



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA

**“CARACTERIZACIÓN DE LA GRANULOMETRIA DEL ASERRÍN DE
PIGÜE (*Piptocoma discolor*) PARA LA OBTENCIÓN DEL EMBALAJE
DE LAS FRUTAS AMAZÓNICAS”**

AUTORA

NANCY ELIZABETH LEMA PAGUAY

DIRECTORES

MSc. JUAN ELIAS GONZÁLEZ

MSc. CAMPO ELIAS MORILLO

PUYO - ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Nancy Elizabeth Lema Paguay, con cédula de identidad 160065798-3, declaro que las actividades realizadas para la realización y culminación del presente proyecto de investigación y desarrollo, que tiene como tema “**CARACTERIZACIÓN DE LA GRANULOMETRIA DEL ASERRÍN DE PIGÜE (*Piptocoma discolor*) PARA LA OBTENCIÓN DEL EMBALAJE DE LAS FRUTAS AMAZÓNICAS**”, se basaron en la búsqueda de información, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones, que me guiaron para estructurar mi trabajo y sea considerado para posibles investigaciones futuras, basándose en los resultados obtenidos; además que me responsabilizo en forma legal y académicamente como la autora del presente trabajo previo a la obtención del título como Ingeniero Agroindustrial.

Puyo, 17 de mayo del 2018

Lema Paguay Nancy Elizabeth
CI. 160065798-3

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Certifico que el presente proyecto investigación y desarrollo sobre el tema “**CARACTERIZACIÓN DE LA GRANULOMETRIA DEL ASERRÍN DE PIGÜE (*Piptocoma discolor*) PARA LA OBTENCIÓN DEL EMBALAJE DE LAS FRUTAS AMAZÓNICAS** previo a la obtención del título de ingeniero (a) Agroindustrial ha sido desarrollado por la Srta. Nancy Elizabeth Lema Paguay bajo nuestra tutoría y dirección, cumpliendo con todos los requisitos y disponibilidades legales establecidos por la Universidad Estatal Amazónica “UEA”, por lo que autorizo su presentación.

Ing. Juan Elías González MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Campo Elías Morillo MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
UNIDAD DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN



Puyo, 14 de febrero de 2018
Oficio No. 049-UTICS-UEA-2018

Señores
Secretaría Académica U.E.A.
Presente.-

Por medio del presente CERTIFICO que:

El informe del Proyecto de investigación correspondiente a la Srta. LEMA PAGUAY NANCY ELIZABETH, con C.I. 1600657983 de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial, con el Tema: "CARACTERIZACIÓN DE LA GLANULOMETRÍA DEL ASERRÍN DE PIGUE (*Pollalesta discolor*) PARA LA OBTENCIÓN DE EMBALAJES DE LAS FRUTAS AMAZÓNICAS", Director de Proyecto Ing. Juan Elías Gonzalez, MsC., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 04%. Informe generado por el Tutor de fecha 14 de febrero de 2018.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Elías Jachero Robalino MsC.

UNIDAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN DE LA UEA
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA -

NOTA: Adjunto Informe generado el 14 de febrero de 2018.

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El Tribunal de sustentación del Proyecto de Investigación y Desarrollo aprueba el proyecto de investigación y desarrollo “**CARACTERIZACIÓN DE LA GRANULOMETRIA DEL ASERRÍN DE PIGÜE (*Piptocoma discolor*) PARA LA OBTENCIÓN DEL EMBALAJE DE LAS FRUTAS AMAZÓNICAS**”.

**YUDEL GARCÍA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**MARIANELA ESCOBAR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**DAMIÁN GUERRA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mi Dios todo poderoso
por guiarme, protegerme; por ser mi refugio,
el mejor maestro.*

*Agradezco a mi familia, en especial mis padres
por ser el pilar fundamental
en todas áreas de mi vida.*

*A mis docentes quienes han compartido
en las aulas de clase con sus conocimientos
y experiencias de vida.*

*A mis tutores, MSc. Juan Elías González y
MSc. Campo Elías Morillo por su dirección,
apoyo incondicional como profesionales y amigos.*

*A mis amigos que son como hermanos de sangre;
por ser quienes han motivado y acompañado
en esta aventura universitaria.*

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres, Juan Lema y Delia Paguay, quienes son parte fundamental de mi vida, por su amor incondicional, apoyo económico y moral.

Quienes sacrifican día a día su tiempo por dinero, brindando a mis hermanos y a mí, estudios, alimentación y salud.

