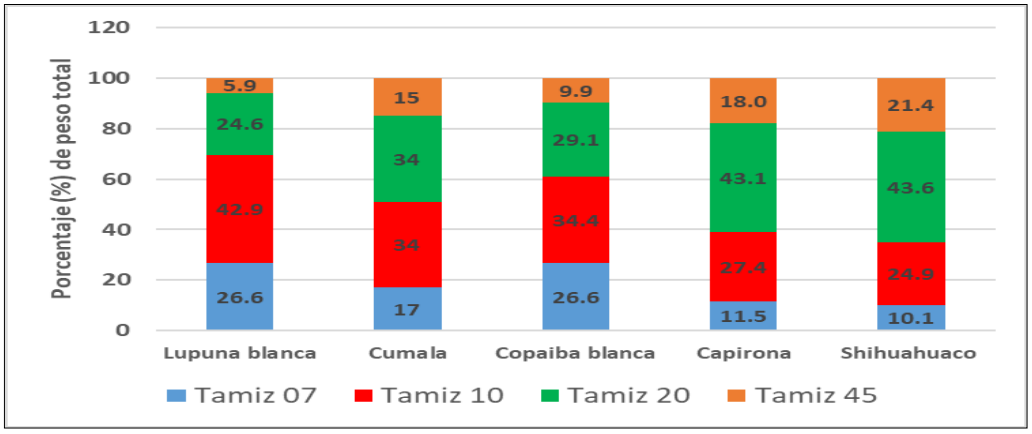
Tabla 6

Composición Granulométrica Promedio del Aserrín de Cinco Especies Forestales con Cuatro Tamices.

Especies	Granulometría de aserrín en % del peso total				
	Tamiz N° 07	Tamiz N° 10	Tamiz N° 20	Tamiz N° 45	Total
Lupuna blanca	26.6	42.9	24.6	5.9	**100**
Cumala	17.0	34.0	34.0	15.0	**100**
Copaiba blanca	26.6	34.4	29.1	9.9	**100**
Capirona	11.5	27.4	43.1	18.0	**100**
Shihuahuaco	10.1	24.9	43.6	21.4	**100**
$\bar{X}$ general	**18.4**	**32.6**	**34.9**	**14.0**	**100**
S	**7.96**	**7.04**	**8.42**	**6.21**	
CV (%)	**43.3**	**21.5**	**24.1**	**44.3**	

Figura 6

Distribución Porcentual de la Granulometría del Aserrín por Especie.



De la tabla 6 y figura 6 se puede deducir las especies densas como el caso *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) presentan los menores porcentajes de partículas gruesas que atraviesan por el tamiz N° 07, con 11.5 % y 10.1 % respectivamente; mientras que con especies de mediana y baja densidad tales como: *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), *Virola calophylla* (Cumala) y *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), del porcentaje de partículas que atraviesan el tamiz N° 07 se incrementa de 17.0 a 26.6 %.

Del mismo modo las especies densas como *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) presentan menores porcentajes de partículas que atraviesan por el tamiz N° 10, con 27.4 % y 24.9 % respectivamente, mientras que el aserrín de las especies de densidad media y baja como *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) y *Virola calophylla* (Cumala) atraviesan en mayor porcentaje a razón de 34.4 y 34.0 % respectivamente y finalmente por el tamiz N° 10 atraviesa el 42.9 % del total de aserrín de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), que se caracteriza por ser de muy baja densidad.

Asimismo, se aprecia que por el tamiz N° 20, el aserrín de las especies densas como *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) son las que pasan en mayor porcentaje a razón de 43.1 y 43.6 % respectivamente; seguido por el aserrín de *Virola calophylla* (Cumala) con 34.0 %; mientras que el aserrín de las otras especies como *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) y *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), atraviesan las cribas del tamiz N° 20 en menor porcentaje, alrededor de 29.1 y 24.6 % respectivamente.

Finalmente utilizando el tamiz N° 45, el aserrín fino de las especies densas como *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) son las que pasan en mayor porcentaje a razón de 18.0 y 21.4 % respectivamente; seguido por el aserrín de *Virola calophylla* (Cumala) con 15 %; mientras que el aserrín fino de las otras especies como *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) y *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), atraviesan en

menor porcentaje por las cribas del tamiz N° 45, alrededor de 9.9 y 5.9 % respectivamente.

En términos generales, estos resultados ponen de manifiesto que las maderas de las especies forestales de alta densidad en el proceso de aserrío generan poco porcentaje de partículas gruesas y mayor porcentaje de partículas finas; mientras que en las especies de mediana y baja densidad se generan mayor porcentaje de partículas gruesas y menor porcentaje de partículas finas, situación que puede deberse a la dureza de la madera y al elemento cortante utilizado en el corte **Arostegui, A. (1982).**

Los resultados encontrados corroboran lo dicho por **Arostegui, A. (1982),** en que el grosor del aserrín depende en gran parte por la densidad de las especies forestales y el tipo de cinta utilizado en el corte como se pudo observar en este estudio cuando la densidad de la madera es menor al momento del aserrío se obtiene más partículas gruesas y menor porcentaje de partículas finas a diferencia cuando la densidad de la madera es mayor es al contrario se obtiene menos partículas gruesas y mayor porcentaje de partículas finas.

4.2. MORFOLOGÍA DE LAS PARTÍCULAS DEL ASERRÍN DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA

Las figuras del 7 al 26, presentan las características morfológicas de las partículas de madera o aserrín de cinco especies forestales, empleando cuatro números de tamices y un aumento de 10X: Esta acción ayudó a definir la forma de las partículas, adaptándolos al ábaco establecido por **(Krumbein y Sloss, 1963)** para evaluar las partículas de forma granular.

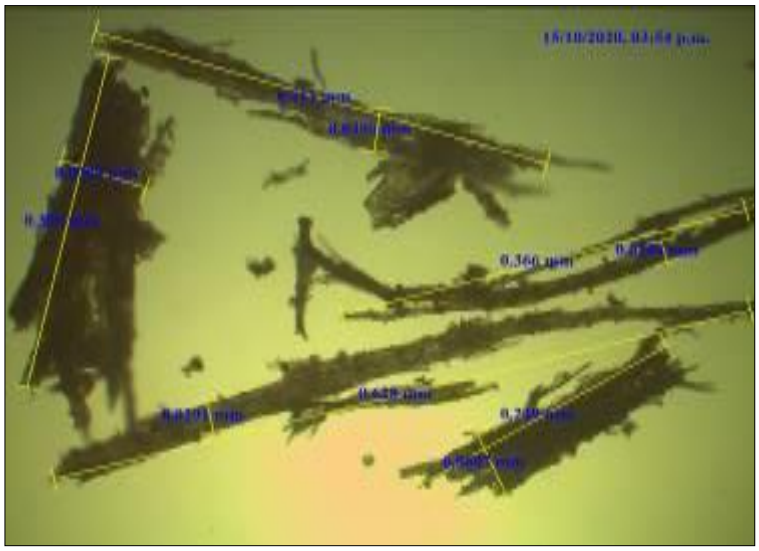
4.2.1. Morfología del aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca)

Tamiz número 07 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), seleccionados con tamiz número 07 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.1 - 0.3, tal como se observa en la figura 7.

Figura 7

Morfología del Aserrín de la Madera de Ceiba Pentandra (Lupuna Blanca) con Tamiz Número 07 y Aumento de 10X.

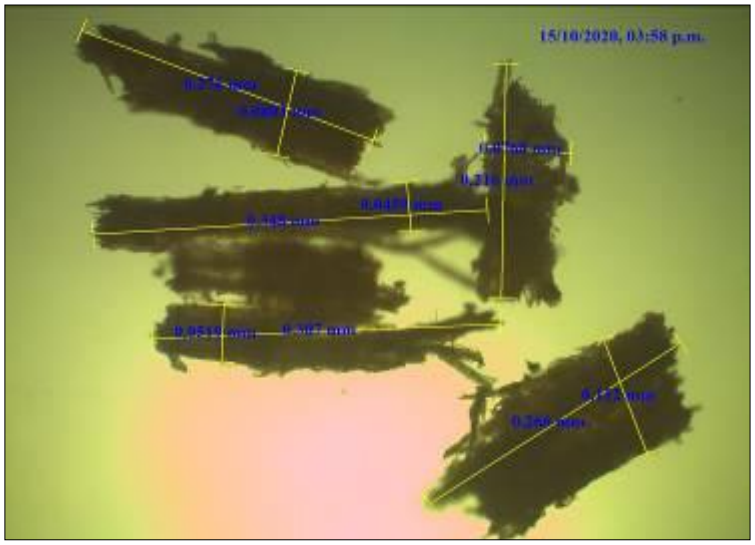


Tamiz número 10 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), seleccionados con tamiz número 10 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.3 - 0.5, tal como se aprecia en la figura 8.

Figura 8

Morfología del Aserrín de la Madera de Ceiba Pentandra (Lupuna Blanca) con Tamiz Número 10 y Aumento de 10X.

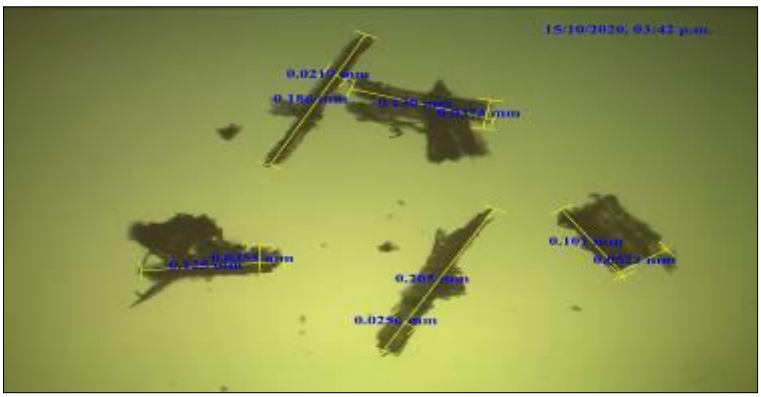


Tamiz número 20 y con un aumento de 10X.

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), seleccionados con tamiz número 20 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.3 - 0.5, tal como se aprecia en la figura 9.

Figura 9

Morfología del Aserrín de la Madera de Ceiba Pentandra (Lupuna Blanca) con Tamiz Número 20 y Aumento de 10X.

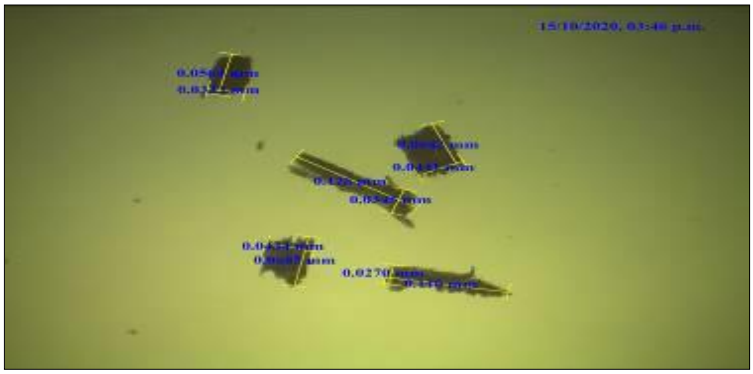


Tamiz número 45 y con un aumento de 10X.

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), seleccionados con tamiz número 45 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.3 - 0.5, tal como se aprecia en la figura 10.

Figura 10

Morfología del Aserrín de la Madera de Ceiba Pentandra (Lupuna Blanca) con Tamiz Número 45 y Aumento de 10X.



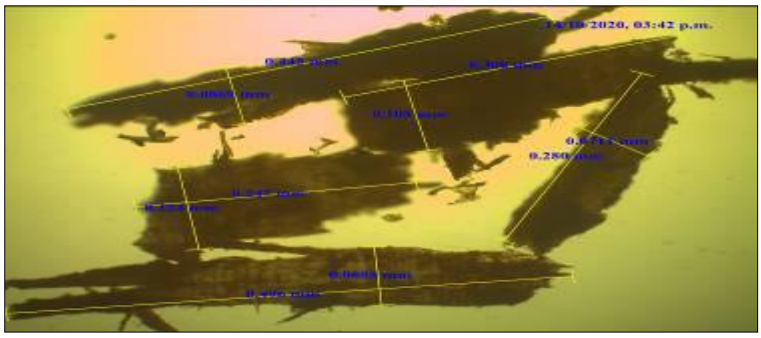
4.2.2. Morfología del aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala)

Tamiz número 07 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Virola calophylla* (Cumala), seleccionados con tamiz número 07 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.5 - 0.7, tal como se observa en la figura 11.

Figura 11

Morfología del Aserrín de la Madera de Virola Calophylla (Cumala) con Tamiz Número 07 y Aumento de 10X.

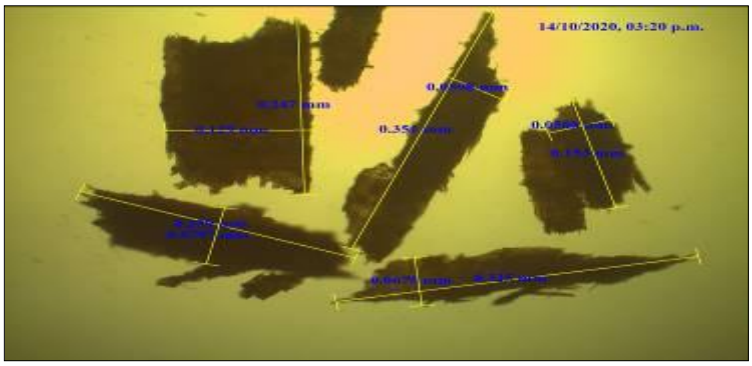


Tamiz número 10 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Virola calophylla* (Cumala), seleccionados con tamiz número 10 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.5 - 0.7, tal como se observa en la figura 12.

Figura 12

Morfología del Aserrín de la Madera de Virola Calophylla (Cumala) con Tamiz Número 10 y Aumento de 10X.

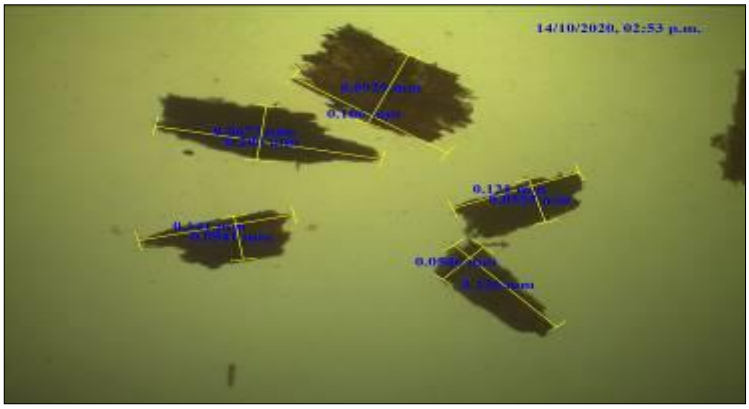


Tamiz número 20 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Virola calophylla* (Cumala), seleccionados con tamiz número 20 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.5 - 0.7, tal como se observa en la figura 13.

Figura 13

Partículas del Aserrín de la Virola Calophylla (Cumala) con Tamiz Número 20 y con un Aumento de 10X.

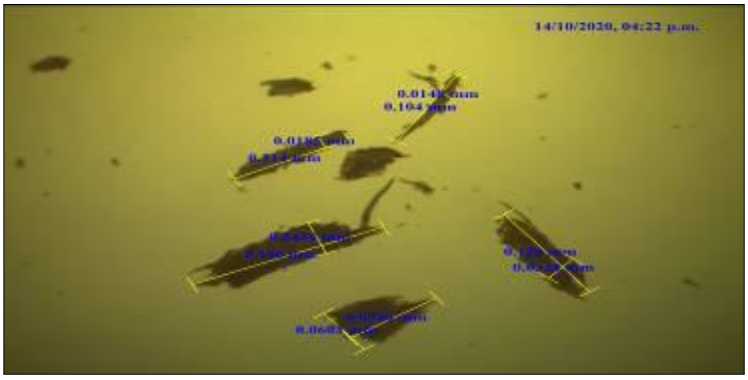


Tamiz número 45 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Virola calophylla* (Cumala), seleccionados con tamiz número 45 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 14.