Por ser los mejores ángeles que Dios me ha regalado. La mejor fuente de inspiración y motivación para mi superación profesional.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las características de las láminas de biomasa forestal que cumplan las propiedades físico mecánicas requeridas para el embalaje de frutas amazónicas a partir del uso de aserrín de Pigüe (*Piptocoma discolor*) y pegamentos naturales – artificiales. Para este estudio se recolectaron muestras de aserrín en el cantón Pastaza, el cual fue secado hasta una humedad del 8%, molido y tamizado con luz de malla de 425 μm , 500 μm y 850 μm , a estas muestras se le aplicaron dos tipos de pegamentos, el P1 (compuesto almidón de maíz, resina de copal diluida y cola blanca) y P2 (cola blanca diluida en agua). Se aplicó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial A x B, y 4 repeticiones; donde se obtuvieron láminas mediante el mezclado, prensado a 0.86 N/mm², secado a 165±5°C por 30 minutos. Al concluir el proceso de fabricación se determinó las propiedades físicas y mecánicas con probetas promedio de 87x38 mm² con un espesor de 3.5 mm teniendo en cuenta la norma ASTM D1037. La mejor resistencia a la tracción fue 4.6 N/mm² y la resistencia a la flexión fue 5.9 N/mm²; mientras que la densidad fue de 690 Kg/m³; obteniendo diferencias significativas entre las variables estudiadas (granulometría y pegamento) en relación a los ensayos mecánicos. La muestra T3 (compuesta por 100% Pigüe de 850 μm), resultó ser el mejor tratamiento según la resistencia mecánica.

Palabras clave: biomasa, embalaje, resistencia mecánica

ABSTRACT AND KEYWORDS

The objective of this research was to determine the characteristics of the forest biomass sheets that meet the physical and mechanical properties required for the packaging of Amazonian fruits from the use of Pigüe sawdust (*Piptocoma discolor*) and natural-artificial glues. For this study sawdust were collected in the Pastaza canton, which was dried to a humidity of 8%, ground and sieved with a mesh size of 425 μm , 500 μm and 850 μm , two samples were applied to these samples. Types of glues, P1 (composed of corn starch, diluted copal resin and white glue) and P2 (white glue diluted in water). A complete randomized design (DCA) with factorial arrangement A x B, and 4 repetitions were applied; where the sheets were obtained by mixing, pressing at 0.86 N/mm^2 , drying at $165 \pm 5 \text{ }^\circ \text{C}$ for 30 minutes. At the conclusion of the manufacturing process, the mechanical physical properties were determined with average specimens of $87 \times 38 \text{ mm}^2$ with a thickness of 3.5 mm, taking into account the ASTM D1037 standard. The best tensile strength was 4.6 N/mm^2 and the resistance to bending was 5.9 N/mm^2 ; while the density was 690 Kg/m^3 ; obtaining significant differences between the variables studied (granulometry and glue) in relation to mechanical tests. The sample T3 (composed of 100% Pigüe of 850 μm) was the best treatment according to the mechanical resistance.

Keywords: biomass, packaging, mechanical strength

CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	2
1.1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.2. Formulación del Problema.....	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II.....	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Antecedente histórico del embalaje.....	4
2.1.2. Definición del embalaje	4
2.1.3. Tipos de embalaje.....	5
2.1.4. Caracterización del Pigüe.....	5
2.2. Bases Teóricas	6
2.2.1. Aprovechamiento del Pigüe	6
2.2.2. Biomasa forestal.....	7
2.2.3. Tipos de pegamentos	10
2.2.4. Normativas de embalajes	12
2.2.5. Proceso de fabricación de tableros de partículas.....	16
2.2.6. Análisis físico-químico del aserrín de Pigüe.....	18
2.2.7. Tipo de análisis del embalaje para resistencia mecánica	19
CAPITULO III	21
3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.1 Localización y duración del experimento	21
3.2. Tipo de investigación.....	22

3.2.1. Carácter	22
3.3. Métodos de investigación	22
3.3.1. Investigación empírico - analítico	22
3.3.2. Investigación de campo	22
3.4. Diseño de la investigación	23
3.4.1 Tratamientos	23
3.4.2. Modelo estadístico utilizado para el análisis	24
3.5. Tratamiento de los datos	24
3.5.1 Procedimiento tecnológico	24
3.5.2 Tipos de análisis	28
CAPITULO IV	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Caracterización de la granulometría	30
4.2. Determinación de las fórmulas para la elaboración de los pegamentos	30
4.3. Propiedades físicas	31
4.3.1. Tiempos y temperaturas en el prensado	31
4.3.2. Análisis de la densidad	32
4.4. Propiedades mecánicas	33
4.4.1 Flexión	33
4.4.2. Tracción	36
4.4.3. Relación de las variables mecánicas entre el pegamento y la granulometría	38
4.4.4. Comparación entre la resistencia a la tracción y flexión	39
CAPITULO V	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1. CONCLUSIONES	42
5.2. RECOMENDACIONES	43
CAPÍTULO VI	44
6. BIBLIOGRAFIA	44
CAPÍTULO VII	48

7. ANEXOS	48
-----------------	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especies con mayor volumen aprobado para manejo forestal por tipo de formación (2011-2014) _____	6
Tabla 2. Aprovechamiento forestal en bosque nativo por provincias en el año 2010 _____	7
Tabla 3. Especificaciones del papel Kraft medio _____	13
Tabla 4. Especificaciones del papel kraft forro regular y blanco. _____	14
Tabla 5. Valores porcentuales físico-químicos del aserrín de Pigüe. _____	19
Tabla 6. Condiciones meteorológicas de Puyo- Pastaza. _____	21
Tabla 7. Características del diseño experimental. _____	23
Tabla 8. Diseños de experimentos. _____	23
Tabla 9. Preparación del almidón de maíz _____	25
Tabla 10. Preparación de cola blanca. _____	26
Tabla 11. Preparación de la resina de copal. _____	26
Tabla 12. Formulación final integrando los tres procesos (resina de copal, almidón de maíz y cola blanca). _____	27
Tabla 13. Formulación a base de goma blanca. _____	27
Tabla 14. Pesos de muestras tamizadas de aserrín en dependencia al tamaño. _____	30
Tabla 15. Comparación con otros autores sobre las condiciones para la elaboración de tableros a partir de biomasa forestal. _____	31
Tabla 16. Densidad de las láminas de embalaje. _____	32
Tabla 17. Análisis de Varianza de resistencia a la flexión vs granulometría. _____	33
Tabla 18. Porcentajes de resistencia a la flexión en relación a la granulometría. _____	34
Tabla 19. Análisis de varianza de resistencia a la flexión en relación al pegamento. _____	35
Tabla 20. Porcentaje de resistencia a la flexión en relación al pegamento. _____	35
Tabla 21. Análisis de Varianza de resistencia a la tracción en relación a la granulometría. _____	36
Tabla 22. Porcentaje de resistencia a la tracción en relación a la granulometría. _____	36
Tabla 23. Análisis de la varianza de resistencia a la tracción en relación al pegamento. _____	37
Tabla 24. Porcentaje de resistencia a la tracción en relación al pegamento. _____	38

Tabla 25. Análisis de variancia de la interacción del pegamento y la granulometría. _____	39
Tabla 26. Porcentaje de resistencia a la tracción y flexión en relación al pegamento y la granulometría _____	39
Tabla 27. Análisis de la varianza de resistencia a la flexión. _____	40
Tabla 28. Análisis de la varianza de resistencia a la tracción. _____	40
Tabla 29. Porcentaje de resistencia a la tracción. _____	40
Tabla 30. Porcentaje de resistencia a la flexión. _____	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica	21
Figura 2. Resistencia a la Flexión vs granulometría.....	34
Figura 3. Flexión vs pegamento.	35
Figura 4. Resistencia a la tracción vs Granulometría.	37
Figura 5. Resistencia a la tracción vs pegamento.	38
Figura 6. Comparación entre la resistencia a la tracción y flexión.....	41

CÓDIGO DUBLIN

Título	Caracterización de la granulometría del aserrín de Pigüe (<i>Piptocoma discolor</i>) para la obtención del embalaje de las frutas amazónicas.		
Autor	Lema Paguay, Nancy Elizabeth		
Palabras Claves:	Biomasa	Embalaje	resistencia mecánica
Fecha de publicación:	17 – mayo – 2018		
Editorial	Puyo: UEA, 2018		
Resumen:	<p>La presente investigación tuvo como objetivo determinar las características de las láminas de biomasa forestal que cumplan las propiedades físico mecánicas requeridas para el embalaje de frutas amazónicas a partir del uso de aserrín de Pigüe (<i>Piptocoma discolor</i>) y pegamentos naturales – artificiales. Para este estudio se recolectaron muestras de aserrín en el cantón Pastaza, el cual fue secado hasta una humedad del 8%, molido y tamizado con luz de malla de 425 μm, 500 μm y 850 μm, a estas muestras se le aplicaron dos tipos de pegamentos, el P1 (compuesto almidón de maíz, resina de copal diluida y cola blanca) y P2 (cola blanca diluida en agua). Se aplicó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial A x B, y 4 repeticiones; donde se obtuvieron las láminas mediante el mezclado, prensado a 0.86 N/mm², secado a 165±5°C por 30 minutos. Al concluir el proceso de fabricación se determinó las propiedades físicas y mecánicas con probetas promedio de 87x38 mm² con un espesor de 3.5 mm teniendo en cuenta la norma ASTM D1037. La mejor resistencia a la tracción fue 4.6 N/mm² y la resistencia a la flexión fue 5.9 N/mm²; mientras que la densidad fue de 690 Kg/m³; obteniendo diferencias significativas entre las variables estudiadas (granulometría y pegamento) en relación a los ensayos mecánicos. La muestra T3 (compuesta por 100% Pigüe de 850 μm), resultó ser el mejor tratamiento según la resistencia mecánica.</p>		
Descripción:	71 hojas dimensiones. 29 x 21 cm		
URI:	...		