Figura 14

Partículas del Aserrín de la Virola Calophylla (Cumala) con Tamiz Número 45 y con un Aumento de 10X.



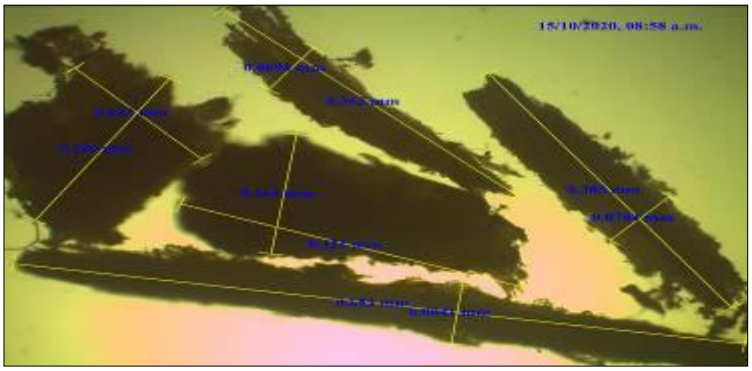
4.2.3. Morfología del aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca)

Tamiz número 07 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), seleccionados con tamiz número 07 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.5 - 0.7 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 15.

Figura 15

Partículas del Aserrín de la Copaifera Paupera (Copaiba Blanca) con Tamiz Número 07 y con un Aumento de 10X.

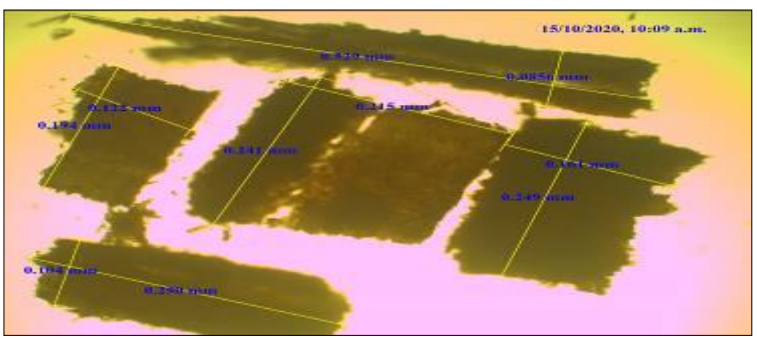


Tamiz número 10 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), seleccionados con tamiz número 10 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.5 - 0.7 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 16.

Figura 16

Partículas del Aserrín de la Copaifera Paupera (Copaiba Blanca) con Tamiz Número 10 y con un Aumento de 10X.

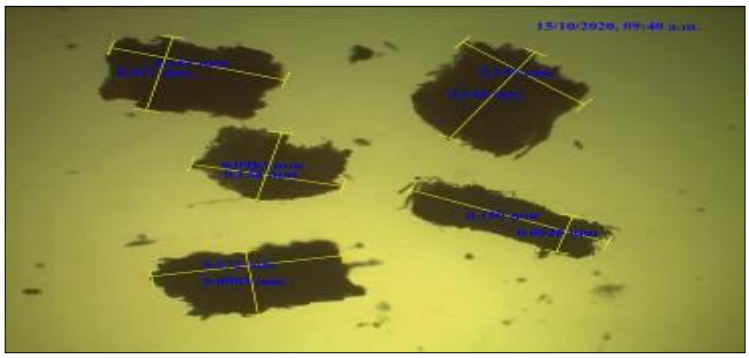


Tamiz número 20 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), seleccionados con tamiz número 20 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.5 - 0.7 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 17.

Figura 17

Partículas del Aserrín de la Copaifera Paupera (Copaiba Blanca) con Tamiz Número 20 y con un Aumento de 10X.

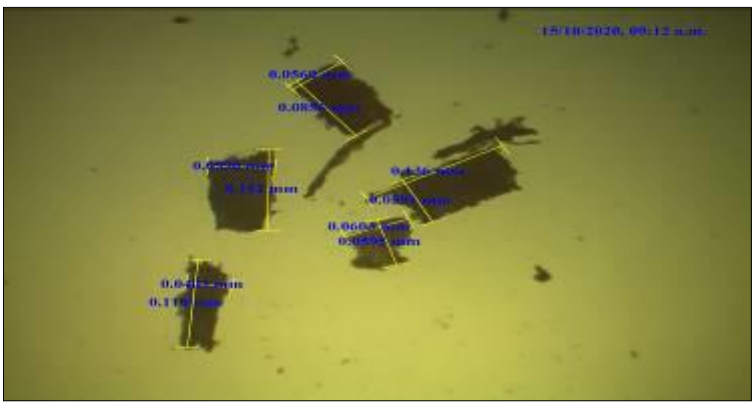


Tamiz número 45 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), seleccionados con tamiz número 45 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.5 - 0.7 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 18.

Figura 18

Partículas del Aserrín de la Copaifera Paupera (Copaiba Blanca) con Tamiz Número 45 y con un Aumento de 10X.



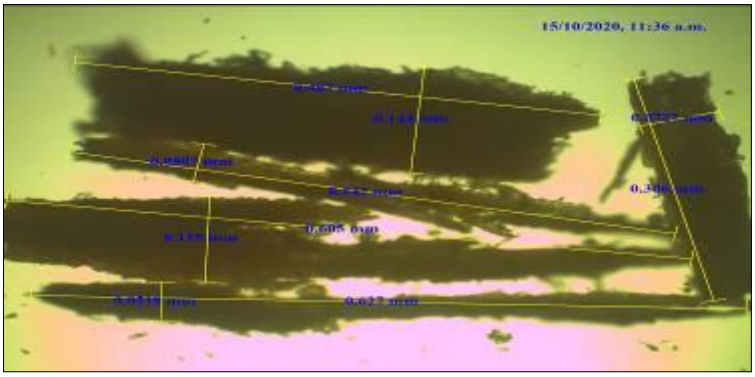
4.2.4. Morfología del aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona)

Tamiz número 07 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), seleccionados con tamiz número 07 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 19.

Figura 19

Partículas del Aserrín de la Calycophyllum Spruceanum (Capirona) con Tamiz Número 07 y con un Aumento de 10X.

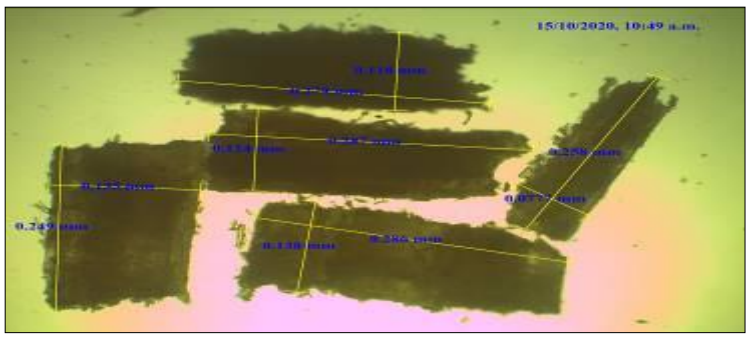


Tamiz número 10 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), seleccionados con tamiz número 10 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.7 y esfericidad 0.7, tal como se observa en la figura 20.

Figura 20

Partículas del Aserrín de la Calycophyllum Spruceanum (Capirona) con Tamiz Número 10 y con un Aumento de 10X.

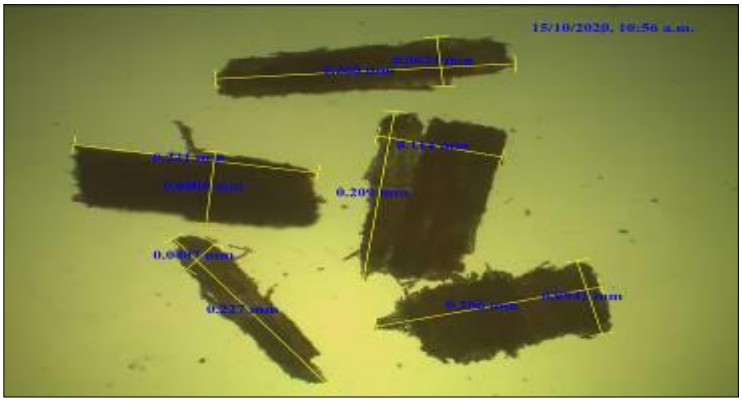


Tamiz número 20 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), seleccionados con tamiz número 20 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.5 - 0.7 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 21.

Figura 21

Partículas del Aserrín de la Calycophyllum Spruceanum (Capirona) con Tamiz Número 20 y con un Aumento de 10X.

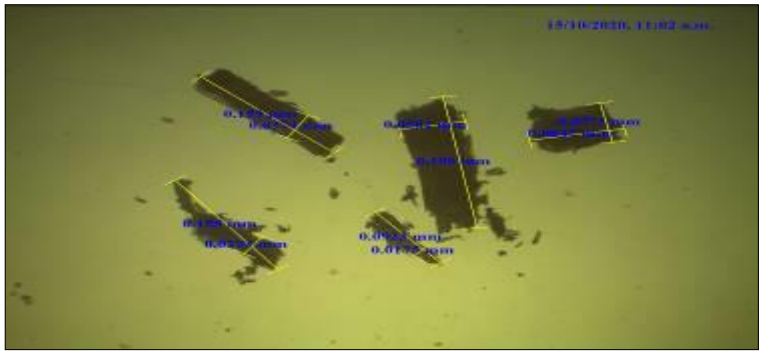


Tamiz número 45 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), seleccionados con tamiz número 45 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 22.

Figura 22

Partículas del Aserrín de la Calycophyllum Spruceanum (Capirona) con Tamiz Número 45 y con un Aumento de 10X.



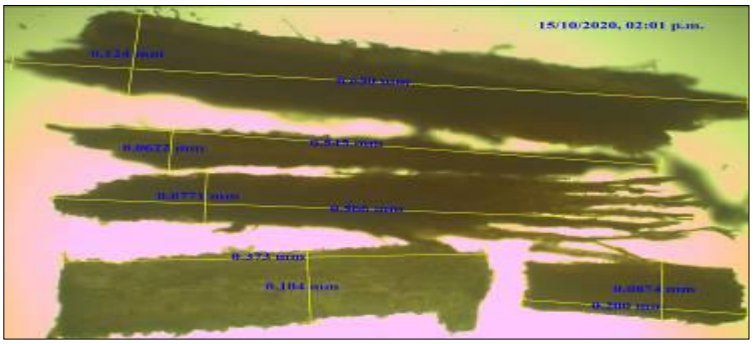
4.2.5. Morfología del aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco)

Tamiz número 07 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), seleccionados con tamiz número 07 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 23.

Figura 23

Partículas del Aserrín del Dipteryx Micrantha (Shihuahuaco) con Tamiz Número 07 y con un Aumento de 10X.

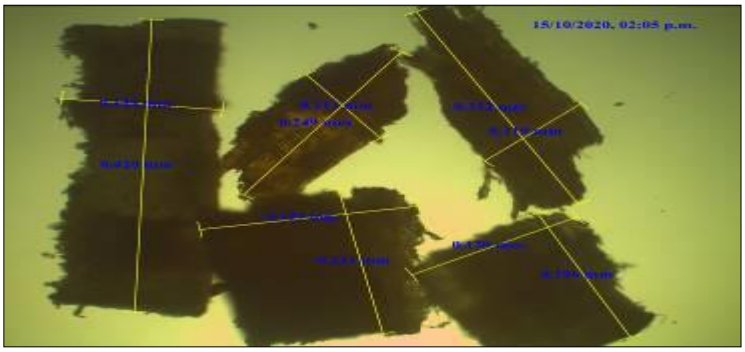


Tamiz número 10 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), seleccionados con tamiz número 10 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.5 - 0.7 y esfericidad 0.7 - 0.9, tal como se observa en la figura 24.

Figura 24

Partículas del Aserrín del Dipteryx Micrantha (Shihuahuaco) con Tamiz Número 10 y con un Aumento de 10X.

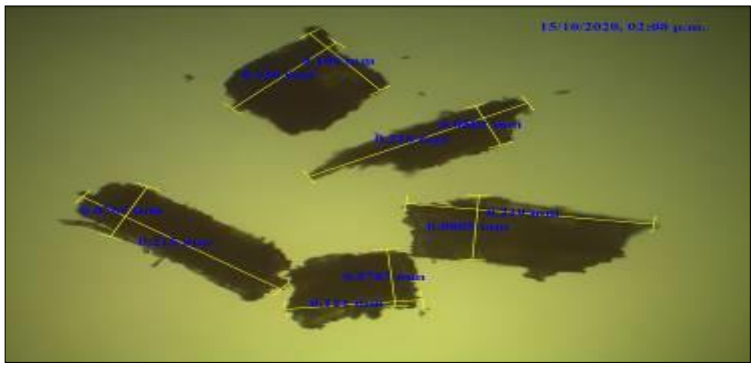


Tamiz número 20 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), seleccionados con tamiz número 20 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.5 - 0.7, tal como se observa en la figura 25.

Figura 25

Partículas del Aserrín del Dipteryx Micrantha (Shihuahuaco) con Tamiz Número 20 y con un Aumento de 10X.

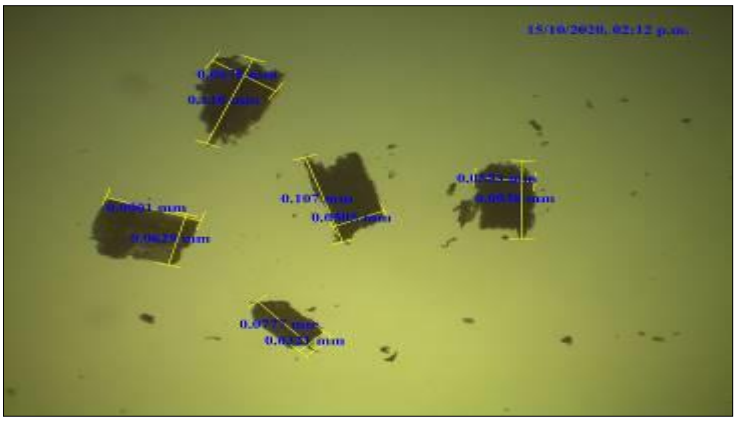


Tamiz número 45 y con un aumento de 10X

Las características morfológicas del aserrín de la madera del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), seleccionados con tamiz número 45 y aumento de 10X, fueron las siguientes formas: Redondez 0.3 - 0.5 y esfericidad 0.5 - 0.7, tal como se observa en la figura 26.

Figura 26

Partículas del Aserrín del Dipteryx micrantha (Shihuahuaco) con Tamiz Número 45 y con un Aumento de 10X.



Según la tabla de determinación de la forma de las partículas, gráfico de esfericidad y redondez los resultados obtenidos con el microscopio de las distintas morfologías de las partículas del aserrín de las cinco especies forestales, se obtuvieron en gran parte las formas de partículas de: Redondez 0.3, 0.5 y 0.7 y esfericidad 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9.

Tabla 7

Resumen de los Datos Morfológicos de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.

Datos morfológicos de las briquetas						
N° de Tamiz	**Características**	**Lupuna blanca**	**Cumala**	**Copaiba blanca**	**Capirona**	**Shihuahuaco**
Tamiz	Redondez	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5	0.5 - 0.7	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5
N° 07	Esfericidad	0.1 - 0.3	0.5 - 0.7	0.7 - 0.9	0.7 - 0.9	0.7 - 0.9
Tamiz	Redondez	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5	0.5 - 0.7	0.7	0.5 - 0.7
N° 10	Esfericidad	0.3 - 0.5	0.5 - 0.7	0.7 - 0.9	0.7	0.7 - 0.9
Tamiz	Redondez	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5	0.5 - 0.7	0.5 - 0.7	0.3 - 0.5
N° 20	Esfericidad	0.3 - 0.5	0.5 - 0.7	0.7 - 0.9	0.7 - 0.9	0.5 - 0.7
Tamiz	Redondez	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5	0.5 - 0.7	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5
N° 45	Esfericidad	0.3 - 0.5	0.7 - 0.9	0.7 - 0.9	0.7 - 0.9	0.5 – 07

4.3. CARACTERÍZACION DE LAS BRIQUETAS DE ASERRÍN

En la tabla 8 se aprecian las características métricas de las briquetas obtenidas a partir de las partículas en forma de aserrín de las especies forestales de: *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), *Virola calophylla* (Cumala), *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) y los tamices N° 07, 10, 20 y 45. Las características métricas observadas fueron: El espesor, el largo, el volumen y el peso; así mismo se aprecia la media y la desviación estándar de las diferentes características métricas de los 20 tipos de briquetas.