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente, por lo tanto, cuenta con muchas aplicaciones industriales, a partir de los cuales también puede obtenerse productos químicos y materiales con prestaciones a las demandas del mercado (Leblanc, 2011).

La biomasa por su estructura química y sus características diferentes en sus compuestos como: lignina, hemicelulas, celulosa y otros, juega un papel importante en los procesos de despolimerización desarrollados o investigados hasta el presente, por todas las posibilidades de la aplicación de la lignina y sus derivados en nuevos procesos industriales integrados (Chávez & Domine, 2013).

En la actualidad la utilización de biomasa forestal (virutas, despuntes, ramas, corteza, etc.), se almacena en grandes cerros cuyo fin es, abono para plantas, gallinaza o se quema en hornos tradicionales para elaboración de panela, sin poseer un mayor valor agregado (Martínez *et al.*, 2014).

En la Amazonía ecuatoriana, el Pigüe (*Piptocoma discolor*) constituye una fuente importante de ingresos, que sirve para complementar las ganancias de los hogares rurales, durante los períodos de necesidad económica. La disponibilidad de aserraderos y de equipamiento para los fines de la cadena de valor del proceso de madera de Pigüe, la cual es producida fácilmente por familias campesinas sin necesidad de asistencia o insumos externos (Navarro *et al.*, 2007). Este estudio tiene como objetivo determinar las características de las láminas de biomasa forestal destinada para el embalaje de frutas amazónicas a partir del uso de aserrín de Pigüe (*Piptocoma discolor*) y pegamentos naturales – artificiales.

Hoy en día, para los productores de la amazonia ecuatoriana resulta muy difícil comercializar, por las restricciones del uso de la caja de madera; por esta razón fue de interés brindar una alternativa tecnológica para elaborar embalajes, que sean capaces de soportar el peso, sin sufrir excesivos daños, compresiones, vibraciones, humedad, electricidad estática, calor, frío, cambios de presión, impactos por caídas, inestabilidad, infestación, tal como menciona (Navarro *et al.*, 2007).

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Se cuenta con materia prima forestal de la zona, el cual no ha obtenido una transformación para la obtención de embalaje, que permita su aprovechamiento, permitiendo transportar, proteger, y comercializar frutas de la Amazonia ecuatoriana.

En la presente investigación se determinó las características de unas láminas a base de biomasa forestal, aserrín, obtenida de ramas, troncos y cortezas del Pigüe, el mismo que comúnmente encontramos en la región, con el fin de potenciar el aprovechamiento de recursos renovables los cuales hoy en día son desvalorizados en la región amazónica.

La madera del Pigüe se utiliza principalmente en la fabricación de cajas para el transporte de frutas de la zona, los cuales son producidos por familias campesinas sin necesidad de asistencia o insumos externos, el cual permite la comercialización de los productos agrícolas; sin embargo no garantizan el 100% de calidad del embalaje; por lo tanto existe limitaciones a ciertos mercados mayoristas nacionales; peor aún a los mercados Internacionales. Una vez que cumplen su funcionamiento son desechados a la basura o utilizados como leña. En la industria artesanal, constituyen una fuente de empleo e ingresos en las zonas rurales.

Pastaza, en el ámbito industrial el aserrín de Pigüe es utilizado solo como un componente para tableros aglomerados y regularmente como bioabono para las plantas, relleno de suelo para galpones de pollos, son quemados en hornos para la fabricación de panela al igual que el bagazo de caña según lo indica el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pastaza (2014), o almacenados para hacer los tradicionales monigotes.

Por lo tanto, el presente proyecto está enfocado en brindar una alternativa de embalaje con materiales que se encuentran fácilmente en la región, optimizando las características de las tradicionales cajas de madera; el cual permitirá conservar la calidad de las frutas de la zona. De esta manera ayudará a optimizar los recursos vegetales naturales y por ende minimizar el impacto medioambiental generado por las actividades del hombre. El producto beneficiará en forma directa e indirecta, a más de 55 familias productores de materia prima donde participan 11 familias de los aserraderos ubicados en cantones amazónicos de la provincia de Pastaza;

por lo tanto, los beneficiarios directos serán 330 personas y los indirectos son los comerciantes y consumidores donde actúan aproximadamente 5500 personas.

1.1.2. Formulación del Problema

Desaprovechamiento de la biomasa forestal (corteza, ramas, virutas, etc.), del Pigüe, por parte de los productores y comerciantes de la amazonia ecuatoriana, que fabrican o comercializan en las tradicionales cajas de madera; puesto que no ha obtenido una transformación industrial, que permita su utilización para la obtención de embalajes, cuyo fin sea proteger, transportar y comercializar las frutas de la Amazonía en mercados minoristas o mayoristas del Ecuador; por ende ha limitado en el desarrollo socio económico de todo quienes se encuentran en esta cadena de valor.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar las características de las láminas de biomasa forestal destinada para el embalaje de frutas amazónicas a partir del uso de aserrín de Pigüe (*Piptocoma discolor*) y pegamentos naturales – artificiales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la granulometría del aserrín de Pigüe para la obtención de láminas de embalaje para frutas amazónicas.
- Analizar el pegamento más efectivo a partir de la formulación de resina de copal, almidón de maíz y acetato de polivinilo
- Determinar las propiedades físicas (tiempo, temperatura y densidad) y mecánicas (resistencia a la flexión y tracción) para la obtención de láminas para el embalaje.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedente histórico del embalaje

El hombre desde sus inicios ha trasladado artículos y productos de un lugar a otro, ha utilizado pieles, hierbas entrelazadas, vasijas, barriles, morrales, entre otros, con la finalidad de llevar sus productos con bien (Pérez, 2012).

En la actualidad, hay muchos tipos de materiales nuevos que en el siglo XXI ya son más comerciales, como el unicel, la piedra, el cemento, el barro; hay algunos materiales combinados, como PVC, envases térmicos, frascos de plástico con tapa de metal, latas con la modalidad “abre fácil”, envases tetra pack, plástico biodegradable hecho con azúcares y plantas (al ser expuestos a altas temperaturas de calor se degradan, y son benéficos para el ambiente), materiales reciclables como el cartón, el papel y el plástico, entre otros, que son de menor costo y mantienen por más tiempo los productos (Pérez, 2012).

La industria del embalaje, conjuntamente con el envase y empaque es la clave en la economía mundial y estos artículos son exportados e importados mundialmente. El embalaje ha permitido incrementar la competencia de productos y servicios para ser consumidos; los productos, tanto locales como nacionales, asegurando la calidad del producto hasta su comercialización (Pérez, 2012).

2.1.2. Definición del embalaje

Según la norma INEN 1734 (1989), indica que el embalaje es la unidad destinada a contener temporalmente los productos durante su manipulación, recolección, transporte, almacenamiento y comercialización, con la finalidad de protegerlos y facilitar estas operaciones.

El embalaje es una forma de empaque que envuelve, contiene, protege y conserva los productos además facilita las operaciones de transporte al informar en el exterior las condiciones de manejo, requisitos, símbolos, e identificación de su contenido. El embalaje

es la protección del producto durante el transporte o almacenamiento facilitando la logística y las exportaciones (Pérez, 2012).

2.1.3. Tipos de embalaje

El embalaje se ha dividido en tres niveles, primario, secundario y terciario. Embalaje primario (también llamado envase primario), es el que está en contacto directo con el producto (Pérez, 2012).

Embalaje secundario (también llamado envase secundario), es el que protege al embalaje primario y se desecha en el momento que es usado el producto (Pérez, 2012).

Embalaje terciario (también llamado envase terciario o de transporte), es el que protege al producto al momento de transportarlo, generalmente utilizado para exportación o distribución, contiene muchos embalajes primarios y secundario (Pérez, 2012).

2.1.4. Caracterización del Pigüe

El Pigüe es un árbol de madera blanda y de rápido crecimiento que pertenece a la familia *Asteraceae*, puede crecer hasta alcanzar un diámetro de 60 cm y una altura máxima de 30 m. Además, presenta un tronco cilíndrico con ramificación por encima del tercio inferior. En el Ecuador, la especie crece en suelos limosos y arcillosos, en ambos casos bien drenados, de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica (López & González, 2014).