Briquetas de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca)

Las características métricas que presentaron las briquetas de aserrín de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) fueron: Peso promedio de 31.36 - 37.20 g, diámetro promedio de 3.28 - 3.93 cm, largo promedio de 5.39 - 6.04 cm y

volumen promedio de 55.64 - 74.53 cm³; precisando que los mayores valores en su mayoría corresponden al tamiz N° 07 y los menores al tamiz N° 45.

Briquetas de *Virola calophylla* (Cumala)

Las características métricas que presentaron las briquetas de aserrín de *Virola calophylla* (Cumala) fueron: Peso promedio de 35.26 - 42.31 g, diámetro promedio de 3.21 - 3.90 cm, largo promedio de 5.52 - 6.05 cm y volumen promedio de 59.35 - 73.53 cm³; de igual manera precisando que los mayores valores en su mayoría corresponden al tamiz N° 07 y los menores al tamiz N° 45.

Briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca)

Las características métricas que presentaron las briquetas de aserrín de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) fueron: Peso promedio de 40.56 - 48.03 g, diámetro promedio de 3.22 - 3.82 cm, largo promedio de 5.42 - 6.36 cm y volumen promedio de 59.65 - 73.81 cm³; de igual manera precisando que los mayores valores en su mayoría corresponden al tamiz N° 07 y los menores al tamiz N° 45.

Briquetas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona)

Las características métricas que presentaron las briquetas de aserrín de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) fueron: Peso promedio de 44.00 - 54.63 g, diámetro promedio de 3.22 - 3.87 cm, largo promedio de 6.36 - 7.12 cm y volumen promedio de 68.46 - 77.36 cm³; de igual manera precisando que los mayores valores en su mayoría corresponden al tamiz N° 07 y los menores al tamiz N° 45.

Briquetas de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco)

Las características métricas que presentaron las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) fueron: Peso promedio de 41.75 - 59.38 g, diámetro promedio de 3.20 - 3.88 cm, largo promedio de 5.91 - 7.08 cm y volumen promedio de 66.83 - 76.39 cm³; de igual manera precisando que los

mayores valores en su mayoría corresponden al tamiz N° 07 y los menores al tamiz N° 45.

Tabla 8

Características Métricas de las Briquetas de Aserrín de las Cinco Especies Forestales y Cuatro Granulometrías.

Especie	Tamiz	Estadig.	Peso (g)	Diam. (cm)	Largo (cm)	Volum. (cm^3)
Lupuna blanca	Tamiz N° 07	$\overline{X}$	37.20	3.93	6.04	74.53
		S	3.50	0.05	0.65	8.18
	Tamiz N° 10	$\overline{X}$	31.36	3.28	5.91	60.87
		S	1.77	0.06	0.12	1.89
	Tamiz N° 20	$\overline{X}$	35.01	3.46	5.59	60.97
		S	4.99	0.38	0.39	9.60
	Tamiz N° 45	$\overline{X}$	32.03	3.28	5.39	55.64
		S	11.86	0.05	1.41	15.04
	Tamiz	**Estadig.**	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Largo (cm)**	**Volum. (cm^3)**
Cumala	Tamiz N° 07	$\overline{X}$	42.31	3.87	6.05	73.53
		S	1.16	0.04	0.19	2.84
	Tamiz N° 10	$\overline{X}$	42.06	3.90	5.89	72.25
		S	2.02	0.03	0.14	2.00
	Tamiz N° 20	$\overline{X}$	36.52	3.84	5.52	66.54
		S	5.57	0.04	0.61	7.72
	Tamiz N° 45	$\overline{X}$	35.26	3.21	5.88	59.35
		S	11.67	0.01	0.57	5.76
	Tamiz	**Estadig.**	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Largo (cm)**	**Volum. (cm^3)**
Copaiba blanca	Tamiz N° 07	$\overline{X}$	48.03	3.82	6.15	73.81
		S	1.88	0.05	0.18	2.77
	Tamiz N° 10	$\overline{X}$	41.11	3.47	6.22	67.75
		S	7.31	0.28	0.90	10.30
	Tamiz N° 20	$\overline{X}$	41.18	3.52	5.42	59.65
		S	9.95	0.37	0.93	9.71
	Tamiz N° 45	$\overline{X}$	40.56	3.22	6.36	64.30
		S	4.70	0.05	0.36	4.01
	Tamiz	**Estadig.**	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Largo (cm)**	**Volum. (cm^3)**
Capirona	Tamiz N° 07	$\overline{X}$	44.00	3.26	7.12	73.03
		S	3.36	0.06	0.43	5.41
	Tamiz N° 10	$\overline{X}$	53.50	3.84	6.41	77.27
		S	4.75	0.03	0.34	4.45
	Tamiz N° 20	$\overline{X}$	54.62	3.87	6.36	77.36
		S	2.78	0.05	0.28	4.08
	Tamiz N° 45	$\overline{X}$	45.52	3.22	6.77	68.46
		S	1.06	0.02	0.23	2.52
	Tamiz	**Estadig.**	**Peso**	**Diam.**	**Largo**	**Volum.**

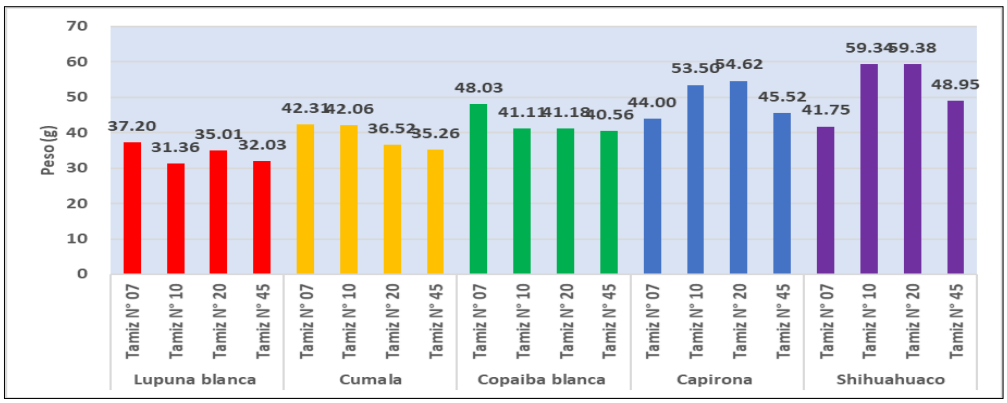
			(g)	(cm)	(cm)	(cm³)
	Tamiz	$\overline{X}$	41.75	3.24	6.56	66.83
	N° 07	S	2.69	0.04	0.41	4.62
	Tamiz	$\overline{X}$	59.34	3.88	6.27	76.39
Shihuahuaco	N° 10	S	3.25	0.05	0.26	4.09
	Tamiz	$\overline{X}$	59.38	3.83	5.91	71.03
	N° 20	S	3.46	0.03	0.36	4.60
	Tamiz	$\overline{X}$	48.95	3.20	7.08	71.24
	N° 45	S	2.54	0.04	0.27	3.58

4.3.1. Análisis del peso de las briquetas

En la tabla 8 y la figura 27 resume los resultados promedios de los pesos (Masas) diferentes, la variación de los pesos está estrechamente relacionados con los diferentes tamaños de moldes usados, con densidad de cada especie trabajada, con la morfología del aserrín, con la granulometría del aserrín y del porcentaje de aglutinante - aserrín. Las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) resultaron con un mayor peso promedio de 41.75 - 59.38 g, seguido de las briquetas de aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con un peso promedio de 44.00 - 54.63 g, seguido de las briquetas de aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con un peso promedio de 40.56 - 48.03 g, seguido de las briquetas de aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) con un peso promedio de 35.26 - 42.31 g y por ultimo las briquetas de aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) tuvo el menor peso promedio de 31.36 - 37.20 g.

Figura 27

Peso de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.

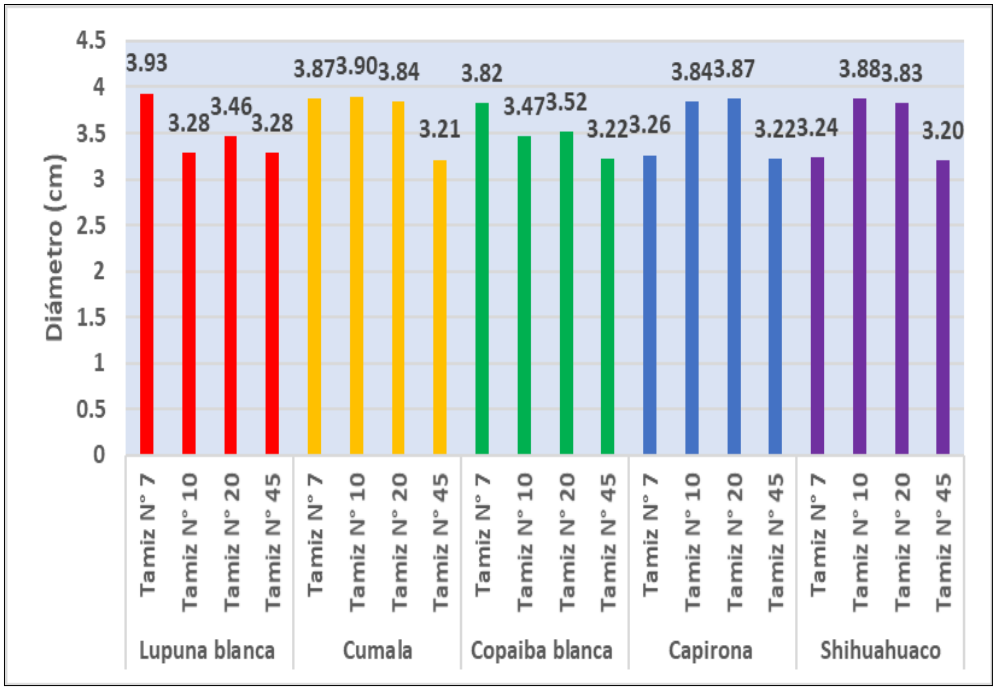


4.3.2. Análisis del diámetro de las briquetas

En la tabla 8 y la figura 28 resume los resultados promedios de los diámetros diferentes, la variación de los diámetros está estrechamente relacionados con los diferentes tamaños de moldes usados, con densidad de cada especie trabajada, con la morfología del aserrín, con la granulometría del aserrín y del porcentaje de aglutinante - aserrín. Las briquetas de aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) resultaron con un mayor diámetro promedio de 3.28 - 3.93 cm, seguido de las briquetas de aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) con un diámetro promedio de 3.21 - 3.90 cm, se guido de las briquetas de aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con un diámetro promedio de 3.22 - 3.87 cm, seguido de las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con un diámetro promedio de 3.20 - 3.88 g y por ultimo las briquetas de aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con un diámetro promedio de 3.22 - 3.82 cm.

Figura 28

Diámetro de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.

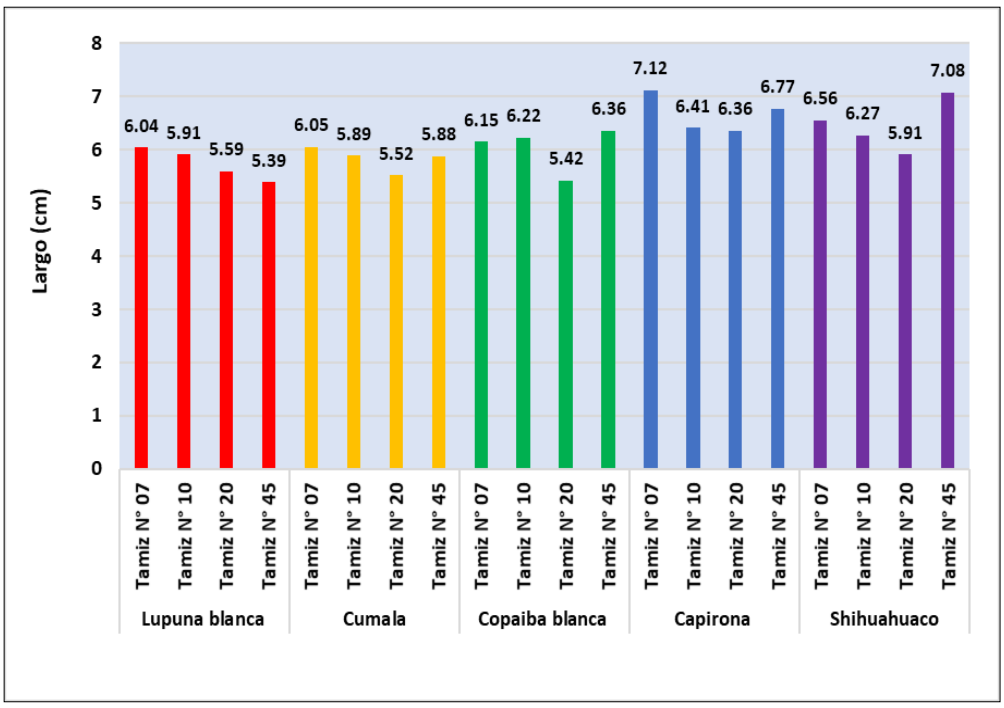


4.3.3. Análisis del largo (Longitud) de las briquetas

En la tabla 8 y la figura 29 resume los resultados promedio de los largos (Longitud) diferentes, la variación de los largos está estrechamente relacionados con los diferentes tamaños de moldes usados, con densidad de cada especie trabajada, con la morfología del aserrín, con la granulometría del aserrín y del porcentaje de aglutinante - aserrín. Las briquetas de aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) resultaron con un mayor largo promedio de 6.36 - 7.12 cm, seguido de las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con un largo promedio de 5.91 - 7.08 cm, seguido de las briquetas de aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con un largo promedio de 5.42 - 6.36 cm, seguido de las briquetas de aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) con un largo promedio de 5.52 - 6.05 cm y por ultimo las briquetas de aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) tuvo el menor largo promedio de 5.39 - 6.04 cm.

Figura 29

Largo de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.

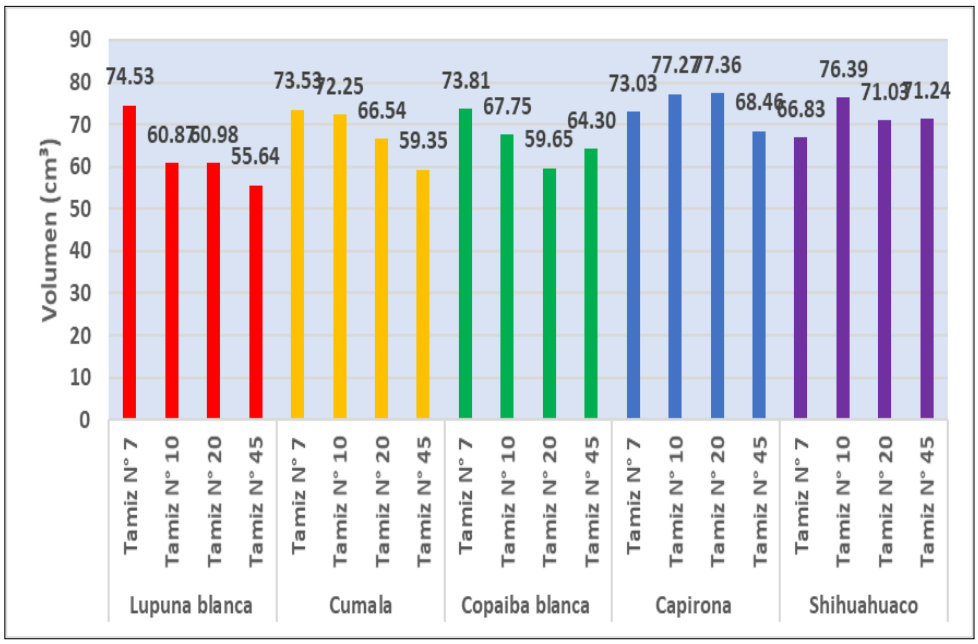


4.3.4. Análisis del volumen de las briquetas

En la tabla 8 y la figura 30 resume los resultados promedio de los volúmenes diferentes, la variación de los volúmenes está estrechamente relacionados con los diferentes tamaños de moldes usados, con densidad de cada especie trabajada, con la morfología del aserrín, con la granulometría del aserrín y del porcentaje de aglutinante - aserrín. Las briquetas de aserrín de la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) resultaron con un mayor volumen promedio de 68.46 - 77.36 cm³, seguido de las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con un volumen promedio de 66.83 - 76.39 cm³, seguido de las briquetas de aserrín de la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) con un volumen promedio de 59.65 - 73.81 cm³, seguido de las briquetas de aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala) con un volumen promedio de 59.35 - 73.53 cm³ y por ultimo las briquetas de aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) tuvo el menor volumen promedio de 55.64 - 74.53 cm³.