Se encuentra distribuida de manera general en toda la región amazónica hasta donde han logrado el ingreso de la colonización, la misma que ha permitido la formación de extensos bosques secundarios; la zona de mayor densidad para el Pigüe comprende en un radio de 25 a 30 km de la ciudad de Puyo (Merino, 2010).

Se encuentra desde los 500 hasta los 1500 m.s.n.m en normal estado de desarrollo. Sin embargo, su mayor desarrollo está entre los 900 y 1000 m.s.n.m y a temperatura media de 20 °C (Merino, 2010).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aprovechamiento del Pigüe

Es una especie de alta regeneración natural, en áreas abandonadas, siendo pionera en el bosque secundario y alcanza su madurez en periodos cortos de tiempo, es decir: poseen ciclos cortos de vida para el aprovechamiento; de ocho a doce años aproximadamente, es una madera de fácil manipulación en el proceso de aserrío y consecuentemente el transporte del producto final, por sus características de baja dureza y porque es liviana (Merino, 2010).

El uso de la especie es bastante amplio, por ejemplo: la madera para la construcción de casas pequeñas, ranchos, jaulas para animales, etc., también tiene gran importancia por el manejo que realizan los productores al promover la regeneración natural del bosque secundario con el fin de aportar materia orgánica y nutrientes al suelo para sus prácticas agrícolas luego de aprovechar el bosque (Merino, 2010).

El aprovechamiento del Pigüe en la Amazonía ecuatoriana se realiza en dos formas principales, la primera es comercializarla en troza y la segunda es mediante la transformación primaria, para comercializarla en latilla o tablilla para cajonería que transporta fruta, principalmente naranjilla en la provincia de Pastaza (Merino, 2010).

A continuación, se detalla en la **tabla 1** las especies para el aprovechamiento forestal por regeneración natural, donde se encuentra la especie nativa, Pigüe, en octavo lugar con un volumen de 74.417m³.

Tabla 1. Especies con mayor volumen aprobado para manejo forestal por tipo de formación (2011-2014)

Regeneración natural	
Especie	Volumen (m ³)
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	859.016
Pichango (<i>Trichospermum sp</i>)	205.822
Balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>)	178.037
Mambla (<i>Erythrina poeppigiana</i>)	161.901
Caucho (<i>Castilla fantástica</i>)	150.746
Samán (<i>Samanea saman</i>)	113.453

Guaba (<i>Inga sp</i>)	82.790
Pigüe (<i>Piptocoma discolor</i>)	74.417
Sapan de palama (<i>Trema micrantha</i>)	66.828
Fernán Sánchez (<i>Triplaris guayaquilensis</i>)	66.828
Guama (<i>Inga edulis</i>)	40.753
Ciruelo (<i>Spondias mombin</i>)	39.022
Higuerón (<i>Ficus sp</i>)	36.184

Fuente: MAE, (2018)

En la **tabla 2** se visualiza el aprovechamiento forestal de bosque nativo del Ecuador; Pastaza se encuentra en el cuarto lugar, con 24907,83 m³ de volumen de madera aprobada, en 1111,35 hectáreas (Arias & Robles, 2010).

Tabla 2. Aprovechamiento forestal en bosque nativo por provincias en el año 2010

Provincias	Volumen aprobado	Superficie autorizada	Cantidad de programas
Esmeraldas	161633,27	6114,59	118,00
Sucumbíos	101567,82	7666,05	336,00
Orellana	54123,63	4389,10	277,00
Pastaza	24907,83	1111,35	146,00
Morona Santiago	19494,73	2015,48	140,00
Zamora Chinchipe	19400,33	1512,09	48,00
Napo	13679,83	677,55	100,00
Imbabura	1308,43	156,00	8,00
Santa Elena	180,08	250,00	1,00
Carchi	148,46	8,00	1,00
Total nacional	396444,41	23900,21	1176,00

Fuente: Arias & Robtlooles, (2010)

2.2.2. Biomasa forestal

La biomasa es referida principalmente a la energía solar convertida por la vegetación en más vegetación o materia orgánica y posteriormente dicha materia orgánica puede ser convertida en diferentes tipos de energía, acorde al uso que se le quiera dar (Patiño, 2014).

Según Gómez y Vergara (2010), la biomasa forestal es la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal, tanto por encima como por debajo del suelo. La biomasa forestal se puede clasificar en:

Natural: Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana, y que se puede aprovechar como fuente energética. Como por ejemplo los troncos, hojas, ramas, frutos, etc.