Figura 30

Volumen de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.



En el mercado se puede encontrar briquetas de material orgánico de diferentes dimensiones, según **Ortiz *et al* (1994)** afirma que los pellets son elementos densificados de forma cilíndrica con diámetros normalmente comprendidos entre 6 y 12 mm y longitudes de 10 a 30 mm. Tal es así que **Valderrama, A*. et al*. (2007)** Produjeron briquetas de tipo 1, tipo 2 y tipo 3 con diámetros y alturas de 2.5" x 2.5" (6.25 cm x 6.25 cm), de 3" X 3" (7.5 cm x 7.5 cm) y de 3.5" x 3.5" (8.75 cm x 8.75 cm) respectivamente; dimensiones que le dieron solidez a la masa compactada durante su extracción del molde. Por otro lado, indica que estas dimensiones requieren ser perforados para que durante la quema aprovechen el aire que fluya por los orificios para evitar la falta de ingreso de aire.

Las formas de las briquetas son muy variadas. Sin embargo, abundan las briquetas de forma cilíndrica., con diámetros entre los 2 y 20 cm y largos entre los 15 y 50 cm.

4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS BRIQUETAS DE ASERRÍN

4.4.1. Densidad de las briquetas

En la tabla 9 y la figura 31 se aprecia las densidades de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales estructurado granulométricamente con cuatro tamaños de partículas; así mismo muestra su respectiva desviación estándar (S).

Tabla 9

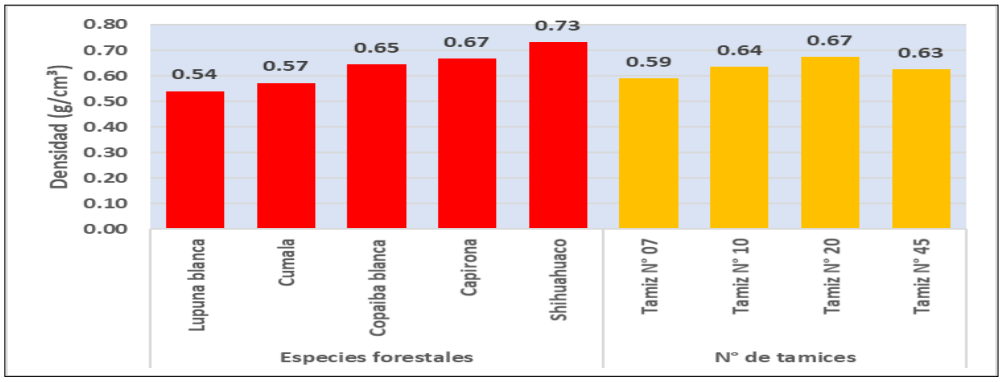
Densidad de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.

Densidad de las briquetas (g/cm³)							
N° de Tamiz	**Estad.**	**Lupuna blanca**	**Cumala**	**Copaiba blanca**	**Capirona**	**Shihuahuaco**	**$\overline{X}$/tamiz**
Tamiz	$\overline{X}$	0.50	0.58	0.65	0.60	0.62	**0.59**
N° 07	S	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	**0.02**
Tamiz	$\overline{X}$	0.52	0.58	0.61	0.69	0.78	**0.64**
N° 10	S	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	**0.03**
Tamiz	$\overline{X}$	0.58	0.55	0.69	0.71	0.84	**0.67**
N° 20	S	0.04	0.03	0.11	0.01	0.02	**0.04**
Tamiz	$\overline{X}$	0.56	0.58	0.63	0.67	0.69	**0.63**

N° 45	S	0.08	0.15	0.05	0.02	0.02	**0.06**
X̄/especie		**0.54**	**0.57**	**0.65**	**0.67**	**0.73**	

Figura 31

Densidad de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.



Para determinar si existen diferencias significativas entre las densidades de las briquetas de aserrín, debidos a los factores granulométricos (N° de tamiz) y especies forestales, se realizó el análisis de varianza de dos factores cuyos resultados lo detalla la tabla 10. Los resultados indican que existe diferencias significativas entre las densidades de las briquetas de aserrín elaborados con diferentes tamaños de partículas, seleccionadas con diferentes N° de tamiz y de igual manera existe diferencias altamente significativas entre las densidades de las briquetas de aserrín, debidos a las especies forestales.

Tabla 10

Análisis de la Varianza de las Densidades Básicas de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fobs	Probabilidad	Signif. *
Entre N° de tamiz	3	0.0580	0.0193	3.386	0.02108402	*
Entre especies	4	0.4664	0.1166	20.407	2.5773E-12	**
Interacción T x E	12	0.1083	0.0090	1.579	0.10977837	N.S.
Error	**100**	**0.5713**	**0.0057**	**3.386**		
Total	**119**	**1.2040**				

Para verificar entre que promedio de densidad de las briquetas de aserrín está las diferencias significativas debidos al tamaño de cribas de los tamices, se realizó la prueba de Tukey, cuyo resumen lo detalla la tabla 11.

Tabla 11

Resumen de la Prueba de Tukey de la Densidad de las Briquetas de Aserrín Debido al N° de Tamiz.

Densidad (g/cm³) según N° de tamiz			
Tamiz N° 20	**Tamiz N° 10**	**Tamiz N° 45**	**Tamiz N° 07**
0.67	0.64	0.63	0.59
A	A	A	
			B

La prueba de Tukey pone de manifiesto que no existe diferencias significativas entre las densidades de las briquetas elaboradas con partículas de aserrín obtenidas con los tamices N° 20, 10 y 45 (0.67, 0.64 y 0.63 g/cm³ respectivamente), las mismas que presentan densidades superiores y difieren significativamente de la densidad de las briquetas elaborada con partículas obtenidas con tamiz N° 07, resultando las briquetas de menor densidad (0.59 g/cm³), esta diferencia se debe tal vez a que se comprimieron aserrín o partículas de mayor tamaño y a la morfología del aserrín, a pesar que recibieron la misma presión en el proceso de su fabricación.

Así mismo, para verificar entre que promedio de densidad de las briquetas de aserrín está las diferencias significativas debidos a la especie forestal, se realizó la prueba de Tukey, cuyo resumen lo detalla la tabla 12.

Tabla 12

Resumen de la Prueba de Tukey de la Densidad de las Briquetas de Aserrín Debido a las Especies.

Densidad (g/cm³) según la especie				
Shihuahuaco	**Capirona**	**Copaiba blanca**	**Cumala**	**Lupuna blanca**
0.73	0.67	0.65	0.57	0.54
A				



La prueba de Tukey también pone de manifiesto que las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) es la que presenta la mayor densidad (0.73 g/cm³) y difiere significativamente de la densidad de las briquetas de las otras especies; del mismo modo se aprecia que no existe diferencias significativas entre las densidades de las briquetas elaboradas con partículas o aserrín de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) (0.67 y 0.65 g/cm³ respectivamente), las mismas que presentan densidades superiores y difieren significativamente de la densidad de las briquetas elaborada con partículas o aserrín de *Virola calophylla* (Cumala) y *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) (0.57 y 0.54 g/cm³ respectivamente), resultando las briquetas de menor densidad. Esta variación de densidades de las briquetas está relacionada estrechamente con la densidad de la madera de las especies forestales y la morfología del aserrín, a pesar que recibieron la misma presión en el proceso de su fabricación.

Una de las principales características de las briquetas es que son más densas frente a la madera sólida, con lo que facilita su transporte, manipuleo y su almacenaje, sin embargo, uno de sus inconvenientes es que es más cara que la madera sólida y requiere de un proceso industrial de fabricación **(Francisco M., 2013).** Por su parte **(Ortiz L., 2012),** menciona que en general, las densidades superan los 1000 kg/m³ e incluso los 1100 kg/m³, que son valores bastante elevados, teniendo en cuenta que la densidad teórica máxima alcanzable es de unos 1500 kg/m³ (Densidad de la fibra de madera 1560 kg/m³).

Las densidades de las briquetas obtenidas en el presente estudio, ninguno de las briquetas de aserrín sobrepasó los 1000 kg/m³ y si lo comparamos con los resultados de **(Ortiz L., 2012),** quienes encontraron materias primas que permitieron conseguir densidades por encima de 1.000 kg/m³, como los residuos industriales de aserrín,

viruta roja, y la corteza de pino, resultando briquetas de mayor calidad superficial.

Indica, además que la producción de briquetas con aserrín de Eucalipto fue muy baja, debido a que el aserrín seco del Eucalipto, es muy fibrosa y se apelmaza formando grumos o madejas que tienen muy baja densidad aparente (776 kg/m³). De esta forma, en la cámara de prensado entraba muy poco material en peso.

4.4.2. Contenido de humedad

En la tabla 13 y la figura 32 se aprecia los contenidos de humedad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales estructurado granulométricamente con cuatro tamaños de partículas; así mismo muestra su respectiva desviación estándar (S).

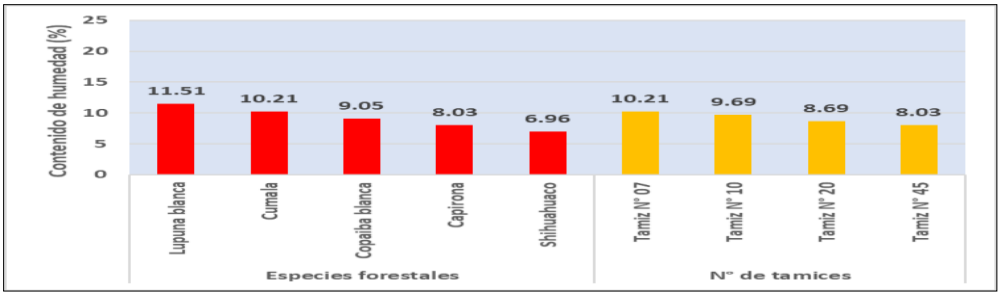
Tabla 13

Contenido de Humedad de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.

Contenido de humedad (%)							
N° de Tamiz	**Estad.**	**Lupuna blanca**	**Cumala**	**Copaiba blanca**	**Capirona**	**Shihuahuaco**	**$\overline{X}$/tamiz**
Tamiz N° 07	$\overline{X}$	12.60	11.39	10.03	9.02	8.00	**10.21**
	S	0.49	0.47	0.72	0.63	0.84	**0.63**
Tamiz N° 10	$\overline{X}$	11.96	10.76	9.65	8.58	7.50	**9.69**
	S	0.52	0.83	0.47	0.55	0.57	**0.59**
Tamiz N° 20	$\overline{X}$	11.01	9.69	8.68	7.54	6.51	**8.69**
	S	0.43	0.51	0.43	0.50	0.57	**0.49**
Tamiz N° 45	$\overline{X}$	10.47	9.01	7.83	6.99	5.83	**8.03**
	S	0.29	0.56	0.43	0.20	0.56	**041**
$\overline{X}$/especie		**11.51**	**10.21**	**9.05**	**8.03**	**6.96**	

Figura 32

Contenido de Humedad de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.



Para determinar si existen diferencias significativas entre los contenidos de humedad de las briquetas de aserrín, debidos a los factores granulométricos (N° de tamiz) y especies forestales, se realizó el análisis de varianza de dos factores cuyos resultados lo detalla la tabla 14. Los resultados indican que existe diferencias significativas entre las densidades de las briquetas de aserrín elaborados con diferentes tamaños de partículas, seleccionadas con diferentes N° de tamiz y de igual manera existe diferencias altamente significativas entre las densidades de las briquetas de aserrín, debidos a las especies forestales.

Tabla 14

Análisis de la Varianza de los Contenidos de Humedad de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fobs	Probabilidad	Signif. *
Entre N° de tamiz	3	84.74	28.247	93.11	7.8E-29	**
Entre especies	4	307.89	76.973	253.72	2.0E-51	**
Interacción T x E	12	0.44	0.036	0.12	1.0E+00	N.S.
Error	**100**	**30.34**	**0.303**			
Total	**119**	**423.41**				

Para verificar entre que contenido de humedad de las briquetas de aserrín está las diferencias significativas debidos al tamaño de cribas de los tamices, se realizó la prueba de Tukey, cuyo resumen lo detalla la tabla 15.

Tabla 15

Resumen de la Prueba de Tukey del Contenido de Humedad de las Briquetas de Aserrín debido al N° de Tamiz.

Contenido de humedad (%) según N° de tamiz			
Tamiz N° 07	**Tamiz N° 10**	**Tamiz N° 20**	**Tamiz N° 45**
10.21	9.69	8.69	8.03
A	A		
		B	B

La prueba de Tukey pone de manifiesto que no existe diferencias significativas entre los contenidos de humedad de las briquetas elaboradas con partículas de aserrín obtenidas con los tamices N° 07, 10, 20 y 45 (10.21, 9.69, 8.69 y 8.03 % respectivamente).

Así mismo, para verificar entre que promedio de contenido de humedad de las briquetas de aserrín está las diferencias significativas debidos a la especie forestal, se realizó la prueba de Tukey, cuyo resumen lo detalla la tabla 16.

Tabla 16

Resumen de la Prueba de Tukey del Contenido de Humedad de las Briquetas de Aserrín Debido a las Especies.

Contenido de humedad (%) según la especie				
Lupuna blanca	**Cumala**	**Copaiba blanca**	**Capirona**	**Shihuahuaco**
11.51	10.21	9.05	8.03	6.96
A				
	B			
		C		
			D	
				E

La prueba de Tukey también pone de manifiesto que las briquetas de aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) es la que presenta un mayor contenido de humedad (11.51 %) y difiere significativamente el contenido de humedad de las briquetas de las otras especies; del mismo modo se aprecia que existe diferencias significativas entre los contenidos de humedad de las briquetas elaboradas con partículas o aserrín de la *Virola calophylla* (Cumala), *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) y *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) (10.21, 9.05 y 8.03 % respectivamente), las mismas que presentan contenidos de humedad superiores y difieren significativamente del contenido de humedad de las briquetas elaborada con partículas o aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) (6.96 %), resultando las briquetas con menor contenido de humedad. Esta variación de contenidos de humedad de las briquetas está relacionada estrechamente con la densidad de la

madera de las especies forestales y la morfología del aserrín, a pesar que recibieron la misma presión en el proceso de su fabricación.

La explicación para no alcanzar una densidad de 1000 kg/m³, según **Ortiz L. (2012),** corresponde a las briquetas obtenidas a partir de productos cuyo contenido en humedad supera el 15 % de humedad, por lo que se confirma que este es el límite máximo aceptable para conseguir una densificación de alta calidad. Indica, además que la deshidratación producida durante el proceso de briqueteado alcanza valores comprendidos entre el 8 % y el 14 %. Así mismo, **Francisco M. (2013),** manifiesta que la humedad de la briqueta es función de la forma en que se suministre el producto. Como en el proceso de prensado que sufre la materia prima hasta convertirse en briqueta se suelen utilizar partículas secas (Humedad menor del 12 % base húmeda) y además en el mismo se seca aún más la partícula, al final la humedad de la briqueta resulta ser de una 8 - 10 % a la salida de la prensa.

4.4.3. Densidad aparente

La tabla 17 y la figura 33 muestran la densidad aparente de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales, en ellas se puede apreciar que las briquetas de aserrín de la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) es la que presenta una mayor densidad aparente con 485.56 kg/estéreo, conformado por 14323.35 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.78 (78 %) y 0.22 (22 %) de espacios vacíos, mientras que para obtener un metro cúbico real de briquetas se requiere de 1.30 estéreos.