Residual Seca: Son los residuos que se generan en las actividades forestales o en la industria maderera y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, las podas de frutales, etc.

Los diferentes tipos de biomasa constituyen un recurso vital como fuente de energía en los países menos desarrollados del planeta, y cobra mayor atención en la actualidad, sobre todo en los países industrializados. Además, se conoce que pueden utilizarse como fuentes de obtención de carbón vegetal, biocombustibles líquidos y gaseosos, sustancias orgánicas, por procesos de descomposición térmica como la pirolisis y la gasificación. El bagazo, aserrín de diversas plantas maderables, entre otras; estas se acumulan localmente en los lugares donde se generan, constituyendo en muchas ocasiones fuentes de contaminación ambiental (Manals *et al.*, 2015)

2.2.2.1. Aprovechamiento del Aserrín

El aserrín es un material con bajo contenido en humedad y alto contenido en carbono, su degradabilidad es moderada a pobre. En general, es buen absorbente de humedad y olores. Normalmente está disponible a bajo costo. Se trata de un posible elemento para la formulación del compostaje de bueno a moderado (Duche, 2011).

Es el residuo resultante del proceso de aserrado de la madera, el cual se caracteriza por tener consistencia fuerte y densidad anhidra que normalmente es de 0.3891 gr/cm^3 (Montenegro, 2005).

El Aserrín es vendida o regalada a empresas que les dan diferentes usos, pero en muchas ocasiones se envía a los vertederos o se incineran indiscriminadamente, lo que es un derroche de materia orgánica rica en nutrientes (Salazar, 2014).

Nuevos estudios indican que el aserrín es usado como sustrato de germinación y crecimiento de la especie *Quercus humboldtii* (roble), maximizando el aprovechamiento de los

subproductos generados en el campo forestal, disminuyendo el impacto ambiental y los costos de propagación en viveros según los estudios de Montenegro (2005), además utilizan en la elaboración de Biol según Duche (2011), etc. La acumulación del aserrín puede tener efectos ambientales negativos: Al descomponerse, el dióxido de carbono contenido en la materia orgánica se dispersa en la atmósfera (Salazar, 2014).

El sol y las altas temperaturas, pueden provocar una pirolisis de baja temperatura en grandes montones de aserrín, haciendo que emitan gases contaminantes. La combustión eleva también la temperatura ambiente, produciendo un efecto de invernadero. Los residuos pueden ser un medio ideal para la propagación de plagas y enfermedades (Salazar, 2014).

2.2.2.2. Caracterización de la granulometría del aserrín

Generalmente las dimensiones de las partículas tienen un efecto importante sobre la forma en que se desarrolla el proceso de fabricación y sobre las propiedades de los tableros. El control de la geometría de las partículas empleadas es fundamental para dirigir el proceso de fabricación y esta tenga la calidad deseada (Cea, 2003).

Al aumentar el largo de las partículas, algunos autores indican que todas las propiedades del tablero aumentan, en contraposición de la mayoría, que coincide en que las reacciones son diferentes en las distintas propiedades mecánicas (Poblete, 1996).

Se ha determinado que al aumentar el largo de las partículas, la propiedad mecánica de flexión, tanto en el módulo de elasticidad (MOE), como en el módulo de rotura (MOR), se afectan en forma positiva (Poblete, 1979).

El efecto del espesor, al igual que el efecto del largo de las partículas sobre las propiedades del tablero, es diferente según el tipo de resistencia que se le mida al tablero. Es así como la propiedad de flexión baja al aumentar el espesor de las partículas (Poblete, 1996).

La propiedad de tracción perpendicular al plano se ve afectada notablemente por variaciones del espesor, es así como al aumentar el espesor de las partículas se mejora este tipo de resistencia (Cea, 2003).

Otras propiedades mecánicas, como el cizalle y extracción de tornillos, son influidas por variaciones del espesor, pero estas reacciones han sido tan poco estudiadas, se puede decir, que estas reacciones son muy pequeñas, excepto en el caso de extracción de tornillos cuando

las partículas son excesivamente gruesas, con lo que se aumenta considerablemente esta resistencia (Cea, 2003).

El ancho es la dimensión de la partícula que tiene menor o ninguna influencia sobre las propiedades de los tableros. Algunos estudios indican que en el caso de flexión se observan ligeros aumentos en esta resistencia al aumentar el ancho. Pero cuando el ancho y el largo tienen valores semejantes, la flexión nuevamente decrece, mientras que la resistencia a la tracción perpendicular, se incrementa al aumentar el ancho de las partículas (Cea, 2003).