Las briquetas de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) presentaron una densidad aparente con 646.86 kg/estéreo, conformado por 12354.01 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.77 (77 %) y 0.23 (23 %) de espacios vacíos.

Las briquetas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) presentaron una densidad aparente con 587.75 kg/estéreo, conformado por

11895.30 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.77 (77 %) y 0.23 (23 %) de espacios vacíos.

Las briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) presentaron una densidad aparente con 574.22 kg/estéreo, conformado por 13441.42 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.76 (76 %) y 0.24 (24 %) de espacios vacíos y la *Virola calophylla* (Cumala) es la que presento una menor densidad aparente con 485.44 kg/estéreo, conformado por 12434.30 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.75 (75 %) y 0.25 (25 %) de espacios vacíos, situación que está estrechamente con la densidad básica de la madera.

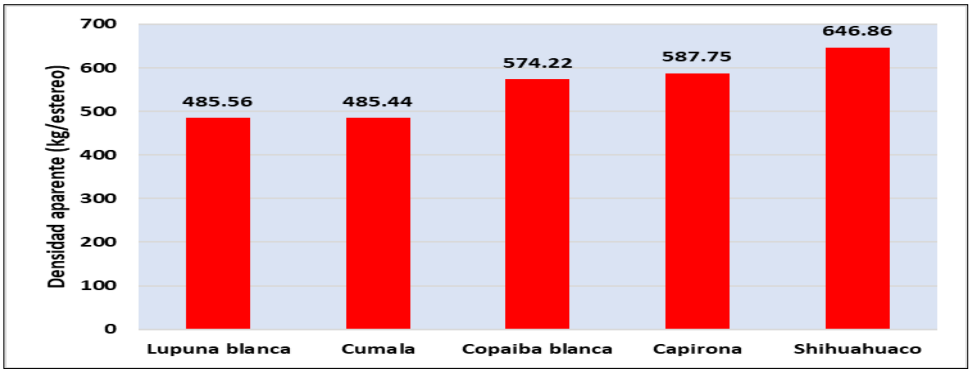
Tabla 17

Densidad Aparente de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.

Especie (Aserrín)	Coeficiente de apilamiento	Factor de apilamiento	N° de briquetas por estéreo	Peso de la briqueta por m³ (kg/estéreo)
Lupuna blanca	78	0.90	14323.35	485.56
Cumala	75	0.85	12434.30	485.44
Copaiba blanca	76	0.89	13441.42	574.22
Capirona	77	0.88	11895.30	587.75
Shihuahuaco	77	0.88	12354.01	646.86

Figura 33

Densidad Aparente de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometrías.



Así mismo el coeficiente de apilamiento y el número de briquetas por metro cúbico, están estrechamente relacionados con el tamaño de la probeta, por lo tanto, se deduce que a mayor tamaño de las briquetas menor es el coeficiente de apilamiento y menor el número de briquetas por metro cúbico. La **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (2012),** precisa que la densidad aparente de las briquetas está entre 700 - 800 kg/estéreo, superando inclusive al de la madera sólida, que se encuentra entre 350 - 400 kg/m³. En el caso de las briquetas de aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) (646.86 kg/estéreo) se podría decir que se ubica casi dentro del rango, y las briquetas de aserrín desde la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) (587.75 kg/estéreo), la *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) (574.22 kg/estéreo), la *Virola calophylla* (Cumala) (485.44 kg/estéreo) y la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) (485.56 kg/estéreo) se ubican debajo del rango 0.

4.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN

En la tabla 18 y en la figura 34 se presenta los resultados de la resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas.

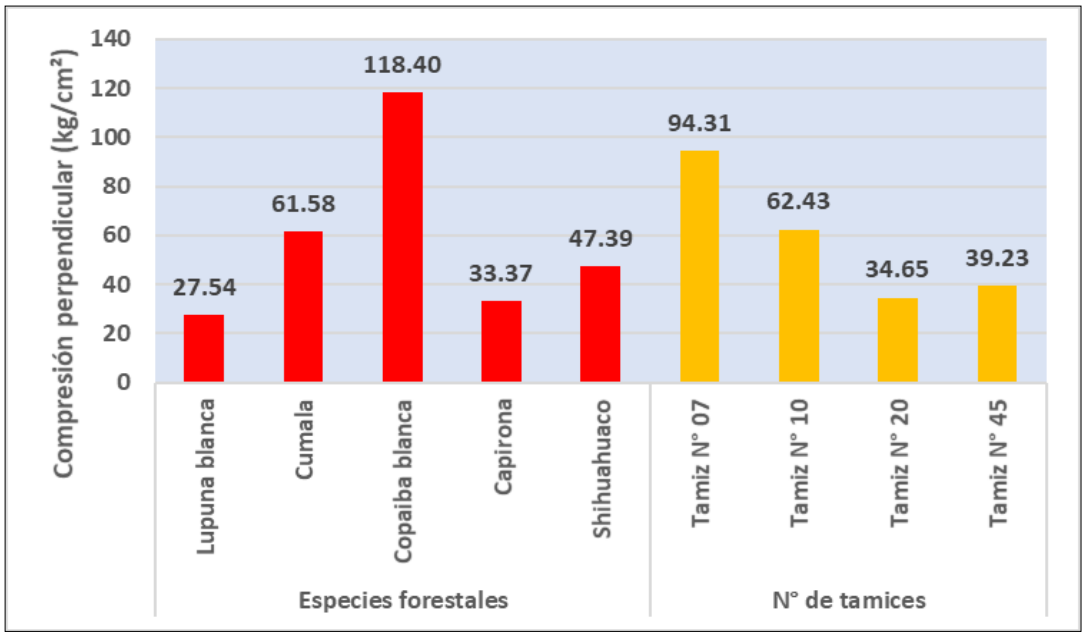
Tabla 18

Resistencia a la Compresión Perpendicular al eje Longitudinal de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.

Compresión perpendicular (kg/cm²)							
N° de Tamiz	**Estad.**	**Lupuna blanca**	**Cumala**	**Copaiba blanca**	**Capirona**	**Shihuahuaco**	**$\overline{X}$/tamiz**
Tamiz	$\overline{X}$	19.80	41.86	254.67	91.73	63.50	**94.31**
N° 07	S	4.09	31.18	23.35	10.13	22.38	**18.23**
Tamiz	$\overline{X}$	50.44	81.37	122.13	21.24	36.98	**62.43**
N° 10	S	5.99	40.06	20.99	9.86	21.59	**19.70**
Tamiz	$\overline{X}$	15.25	64.57	69.87	8.83	14.73	**34.65**
N° 20	S	14.15	21.81	16.47	0.52	7.29	**12.05**
Tamiz	$\overline{X}$	24.67	58.53	26.92	11.69	74.33	**39.23**
N° 45	S	2.06	14.65	15.92	4.46	7.94	**9.01**
$\overline{X}$/especie		**27.54**	**61.58**	**118.4**	**37.37**	**47.39**	

Figura 34

Resistencia a la Compresión Perpendicular al eje Longitudinal de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales y Cuatro Tipos de Granulometría.



Para determinar si existen diferencias significativas entre la resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas de aserrín, debidos a los factores granulométricos (N° de tamiz) y especies forestales, se realizó el análisis de varianza de dos factores cuyos resultados lo detalla la tabla 19.

Tabla 19

Análisis de la Varianza de las Compresiones Perpendiculares de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fobs	Probabilidad	Signif. *
Entre N° de tamiz	3	26328.2	8776.1	7.388	0.0004732	**
Entre especies	4	67920.7	16980.2	14.295	0.0000002	**
Interacción T x E	12	97770.3	8147.5	6.859	0.0000016	**
Error	**40**	**47515.0**	**1187.9**			
Total	**59**	**239534.3**				

Los resultados indican que existe una interacción altamente significativa entre los factores N° de tamiz y especies forestales, lo que no permite extraer ninguna conclusión del experimento, indicando que las briquetas que cada especie se comportan de manera diferente a la resistencia de la compresión perpendicular al eje longitudinal, lo que conllevó a analizar la compresión perpendicular de las briquetas por especie, cuyo resumen lo detalla la tabla 20.

Tabla 20

Resumen del Análisis de Varianza Unifactorial por Especie Forestal.

Especie	Fuente de variación	Fobs	Probabilidad	Signific.
Lupuna blanca	Entre tamices	0.342	0.7959	N.S.
Cumala	Entre tamices	0.876	0.493	N:S
Copaiba blanca	Entre tamices	77.608	2.96E-06	**
Capirona	Entre tamices	84.138	2.16E-06	**
Shihuahuaco	Entre tamices	7.980	0.0087	**

De los resultados de ANVA1 se desprende que no existe diferencias significativas en la resistencia a la compresión perpendicular al eje de las briquetas de aserrín de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) soportando una presión promedio de 27.54 kg/cm² y la de *Virola calophylla* (Cumala) 61.58 kg/cm², indicando que la resistencia a la compresión perpendicular son completamente homogéneas en las briquetas de estas dos especies, no existiendo influencia significativa del tamaño de las partículas en dicha resistencia. Las briquetas de la *Virola calophylla* (Cumala) y la *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) se puede considerar como briquetas de **baja resistencia** a la compresión perpendicular al eje longitudinal, aplicando los criterios cuantitativos establecidos para madera maciza señalada por **Sibille (2006).**

En las briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) presentaron diferencias altamente significativas en la resistencia a la compresión perpendicular al eje de las briquetas, dependiendo del tamaño de las cribas de los tamices. Para verificar entre que promedios de resistencia a la

compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas de aserrín de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) están las diferencias significativas, debidos al tamaño de cribas de los tamices, se realizó la prueba de Tukey, cuyo resumen lo detalla la tabla 21.

Tabla 21

Resumen de la Prueba de Tukey de la Compresión Perpendicular al Eje Longitudinal de las Briquetas de Aserrín Debido al Tamaño de Criba de los Tamices.

Compresión perpendicular (kg/cm²)				
	Tamiz 07	Tamiz 10	Tamiz 20	Tamiz 45
	254.67	122.13	69.87	26.92
Copaiba blanca	A			
		B		
			C	
				D
	Tamiz 07	Tamiz 10	Tamiz 45	Tamiz 20
	91.73	21.24	11.69	8.83
Capirona	A			
		B	B	B
	Tamiz 45	Tamiz 07	Tamiz 10	Tamiz 20
	74.33	63.50	36.98	14.73
Shihuahuaco	A	A		
			B	
				C

La prueba de Tukey pone de manifiesto que las briquetas de aserrín de la especie *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) presentaron diferencias altamente significativas entre los cuatro tamaños de partículas, presentando mayor resistencia a la compresión perpendicular las briquetas obtenidos con partículas que atravesaron el tamiz N° 07 soportando una carga promedio de 254.67 kgf/cm², seguidos de las partículas que pasaron por el tamiz N° 10 que soportaron una carga promedio de 122.13 kgf/cm², luego las briquetas de partículas que pasaron por el tamiz N° 20 que soportaron una carga promedio de 69.87 kgf/cm² y finalmente las briquetas las que se fabricaron con partículas del tamiz N° 45 fueron las que presentaron menor resistencia a la

compresión perpendicular soportando una presión promedio de solo 26.92 kgf/cm².

Con respecto a las briquetas de la especie *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) obtenidas con partículas del tamiz N° 07 fueron las que presentaron mayor resistencia a la compresión perpendicular con un promedio de 91.73 kgf/cm², siendo superior y difiriendo significativamente del resto de briquetas fabricadas con partículas obtenidas con tamices N° 10, 45 y 20, entre las cuales no presentaron diferencias significativas en la resistencia a la compresión perpendicular cuyos valores fueron 21.24, 11.69 y 8.83 kgf/cm² respectivamente.

En las briquetas de aserrín del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) no se encontró diferencias significativas en la resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal entre las briquetas obtenidas con partículas obtenidas con tamices N° 45 y 07 cuyos valores fueron 74.33 y 63.50 kgf/cm² respectivamente, siendo superiores y difiriendo significativa de las briquetas fabricados con partículas de tamices N° 10 y 20, mientras que las briquetas obtenidas con tamiz N° 10 (36.98 kgf/cm²) difiere de las briquetas fabricadas con tamiz N° 20 (14.73 kgf/cm²).

De los resultados se deduce que, a mayor tamaño de partículas, mayor es la resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal de las briquetas, por la multidireccionalidad de las fibras. Por lo tanto, de manera referencial se le aplicó los criterios cuantitativos establecidos para madera maciza y señalada por **Sibille (2006),** considerando las briquetas de aserrín de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) se pueden considerar como briquetas de **mediana resistencia** a la compresión perpendicular al eje longitudinal.

4.6. PODER CALÓRICO SUPERIOR DE BRIQUETAS DE ASERRÍN

En la tabla 22 y la figura 35 se aprecia el poder calórico superior de las briquetas de aserrín por especie y número de tamiz.

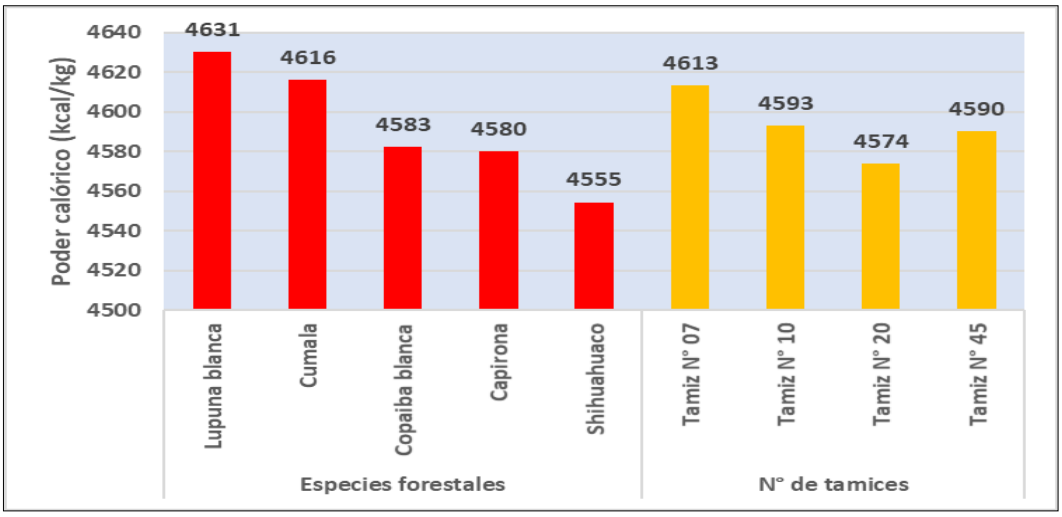
Tabla 22

Resumen del Poder Calórico Superior de las Briquetas por Especie y por Número de Tamiz.

Poder calórico (kcal/kg)							
N° de Tamiz	**Estad.**	**Lupuna blanca**	**Cumala**	**Copaiba blanca**	**Capirona**	**Shihuahuaco**	**$\overline{X}$/tamiz**
Tamiz N° 07	$\overline{X}$	4651	4622	4588	4605	4601	**4613**
	S	10.24	5.41	7.02	3.51	3.51	**5.94**
Tamiz N° 10	$\overline{X}$	4646	4615	4600	4570	4536	**4593**
	S	8.24	11.84	8.87	9.54	8.14	**9.33**
Tamiz N° 20	$\overline{X}$	4615	4629	4553	4565	4508	**4574**
	S	10.75	11.38	35.53	4.30	4.12	**13.22**
Tamiz N° 45	$\overline{X}$	4610	4599	4589	4580	4574	**4590**
	S	9.29	48.97	14.21	3.51	7.34	**16.66**
$\overline{X}$/especie		**4631**	**4616**	**4583**	**4580**	**4555**	

Figura 35

Poder Calórico de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.



Para determinar si existen diferencias significativas entre el poder calórico superior de las briquetas de aserrín, debidos a los factores granulométricos (N° de tamiz) y especies forestales, se realizó el análisis de varianza de dos factores cuyos resultados lo detalla la tabla 23, donde se aprecia que existe una interacción altamente significativa entre los factores N° de tamiz y especies forestales, lo que no permite extraer ninguna conclusión del experimento, indicando que las briquetas de cada especie forestal se comporta de manera de manera diferente en la liberación del poder calórico superior (PCS), lo que conllevó a analizar el PCS de las briquetas por especie, cuyo resumen lo detalla la tabla 24.

Tabla 23

Análisis de la Varianza de los Poderes Calóricos de las Briquetas de Aserrín de Cinco Especies Forestales.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fobs	Probabilidad	Signif. *
Entre N° de tamiz	3	15805.3	5268.4	21.295	1.63E-09	**
Entre especies	4	59049.0	14762.2	59.668	3.06E-20	**
Interacción T x E	12	20979.1	1748.3	7.066	8.36E-08	**
Error	**60**	**14844.3**	**247.4**			
Total	**79**	**110677.7**				

De los resultados den ANVA1 se desprende que el poder calórico superior de las briquetas de aserrín de *Virola calophylla* (Cumala) es completamente homogéneo no influyendo el tamaño de las cribas de los tamices en el PCS. En las briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) existe diferencias significativas, entre tanto en las briquetas de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca), *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) presentaron diferencias altamente significativas en el poder calórico superior dependiendo del tamaño de las cribas de los tamices.

Tabla 24

Resumen del Análisis de Varianza Unifactorial del Poder Calórico por Especie Forestal.

Especie	Fuente de variación	Fobs	Probabilidad	Signific.
Lupuna blanca	Entre tamices	18.805	7.9E-05	**
Cumala	Entre tamices	0.9736	0.437	N:S
Copaiba blanca	Entre tamices	4.262	0.029	*
Capirona	Entre tamices	39.227	1.8E-06	**
Shihuahuaco	Entre tamices	182.72	2.81E-10	**

Para verificar entre que promedios del poder calórico superior (PCS) de las briquetas de aserrín está las diferencias significativas debidos al tamaño de las cribas de los tamices en cada especie forestal, se realizó la prueba de Tukey, cuyo resumen lo detalla la tabla 25.

Tabla 25

Resumen de la Prueba de Tukey del Poder Calórico de las Briquetas de Aserrín Debido a las Especies.

Poder calórico superior (kilocalorías/kilo)				
	Tamiz 07	Tamiz 10	Tamiz 20	Tamiz 45
Lupuna blanca	4651	4646	4615	4610
	A	A		
			B	B
	Tamiz 10	Tamiz 45	Tamiz 07	Tamiz 20
Copaiba blanca	4600	4589	4588	4553
	A	A	A	
				B
	Tamiz 07	Tamiz 45	Tamiz 10	Tamiz 20
Capirona	4605	4580	4570	4565
	A			
		B	B	
			C	C
	Tamiz 07	Tamiz 45	Tamiz 10	Tamiz 20
Shihuahuaco	4601	4574	4536	4508
	A			
		B		
			C	
				D

La prueba de Tukey pone de manifiesto que en las briquetas de aserrín de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) no existe diferencias significativas en el poder calórico superior entre las briquetas fabricados con partículas que atravesaron el tamiz N° 07 y N° 10 y estos son superiores al poder calórico superior de las briquetas obtenidas con tamiz N° 20 y N° 45, deduciéndose que las briquetas de partículas más gruesas presentan mayor PCS que de partículas finas. La *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) es la que presenta el mayor poder calórico promedio de (4630 kcal/kg).

Así mismo las briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) no existe diferencias significativas en el poder calórico superior entre las briquetas fabricados con partículas que atravesaron el tamiz N° 07 y N° 20 y estos son superiores al poder calórico superior de las briquetas obtenidas con tamiz N° 10 y N° 45, deduciéndose que las briquetas de partículas más gruesas presentan mayor PCS que de partículas finas. De la *Copaifera*

paupera (Copaiba blanca) se obtuvo un poder calórico promedio de (4583 kcal/kg).

Así mismo las briquetas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) existe diferencias significativas en el poder calórico superior entre las briquetas fabricados con partículas que atravesaron el tamiz N° 07 este es superior al poder calórico superior de las briquetas obtenidas con tamiz N° 45, 10 y 20, deduciéndose que las briquetas de partículas más gruesas presentan mayor PCS que de partículas finas. De la *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) se obtuvo un poder calórico promedio de (4580 kcal/kg).

Y por último las briquetas del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) existe diferencias significativas en el poder calórico superior entre las briquetas fabricados con partículas que atravesaron el tamiz N° 07, 45, 10, 20, deduciéndose que las briquetas de partículas más gruesas presentan mayor PCS que de partículas finas. Del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) se obtuvo un poder calórico promedio de (4555 kcal/kg).

H. Martins (1990). Menciona que el poder calorífico, entre más contenido de aserrín presente en la mezcla, mayor será el poder calorífico de la briqueta. Cabe resaltar que las briquetas con porcentajes de 90% y 100% de estiércol están por debajo del mínimo requerido por la norma NTC 2060 para briquetas no hechas a base de carbón que es de 12500 kJ/kg.

Lo mencionado **H. Martins (1990).** Podemos corroborar ya que las briquetas que se fabricaron con tamices número 07 y 10 resultaron con mayor poder calórico debido a el porcentaje de aglutinante se utilizó el 30 % del peso del aserrín a diferencia de las briquetas que se fabricaron con tamices números 20 y 45 el porcentaje de aglutinante que se utilizo fue del 60 % del peso del aserrín.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En base a los estudios realizados se llega a las siguientes conclusiones:

- Cuando la densidad de la madera es menor en el proceso de aserrío se obtiene mayor porcentaje de partículas gruesas y menor porcentaje de partículas finas a diferencia de las maderas de mayor densidad, sucede lo contrario se obtiene menor porcentaje de partículas gruesas y mayor porcentaje de partículas finas.

- Según las características **granulométricas** que presentaron una mayor resistencia al momento de la compresión perpendicular y poder calórico superior fueron las muestras con tamices número 07 (2.80 mm) y 10 (2.00 mm).

- Las características **morfológicas** que presentaron las partículas de aserrín de cinco especies forestales, empleando cuatro números de tamices y con un aumento de 10X se obtuvo diferentes formas. Según la tabla de determinación de la forma de las partículas, con gráficos de esfericidad y redondez, se obtuvieron distintas formas de las partículas o aserrín de cinco especies forestales cuya redondez variaba dependiendo de la especie de 0.3, 0.5 y 0.7 y esfericidad de 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9.

- Las briquetas de aserrín según el número de tamiz presentaron diferencias significativas en cuanto a la **densidad básica**, las briquetas obtenidas con tamiz N° 10, 20 y 45 no presentaron diferencias significativas variando de 0.67. 0.64 y 0.63 g/cm³ respectivamente, difiriendo significativamente de la densidad básica de las briquetas obtenida con partículas de tamiz 07, cuya densidad básica fue 0.59 g/cm³. También se encontró diferencias altamente significativas en la densidad básica de las briquetas de aserrín resultando el Shihuahuaco las más densas 0.73 g/cm³, seguido de las briquetas de Capirona y las de Copaiba blanca con 0.67 y 0.65 g/cm³ respectivamente y

finalmente las briquetas de aserrín menos densas fueron las de Cumala y de Lupuna blanca con 0.57 y 0.54 g/cm³ respectivamente.

- El **contenido de humedad** de las briquetas de aserrín según el número de tamices fue: 07, 10, 20 y 45 (10.21, 9.69, 8.69 y 8.03 % respectivamente) y según las especies forestales la especie que presento el mayor contenido de humedad fue la Lupuna blanca con 11.51 %, seguido de la Cumala, Copaiba blanca y la Capirona con (10.21, 9.05 y 8.03 % respectivamente) y la que presento menor contenido de humedad fue las briquetas de aserrín del Shihuahuaco con 6.96 %.

- Las briquetas de aserrín realizadas con el tamiz N° 07 fue la que soporto una mayor resistencia al momento de la **compresión perpendicular** con un promedio de 136.63 kg/cm², seguido de los tamices N° 10 y 45 con un promedio de (60.12 y 37.65 kg/cm² respectivamente) y la que soporto una menor resistencia al momento de la compresión perpendicular fue con el tamiz N° 20 con un promedio de (31.14 kg/cm²) y según las especies forestales la que presento una mayor resistencia fue la Copaiba blanca, seguido del Shihuahuaco y la que presento una menor resistencia a la compresión fue la Capirona. La Lupuna blanca, Capirona y Shihuahuaco, se puede considerar como briquetas de baja resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal, mientras que las briquetas de Cumala y Copaiba blanca se puede considerar como briquetas de mediana o alta resistencia a la compresión perpendicular al eje longitudinal.

- Las briquetas de aserrín hechas con el tamiz N° 07 fueron las que obtuvieron un mayor **poder calórico superior** con un promedio de 4611 kcal/kg, seguido de las briquetas con los tamices N° 10 y 45 con un promedio de (4588 kcal/kg para ambos) y la que presento un menor poder calórico superior fue con el tamiz N° 20 con un promedio de 4560 kcal/kg) y según las especies forestales la Lupuna blanca fue la que presento un mayor PCS con 4631 kcal/kg, seguido de las especie de Cumala, Copaiba blanca y Capirona con (4616, 4583 y 4580 kcal/kg respectivamente) y la especie que presento un menor PCS fue el Shihuahuaco con 4555 kcal/kg.

5.2. RECOMENDACIONES

Para la elaboración de las briquetas de aserrín es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- En la ciudad de Pucallpa el aserrín se constituye como un residuo contaminante de los suelos y agua de los ríos, por lo que se recomienda a utilizar como materia prima de otros productos a base del aserrín como abonos orgánicos, melamina, etc.
- El aglutinante (Almidón de yuca) debe estar bien molido, de tal manera que cuando se prepara forme una masa uniforme y pueda mezclarse con el aserrín de madera fácilmente.
- Los instrumentos de medida deben estar calibrados y sin ningún tipo de deficiencia.
- Durante la cocción del aglutinante de yuca y agua, se debe estar en constante movimiento, para ayudar a la uniformidad de cocción de las partículas.
- Después del moldeado, el secado de la briqueta debe hacerse tres días como mínimo para poder tener un secado uniforme y homogéneo, si es el caso de industrializar las briquetas se recomienda ponerlos en una cámara secadora para su prontitud.
- Para futuras investigaciones se debe considerar determinar el tamaño de las partículas de la materia prima, ya que según bibliografía influye en las propiedades de la briqueta, es por eso que a menor tamaño el residuo no se comprime muy bien.
- Desde el punto de vista energético las briquetas son competitivas en el mercado, sin embargo, es necesario conocer la rentabilidad de la producción de briquetas, ya que los costos de producción podrían imposibilitar la inclusión de este producto al mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **WIKIPEDIA. 2011.** Serrín. Visto el 20 de diciembre del 2013. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Serr%C3%ADn

- **Basaure, Patricio. 2008.** Aserrín de madera / composta. Visto el 12 de diciembre del 2011. Disponible en: http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/16676.html. Chile.

- **Ortiz L, Tejada A, Vásquez A Y Piñeiro G. 1994.** Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena Monte - Industria de Galicia. (PROFIT) del Ministerio de Ciencia y tecnología. Revista CIS-Madera. 17 - 32 p. en: http www.cismadera.com/galego/downloads/biomasa3.pdf (Consulta: 28 Ene 2008) 17-32 pág.

- **CUBASOLAR.** Combustibles sólidos de baja densidad. La densificación de la biomasa: briquetas, pellets, pacas (Segunda parte) En: http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm - 14k - (Consulta: 23 febrero 2008).

- **EMBACUBA.** Cuba y la UNESCO > Ciencia > PO: Energía XXI. Ministerio de Relaciones Exteriores de la República de Cuba. Copyright © 2006. En: http//embacuba.cubaminrex.cu/Default.aspx?tabid=5682 - 44k - (Consulta: 19 Feb 2008).

- **Janczak, J. 1981.** Técnicas simples para la obtención de combustibles básicos. FAO. Fuentes de energías nuevas y renovables.

- **Arostegui, A. 1982.** Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. PNUD/FAO/PER/ 81/002. Lima - Perú. 57p.

- **Kollman, f. 1959.** Tecnología de la madera y sus aplicaciones traducción de la Segunda Edición. Ministerio de Agricultura - Instituto Forestal de investigación. Experiencia y Servicios de la madera. Madrid - España. 675 p.

- **CITEMADERA Y CAMARA NACIONAL FORESTAL. 2008.** Compendio de información técnica de 32 especies forestales. Tomo II. Visto el 29 de enero del

2012. Disponible en: http://es.scribd.com/doc/46674457/24/QUINILLA-COLORADA.

- **CONFEDERACIÓN PERUANA DE LA MADERA, (2008).** Compendio de Información Técnica de 32 Especies Forestales. Tomo II.
- **Flores, R. 1997.** Diagnostico del Sector Industrial Forestal. San José, Costa Rica. 116 pp.
- **Carvalho 1994.** Especies forestales de Brasil: recomendaciones de silvicultura y uso potencial de la madera. Brasilia: EMBRAPA, 640p.
- **Pedroni, L. 1992.** Diagnostico Forestal de Costa Rica y propuestas de Trabajo. UICN/ORCA. San José, Costa Rica. 261 pp.
- En:http://www.fao.org/docrep/p2070s/p2070s06.htm-38k-consulta: 30 Ene 2008) 9 p.
- **NTP. 1980.** Norma Técnica Nacional. Método de determinación del contenido de humedad. Norma 251.010. Lima – Perú. 2p
- **Regalado S. 2007.** Nuevo proyecto para utilizar el aserrín de forma ecológica, Visto el 20 de diciembre del 2013, Disponible en: http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2007-07-31/nuevo-proyecto-para-utilizar-el-aserrin-de-forma-ecologica/
- **ABYPER,** Maquinaria. Comparación de tecnologías de Prensas briqueteadoras < http://www.abyper.com.ar/assets/img/main/Comparacion-de-Tecnologias-de-Prensas-Briqueteadoras.pdf>[en línea] [consulta Noviembre 2015]
- **Francisco, M. 2013.** Función de la humedad en las briquetas de aserrín. En lína con www.tareafacil.com.ar.
- **Ortiz, L. 2012.** Densidades de diferentes materiales orgánicos. En línea con www.monografias.com.
- **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (2012).** utilización energética de la biomasa en

líneaconhttps://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/428/51973/1/documento3.pdf.

- https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1458588/1.%20%20Compendio%20de%20informaci%C3%B3n%20tecnica%20de%2032%20especies%20Forestales%20Tomo%20I.pdf.pdf
- **H. Martins. 1990.** "Uso de Madeira para fins energético". Belo Horizonte.
- **Hernández Avilés, J. R. (2011).** Estudio técnico para lo obtención de briquetas de fácil encendido a partir de carbón de la cascarilla de palma africana y su producción en la empresa TYSAI S.A. (Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1740/1/85T00188.pdf
- **Sibille 2006.** Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera.

ANEXOS

ANEXO 01

Tabla de las características de briqueteado de aserrín de cinco especies forestales.

***Ceiba pentandra* (Lupuna blanca)**							
	Muestra	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Radio (cm)**	**Largo (cm)**	**Volu. (cm^3)**	**□ (g/cm^3)**
Tamiz N° 07	1	37.27	3.91	1.96	5.76	70.81	0.53
	2	41.43	3.96	1.98	6.71	83.57	0.50
	3	40.72	3.92	1.96	7.02	86.38	0.47
	4	32.99	3.97	1.99	5.57	69.48	0.47
	5	37.23	3.96	1.98	5.53	68.78	0.54
	6	33.56	3.83	1.91	5.67	68.16	0.49
Sumatoria		**223.19**	**23.55**	**11.78**	**36.26**	**447.17**	**3.00**
Promedio		**37.20**	**3.93**	**1.96**	**6.04**	**74.53**	**0.50**
Tamiz N° 10	1	33.52	3.33	1.66	5.87	61.37	0.55
	2	30.40	3.24	1.62	5.84	59.38	0.51
	3	32.96	3.33	1.66	5.99	62.52	0.53
	4	29.54	3.23	1.61	5.73	58.10	0.51
	5	32.27	3.34	1.67	6.01	63.10	0.51
	6	29.50	3.20	1.60	6.04	60.76	0.49
Sumatoria		**188.17**	**19.66**	**9.83**	**35.48**	**365.23**	**3.09**
Promedio		**31.36**	**3.28**	**1.64**	**5.91**	**60.87**	**0.52**
Tamiz N° 20	1	41.23	3.90	1.95	5.61	68.69	0.60
	2	41.64	4.01	2.01	6.05	76.18	0.55
	3	31.10	3.18	1.59	5.91	59.10	0.53
	4	31.97	3.24	1.62	5.01	51.00	0.63
	5	31.65	3.25	1.63	5.26	53.76	0.59
	6	32.51	3.20	1.60	5.68	57.13	0.57
Sumatoria		**210.08**	**20.79**	**10.39**	**33.51**	**365.85**	**3.46**
Promedio		**35.01**	**3.46**	**1.73**	**5.59**	**60.97**	**0.58**
Tamiz N° 45	1	40.88	3.29	1.64	6.59	68.04	0.60
	2	40.63	3.30	1.65	6.61	68.41	0.59
	3	38.22	3.35	1.67	5.66	59.49	0.64
	4	38.90	3.31	1.65	6.19	64.28	0.61
	5	16.16	3.21	1.60	3.39	34.11	0.47
	6	17.39	3.23	1.61	3.90	39.47	0.44
Sumatoria		**192.19**	**19.67**	**9.83**	**32.33**	**333.81**	**3.36**
Promedio		**32.03**	**3.28**	**1.64**	**5.39**	**55.64**	**0.56**

Virola calophylla (Cumala)							
	Muestra	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Radio (cm)**	**Largo (cm)**	**Volu. (cm^3)**	**□ (g/cm^3)**
Tamiz N° 07	1	42.92	3.83	1.92	5.91	71.16	0.60
	2	41.68	3.89	1.95	6.20	75.84	0.55
	3	40.55	3.85	1.93	5.76	69.72	0.58
	4	42.50	3.80	1.90	6.13	73.26	0.58
	5	42.20	3.90	1.95	6.03	73.81	0.57
	6	44.00	3.92	1.96	6.29	77.38	0.57
Sumatoria		**253.85**	**23.19**	**11.60**	**36.33**	**441.18**	**3.45**
Promedio		**42.31**	**3.87**	**1.93**	**6.05**	**73.53**	**0.58**
Tamiz N° 10	1	40.79	3.87	1.93	5.76	69.92	0.58
	2	41.05	3.87	1.93	5.88	71.38	0.57
	3	39.92	3.91	1.95	5.97	73.33	0.54
	4	44.34	3.95	1.98	5.88	72.93	0.61
	5	41.47	3.92	1.96	6.11	75.33	0.55
	6	44.83	3.90	1.95	5.76	70.61	0.63
Sumatoria		**252.39**	**23.41**	**11.71**	**35.36**	**433.52**	**3.50**
Promedio		**42.06**	**3.90**	**1.95**	**5.89**	**72.25**	**0.58**
Tamiz N° 20	1	36.49	3.85	1.92	5.68	68.70	0.53
	2	40.26	3.85	1.92	5.73	69.23	0.58
	3	35.32	3.80	1.90	5.78	69.06	0.51
	4	39.95	3.85	1.93	5.92	71.61	0.56
	5	40.98	3.89	1.94	5.71	69.70	0.59
	6	26.12	3.78	1.89	4.29	50.92	0.51
Sumatoria		**219.11**	**23.01**	**11.51**	**33.11**	**399.22**	**3.28**
Promedio		**36.52**	**3.84**	**1.92**	**5.52**	**66.54**	**0.55**
Tamiz N° 45	1	26.61	3.23	1.61	5.58	56.48	0.47
	2	15.99	3.21	1.60	4.92	49.52	0.32
	3	38.28	3.21	1.60	5.83	58.74	0.65
	4	40.04	3.22	1.61	6.27	63.34	0.63
	5	45.14	3.21	1.61	6.25	63.04	0.72
	6	45.52	3.20	1.60	6.47	64.95	0.70
Sumatoria		**211.56**	**19.26**	**9.63**	**35.31**	**356.08**	**3.49**
Promedio		**35.26**	**3.21**	**1.61**	**5.88**	**59.35**	**0.58**

Copaifera paupera (Copaiba blanca)							
	Muestra	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Radio (cm)**	**Largo (cm)**	**Volu. (cm^3)**	**□ (g/cm^3)**
Tamiz N° 07	1	48.46	3.83	1.92	6.25	75.29	0.64
	2	45.65	3.85	1.92	5.92	71.56	0.64
	3	50.52	3.85	1.92	6.33	76.48	0.66
	4	48.27	3.89	1.95	6.29	76.87	0.63
	5	46.03	3.76	1.88	5.95	70.26	0.66
	6	49.25	3.76	1.88	6.13	72.40	0.68
Sumatoria		**288.19**	**22.94**	**11.47**	**36.87**	**442.86**	**3.91**
Promedio		**48.03**	**3.82**	**1.91**	**6.15**	**73.81**	**0.65**
Tamiz N° 10	1	48.12	3.83	1.92	6.16	74.17	0.65
	2	48.53	3.84	1.92	6.16	74.30	0.65
	3	43.67	3.29	1.64	6.84	70.65	0.62
	4	38.10	3.27	1.63	7.09	72.76	0.52
	5	39.10	3.28	1.64	6.53	67.20	0.58
	6	29.14	3.32	1.66	4.55	47.44	0.61
Sumatoria		**246.65**	**20.82**	**10.41**	**37.34**	**406.52**	**3.64**
Promedio		**41.11**	**3.47**	**1.73**	**6.22**	**67.75**	**0.61**
Tamiz N° 20	1	35.80	3.18	1.59	6.28	62.76	0.57
	2	25.20	3.17	1.58	4.07	40.48	0.62
	3	38.25	3.18	1.59	6.63	66.31	0.58
	4	50.15	3.86	1.93	5.37	65.06	0.77
	5	47.41	3.83	1.92	4.91	59.12	0.80
	6	50.26	3.87	1.94	5.27	64.16	0.78
Sumatoria		**247.08**	**21.09**	**10.55**	**32.54**	**357.90**	**4.13**
Promedio		**41.18**	**3.52**	**1.76**	**5.42**	**59.65**	**0.69**
Tamiz N° 45	1	32.85	3.18	1.59	5.89	58.73	0.56
	2	44.99	3.27	1.63	6.66	68.37	0.66
	3	43.22	3.27	1.64	5.98	61.55	0.70
	4	38.95	3.17	1.59	6.30	62.83	0.62
	5	38.55	3.17	1.58	6.56	65.34	0.59
	6	44.79	3.26	1.63	6.73	68.99	0.65
Sumatoria		**243.34**	**19.32**	**9.66**	**38.13**	**385.80**	**3.78**
Promedio		**40.56**	**3.22**	**1.61**	**6.36**	**64.30**	**0.63**

Calycophyllum spruceanum (Capirona)							
	Muestra	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Radio (cm)**	**Largo (cm)**	**Volu. (cm^3)**	**□ (g/cm^3)**
Tamiz N° 07	1	43.00	3.29	1.65	7.13	73.72	0.58
	2	48.26	3.31	1.65	7.55	78.43	0.62
	3	41.26	3.32	1.66	7.13	74.22	0.56
	4	48.26	3.28	1.64	7.63	78.68	0.61
	5	41.27	3.19	1.59	6.62	66.33	0.62
	6	41.93	3.20	1.60	6.65	66.82	0.63
Sumatoria		**263.99**	**19.58**	**9.79**	**42.71**	**438.20**	**3.62**
Promedio		**44.00**	**3.26**	**1.63**	**7.12**	**73.03**	**0.60**
Tamiz N° 10	1	47.91	3.80	1.90	6.12	73.09	0.66
	2	60.15	3.87	1.93	6.93	84.19	0.71
	3	58.06	3.83	1.92	6.64	79.99	0.73
	4	49.70	3.82	1.91	6.01	72.21	0.69
	5	52.24	3.82	1.91	6.38	76.51	0.68
	6	52.96	3.87	1.94	6.38	77.61	0.68
Sumatoria		**321.01**	**23.01**	**11.51**	**38.47**	**463.61**	**4.15**
Promedio		**53.50**	**3.84**	**1.92**	**6.41**	**77.27**	**0.69**
Tamiz N° 20	1	53.86	3.84	1.92	6.50	78.26	0.69
	2	54.15	3.92	1.96	6.18	76.14	0.71
	3	52.86	3.82	1.91	6.23	74.68	0.71
	4	51.07	3.82	1.91	6.02	72.28	0.71
	5	58.42	3.93	1.96	6.82	84.18	0.69
	6	57.40	3.90	1.95	6.42	78.63	0.73
Sumatoria		**327.75**	**23.22**	**11.61**	**38.17**	**464.17**	**4.24**
Promedio		**54.62**	**3.87**	**1.93**	**6.36**	**77.36**	**0.71**
Tamiz N° 45	1	47.03	3.23	1.61	6.85	69.51	0.68
	2	46.33	3.21	1.60	6.70	67.52	0.69
	3	44.28	3.20	1.60	6.49	65.24	0.68
	4	44.56	3.24	1.62	6.57	66.80	0.67
	5	45.09	3.21	1.61	6.86	69.21	0.65
	6	45.82	3.24	1.62	7.11	72.48	0.63
Sumatoria		**273.11**	**19.33**	**9.66**	**40.59**	**410.77**	**3.99**
Promedio		**45.52**	**3.22**	**1.61**	**6.77**	**68.46**	**0.67**

Dipteryx micrantha (Shihuahuaco)							
	Muestra	**Peso (g)**	**Diam. (cm)**	**Radio (cm)**	**Largo (cm)**	**Volu. (cm^3)**	**□ (g/cm^3)**
Tamiz N° 07	1	39.78	3.20	1.60	6.43	64.66	0.62
	2	39.66	3.20	1.60	6.13	61.60	0.64
	3	42.13	3.26	1.63	6.51	66.67	0.63
	4	39.79	3.27	1.64	6.22	63.95	0.62
	5	42.59	3.23	1.61	6.87	69.63	0.61
	6	46.57	3.28	1.64	7.22	74.48	0.63
Sumatoria		**250.51**	**19.45**	**9.72**	**39.37**	**400.99**	**3.75**
Promedio		**41.75**	**3.24**	**1.62**	**6.56**	**66.83**	**0.62**
Tamiz N° 10	1	56.85	3.85	1.93	6.11	73.96	0.77
	2	55.63	3.84	1.92	6.05	72.98	0.76
	3	63.21	3.95	1.98	6.54	81.28	0.78
	4	59.05	3.86	1.93	6.02	72.90	0.81
	5	63.34	3.93	1.96	6.63	81.79	0.77
	6	57.97	3.84	1.92	6.25	75.45	0.77
Sumatoria		**356.06**	**23.27**	**11.64**	**37.60**	**458.36**	**4.66**
Promedio		**59.34**	**3.88**	**1.94**	**6.27**	**76.39**	**0.78**
Tamiz N° 20	1	59.02	3.84	1.92	5.85	70.49	0.84
	2	54.68	3.81	1.90	5.42	64.85	0.84
	3	63.95	3.88	1.94	6.13	74.69	0.86
	4	56.30	3.80	1.90	5.54	66.25	0.85
	5	60.54	3.80	1.90	6.24	74.48	0.81
	6	61.81	3.84	1.92	6.25	75.43	0.82
Sumatoria		**356.30**	**22.96**	**15.75**	**35.44**	**593.62**	**5.02**
Promedio		**59.38**	**3.83**	**2.62**	**5.91**	**98.94**	**0.84**
Tamiz N° 45	1	46.92	3.19	1.59	6.97	69.86	0.67
	2	49.86	3.25	1.63	7.23	73.92	0.67
	3	45.93	3.18	1.59	6.85	68.47	0.67
	4	47.62	3.16	1.58	6.72	66.64	0.71
	5	52.59	3.26	1.63	7.44	76.25	0.69
	6	50.75	3.17	1.59	7.26	72.28	0.70
Sumatoria		**293.67**	**19.21**	**9.60**	**42.48**	**427.42**	**4.12**
Promedio		**48.95**	**3.20**	**1.60**	**7.08**	**71.24**	**0.69**

Tabla de las características métricas de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales.

Lupuna blanca	Muestra	Peso S. (g)	Diam. (cm)	Radio (cm)	Largo (cm)	Volu. (cm^3)	□ (g/cm^3)	Peso H. (g)	CH (%)
Tamiz N° 07	1	37.27	3.91	1.96	5.76	70.81	0.53	41.93	12.52
	2	41.43	3.96	1.98	6.71	83.57	0.50	47.04	13.53
	3	40.72	3.92	1.96	7.02	86.38	0.47	45.87	12.65
	4	32.99	3.97	1.99	5.57	69.48	0.47	37.00	12.18
	5	37.23	3.96	1.98	5.53	68.78	0.54	41.86	12.43
	6	33.56	3.83	1.91	5.67	68.16	0.49	37.68	12.28
Tamiz N° 10	1	33.52	3.33	1.66	5.87	61.37	0.55	37.38	11.52
	2	30.40	3.24	1.62	5.84	59.38	0.51	33.88	11.45
	3	32.96	3.33	1.66	5.99	62.52	0.53	37.15	12.73
	4	29.54	3.23	1.61	5.73	58.10	0.51	33.04	11.87
	5	32.27	3.34	1.67	6.01	63.10	0.51	36.28	12.45
	6	29.50	3.20	1.60	6.04	60.76	0.49	32.97	11.75
Tamiz N° 20	1	41.23	3.90	1.95	5.61	68.69	0.60	45.98	11.53
	2	41.64	4.01	2.01	6.05	76.18	0.55	46.37	11.37
	3	31.10	3.18	1.59	5.91	59.10	0.53	34.37	10.53
	4	31.97	3.24	1.62	5.01	51.00	0.63	35.49	11.03
	5	31.65	3.25	1.63	5.26	53.76	0.59	34.96	10.47
	6	32.51	3.20	1.60	5.68	57.13	0.57	36.13	11.14
Tamiz N° 45	1	40.88	3.29	1.64	6.59	68.04	0.60	44.98	10.04
	2	40.63	3.30	1.65	6.61	68.41	0.59	44.83	10.34
	3	38.22	3.35	1.67	5.66	59.49	0.64	42.37	10.84
	4	38.90	3.31	1.65	6.19	64.28	0.61	43.09	10.75
	5	16.16	3.21	1.60	3.39	34.11	0.47	17.86	10.48
	6	17.39	3.23	1.61	3.90	39.47	0.44	19.19	10.34

Cumala	Muestra	Peso S. (g)	Diam. (cm)	Radio (cm)	Largo (cm)	Volu. (cm^3)	□ (g/cm^3)	Peso H. (g)	CH (%)
Tamiz N° 07	1	42.92	3.83	1.92	5.91	71.16	0.60	48.09	12.05
	2	41.68	3.89	1.95	6.20	75.84	0.55	46.52	11.62
	3	40.55	3.85	1.93	5.76	69.72	0.58	45.02	11.03
	4	42.50	3.80	1.90	6.13	73.26	0.58	47.15	10.95
	5	42.20	3.90	1.95	6.03	73.81	0.57	46.83	10.96
	6	44.00	3.92	1.96	6.29	77.38	0.57	49.17	11.74
Tamiz N° 10	1	40.79	3.87	1.93	5.76	69.92	0.58	44.88	10.05
	2	41.05	3.87	1.93	5.88	71.38	0.57	45.20	10.13
	3	39.92	3.91	1.95	5.97	73.33	0.54	43.93	10.06
	4	44.34	3.95	1.98	5.88	72.93	0.61	49.64	11.95
	5	41.47	3.92	1.96	6.11	75.33	0.55	46.27	11.56
	6	44.83	3.90	1.95	5.76	70.61	0.63	49.67	10.81
Tamiz N° 20	1	36.49	3.85	1.92	5.68	68.70	0.53	39.87	9.28
	2	40.26	3.85	1.92	5.73	69.23	0.58	44.42	10.34
	3	35.32	3.80	1.90	5.78	69.06	0.51	38.69	9.53
	4	39.95	3.85	1.93	5.92	71.61	0.56	43.56	9.03
	5	40.98	3.89	1.94	5.71	69.70	0.59	45.15	10.17
	6	26.12	3.78	1.89	4.29	50.92	0.51	28.67	9.77
Tamiz N° 45	1	26.61	3.23	1.61	5.58	56.48	0.47	29.00	8.98
	2	15.99	3.21	1.60	4.92	49.52	0.32	17.37	8.64
	3	38.28	3.21	1.60	5.83	58.74	0.65	41.39	8.14
	4	40.04	3.22	1.61	6.27	63.34	0.63	43.90	9.65
	5	45.14	3.21	1.61	6.25	63.04	0.72	49.23	9.08
	6	45.52	3.20	1.60	6.47	64.95	0.70	49.86	9.54

Copaiba blanca	Muestra	Peso S. (g)	Diam. (cm)	Radio (cm)	Largo (cm)	Volu. (cm^3)	□ (g/cm^3)	Peso H. (g)	CH (%)
Tamiz N° 07	1	48.46	3.83	1.92	6.25	75.29	0.64	52.85	9.05
	2	45.65	3.85	1.92	5.92	71.56	0.64	49.90	9.31
	3	50.52	3.85	1.92	6.33	76.48	0.66	55.63	10.11
	4	48.27	3.89	1.95	6.29	76.87	0.63	53.20	10.21
	5	46.03	3.76	1.88	5.95	70.26	0.66	50.96	10.73
	6	49.25	3.76	1.88	6.13	72.40	0.68	54.56	10.78
Tamiz N° 10	1	48.12	3.83	1.92	6.16	74.17	0.65	52.45	9.01
	2	48.53	3.84	1.92	6.16	74.30	0.65	53.06	9.34
	3	43.67	3.29	1.64	6.84	70.65	0.62	47.89	9.67
	4	38.10	3.27	1.63	7.09	72.76	0.52	41.73	9.53
	5	39.10	3.28	1.64	6.53	67.20	0.58	43.02	10.04
	6	29.14	3.32	1.66	4.55	47.44	0.61	32.14	10.32
Tamiz N° 20	1	35.80	3.18	1.59	6.28	62.76	0.57	39.00	8.96
	2	25.20	3.17	1.58	4.07	40.48	0.62	27.28	8.26
	3	38.25	3.18	1.59	6.63	66.31	0.58	41.38	8.17
	4	50.15	3.86	1.93	5.37	65.06	0.77	54.39	8.46
	5	47.41	3.83	1.92	4.91	59.12	0.80	51.74	9.12
	6	50.26	3.87	1.94	5.27	64.16	0.78	54.83	9.08
Tamiz N° 45	1	32.85	3.18	1.59	5.89	58.73	0.56	35.46	7.93
	2	44.99	3.27	1.63	6.66	68.37	0.66	48.38	7.53
	3	43.22	3.27	1.64	5.98	61.55	0.70	46.30	7.12
	4	38.95	3.17	1.59	6.30	62.83	0.62	42.17	8.29
	5	38.55	3.17	1.58	6.56	65.34	0.59	41.62	7.98
	6	44.79	3.26	1.63	6.73	68.99	0.65	48.42	8.12

Capirona	Muestra	Peso S. (g)	Diam. (cm)	Radio (cm)	Largo (cm)	Volu. (cm^3)	□ (g/cm^3)	Peso H. (g)	CH (%)
Tamiz N° 07	1	43.00	3.29	1.65	7.13	73.72	0.58	46.49	8.12
	2	48.26	3.31	1.65	7.55	78.43	0.62	52.28	8.32
	3	41.26	3.32	1.66	7.13	74.22	0.56	45.10	9.31
	4	48.26	3.28	1.64	7.63	78.68	0.61	52.77	9.34
	5	41.27	3.19	1.59	6.62	66.33	0.62	45.23	9.59
	6	41.93	3.20	1.60	6.65	66.82	0.63	45.88	9.42
Tamiz N° 10	1	47.91	3.80	1.90	6.12	73.09	0.66	51.76	8.04
	2	60.15	3.87	1.93	6.93	84.19	0.71	65.13	8.28
	3	58.06	3.83	1.92	6.64	79.99	0.73	62.77	8.13
	4	49.70	3.82	1.91	6.01	72.21	0.69	53.94	8.53
	5	52.24	3.82	1.91	6.38	76.51	0.68	57.13	9.36
	6	52.96	3.87	1.94	6.38	77.61	0.68	57.81	9.16
Tamiz N° 20	1	53.86	3.84	1.92	6.50	78.26	0.69	57.65	7.03
	2	54.15	3.92	1.96	6.18	76.14	0.71	58.41	7.87
	3	52.86	3.82	1.91	6.23	74.68	0.71	56.62	7.11
	4	51.07	3.82	1.91	6.02	72.28	0.71	54.71	7.14
	5	58.42	3.93	1.96	6.82	84.18	0.69	63.08	7.98
	6	57.40	3.90	1.95	6.42	78.63	0.73	62.06	8.12
Tamiz N° 45	1	47.03	3.23	1.61	6.85	69.51	0.68	50.40	7.17
	2	46.33	3.21	1.60	6.70	67.52	0.69	49.47	6.78
	3	44.28	3.20	1.60	6.49	65.24	0.68	47.33	6.89
	4	44.56	3.24	1.62	6.57	66.80	0.67	47.71	7.08
	5	45.09	3.21	1.61	6.86	69.21	0.65	48.35	7.23
	6	45.82	3.24	1.62	7.11	72.48	0.63	48.93	6.78

Shihuahuaco	Muestra	Peso S. (g)	Diam. (cm)	Radio (cm)	Largo (cm)	Volu. (cm^3)	□ (g/cm^3)	Peso H. (g)	CH (%)
Tamiz N° 07	1	39.78	3.20	1.60	6.43	64.66	0.62	42.62	7.15
	2	39.66	3.20	1.60	6.13	61.60	0.64	42.61	7.45
	3	42.13	3.26	1.63	6.51	66.67	0.63	45.21	7.33
	4	39.79	3.27	1.64	6.22	63.95	0.62	43.08	8.28
	5	42.59	3.23	1.61	6.87	69.63	0.61	46.57	9.34
	6	46.57	3.28	1.64	7.22	74.48	0.63	50.51	8.47
Tamiz N° 10	1	56.85	3.85	1.93	6.11	73.96	0.77	60.85	7.03
	2	55.63	3.84	1.92	6.05	72.98	0.76	59.65	7.21
	3	63.21	3.95	1.98	6.54	81.28	0.78	67.63	6.98
	4	59.05	3.86	1.93	6.02	72.90	0.81	63.39	7.35
	5	63.34	3.93	1.96	6.63	81.79	0.77	68.61	8.32
	6	57.97	3.84	1.92	6.25	75.45	0.77	62.67	8.12
Tamiz N° 20	1	59.02	3.84	1.92	5.85	70.49	0.84	62.58	6.03
	2	54.68	3.81	1.90	5.42	64.85	0.84	58.10	6.25
	3	63.95	3.88	1.94	6.13	74.69	0.86	67.77	5.98
	4	56.30	3.80	1.90	5.54	66.25	0.85	59.90	6.38
	5	60.54	3.80	1.90	6.24	74.48	0.81	64.98	7.34
	6	61.81	3.84	1.92	6.25	75.43	0.82	66.20	7.10
Tamiz N° 45	1	46.92	3.19	1.59	6.97	69.86	0.67	49.31	5.08
	2	49.86	3.25	1.63	7.23	73.92	0.67	52.82	5.92
	3	45.93	3.18	1.59	6.85	68.47	0.67	48.52	5.64
	4	47.62	3.16	1.58	6.72	66.64	0.71	50.20	5.43
	5	52.59	3.26	1.63	7.44	76.25	0.69	55.92	6.33
	6	50.75	3.17	1.59	7.26	72.28	0.70	54.08	6.57

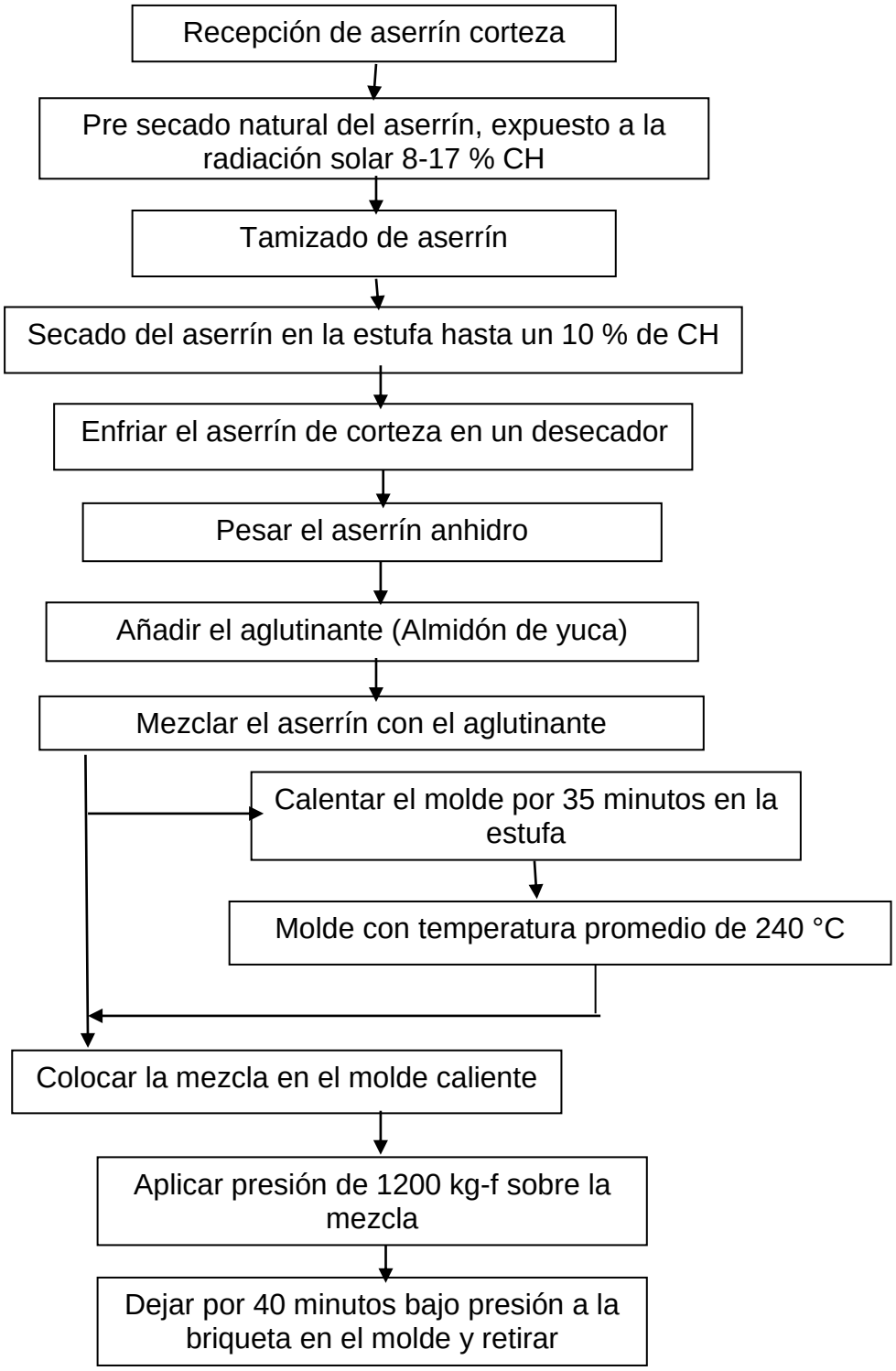
ANEXO 02

Tabla del poder calórico de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales.

N°	Código	Especie	Unidades	Poder calórico
			Peso (g)	Kcal/kg
1	**L7-5**	Lupuna blanca	0.679	4651
2	**L10-5**	Lupuna blanca	0.680	4646
3	**L20-2**	Lupuna blanca	0.699	4615
4	**L45.5**	Lupuna blanca	0.660	4610
		Sumatoria	**2.72**	**18522**
		Promedio	**0.68**	**4631**
1	**CU7-2**	Cumala	0.642	4622
2	**CU10-4**	Cumala	0.653	4615
3	**CU20-6**	Cumala	0.683	4629
4	**CU45-5**	Cumala	0.625	4599
		Sumatoria	**2.60**	**18465**
		Promedio	**0.65**	**4616**
1	**CO7-2**	Copaiba blanca	1.280	4588
2	**CO10-4**	Copaiba blanca	1.286	4600
3	**CO20-4**	Copaiba blanca	1.277	4553
4	**CO45-2**	Copaiba blanca	1.258	4589
		Sumatoria	**5.10**	**18330**
		Promedio	**1.28**	**4583**
1	**CA7-2**	Capirona	2.390	4605
2	**CA10-1**	Capirona	2.410	4570
3	**CA20-1**	Capirona	2.420	4565
4	**CA45-4**	Capirona	2.400	4580
		Sumatoria	**9.62**	**18320**
		Promedio	**2.41**	**4580**
1	**SH7-1**	Shihuahuaco	2.430	4601
2	**SH10-1**	Shihuahuaco	2.470	4536
3	**SH20-5**	Shihuahuaco	2.460	4508
4	**SH45-5**	Shihuahuaco	2.470	4574
		Sumatoria	**9.83**	**18219**
		Promedio	**2.46**	**4555**

ANEXO 03

Diagrama para la obtención de las briquetas de aserrín de madera de cinco especies.



ANEXO 04

FOTOGRAFÍAS

Figura 36 - 37. Recojo de aserrín de los aserraderos de la ciudad de Pucallpa.





Figura 38 - 39. Transporte de aserrín de los aserraderos al laboratorio de tecnología de la madera de la universidad.





Figura 40 - 41. Tamizado de las muestras de aserrín de las cinco especies forestales.





Figura 42 - 43. Morfología del aserrín de cinco especies forestales.





Figura 44 - 45. Secado de las muestras de aserrín de cinco especies forestales en la estufa.





Figura 46 - 47. Preparación del aglutinante (Almidón de yuca).





Figura 48 - 49. Mesclado del aserrín con el aglutinante (Almidón de yuca).



Figura 50 - 51. Calentamiento de los moldes en la estufa.



Figura 52 - 53. Prensado de las briquetas en la prensa.





Figura 54 - 55. Enfriamiento de los moldes.





Figura 56 - 57. Sacado de las briquetas de los moldes en la prensa manual.





Figura 58 - 59. Codificado y pesado de las briquetas.





Figura 60 - 61. Medición del diámetro y largo de las briquetas.





Figura 62 - 63. Compresión perpendicular de las briquetas.





Figura 64 - 65. Pesado de las muestras de briquetas para obtener el poder calórico.

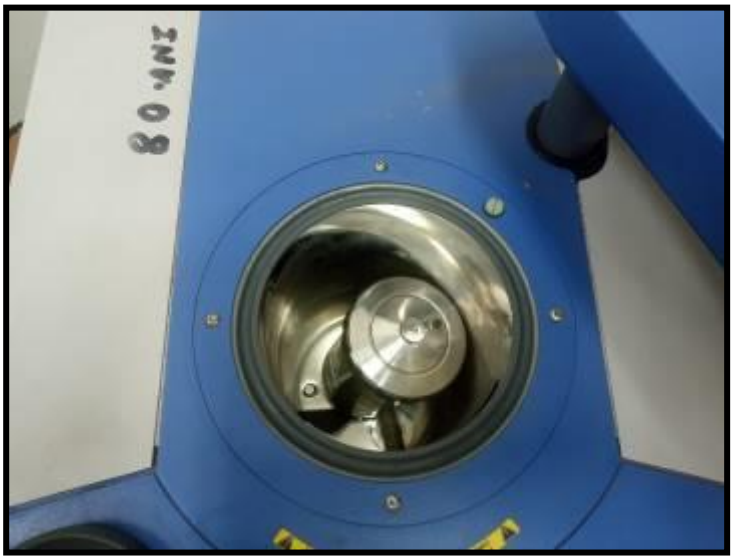




Figura 66, 67, 68 - 69. Obtención del poder calórico de las muestras de las briquetas de aserrín.






80 UNI


IK
7
4
1
F1
F2
F3