2.2.3. Tipos de pegamentos

2.2.3.1 Pegamentos Naturales

Según Berenguer y Subils (2000), mencionan que los principales pegamentos se dividen en:

Colas animales: preparados a partir de colágenos de mamíferos, principal proteína del cuero, huesos y tendones.

Cola de pescado: naturaleza similar a la anterior. Se obtiene por extracción de pieles de pescado.

Cola de caseína: obtenida a partir de caseína, proteína obtenida de la leche

Cola de albumina de sangre: se prepara a partir de sangre fresca de matadero o de polvo seco de sangre soluble y agua

Cola de soja: tiene también naturaleza proteínica y se obtiene a partir de harina de soja en solución alcalina

Dextrinas: obtenidas a partir de la hidrólisis del almidón.

Látex: nombre que se da al producto natural obtenido del árbol de caucho.

Goma arábiga: obtenida por exudación del tronco ramas de árboles de acacia.

2.2.3.2 Resina de Copal

Es una palabra azteca que deriva de la palabra nahuatl copalli, que significa "con la ayuda de este camino" o "gracias a este camino". *Dacryoides peruviana* o comúnmente conocido como árbol de copal ocupa un Volumen Aprovechado de 1633,002 m³ (Aguirre *et al.*, 2015).

La resina de Copal o también llamada mirra para los indígenas de la Amazonía, es usada principalmente como incienso en ceremonias religiosas o rituales culturales relacionados con diferentes creencias porque agrada mucho el aroma (Cruz *et al.*, 2017).

En el ámbito industrial es utilizada para la elaboración de barnices y pegamentos (La resina se usa como sustituto de la cola y como cemento para pegar piezas rotas de loza, vidrio y porcelana); en algunas ocasiones estas especies son utilizadas también con fines medicinales ya fuera quemado, untado sobre la piel o como té (Cruz *et al.*, 2017).

2.2.3.3. Aprovechamiento sustentable de la resina de copal

Para su aprovechamiento se debe tener en cuenta la cantidad y frecuencia de resina que se extrae y se pica; por lo tanto, para un aprovechamiento sustentable hay que realizar las siguientes actividades:

Análisis para definir cuánta resina se puede extraer de un árbol, sin que se afecte su crecimiento y desarrollo, o cuántas hojas se pueden cortar a una planta, o cuántos frutos se pueden cosechar de los árboles de un lugar sin que éstos se agoten.

Contar con mapas de los terrenos donde se pueden localizar las áreas y donde se llevará a cabo la cosecha. Si no hay mapas disponibles, se recomienda hacer un croquis para ubicar las áreas o parajes. Analizar cuáles son los usos actuales del predio o las áreas que se van a manejar. Identificar las plantas que crecen en cada sitio, mientras mayor sea el detalle que se tenga sobre estos aspectos, mayor será la probabilidad de hacer un buen manejo, pues estará adaptado a las condiciones particulares del lugar. Realizar un inventario del total de árboles a extraer. Realizar muestreos en todos los tipos de hábitats que hay en el sitio de extracción (Purata, 2008).

2.2.3.4. Pegamentos artificiales

El uso de estos productos está aumentando rápidamente para todo tipo de aplicaciones, constituyendo una auténtica revolución de los métodos tradicionales para fijar y unir, según Berenguer y Subils (2000), se dividen en:

Termoplásticos: pueden ablandarse o fundirse rápidamente por la acción del calor, volviendo a endurecerse al enfriar sin experimentar cambios químicos.

Termoestables: por la acción de un agente externo, por ejemplo, un catalizador, el calor o la luz UV, experimentan una reacción química que los lleva aun estado sólido permanentemente, resistente al calor.

De contacto: se distribuyen sobre las dos superficies a unir, se deja un periodo para la evaporación parcial del disolvente que lo acompaña y luego se enfrían ambas partes. Forman enlaces fuertes con una elevada resistencia al deslizamiento.

De fusión en caliente: basados en compuestos a la vez fusibles y adherente, se aplican derretidos formando enlaces fuertes.

2.2.4. Normativas de embalajes

Según el artículo cinco del RTC-002 MDR del 2007, indica en los requisitos mínimos que deben cumplir los empaques para productos agrícolas de consumo humano, con el fin de prevenir riesgos en la salud humana, salud vegetal y evitar prácticas que puedan inducir a error al consumidor, los cuales deben:

- a) Ser nuevos.
- b) Estar construido con materiales inertes e inocuos y libres de residuos de fabricación.
- c) Permitir su manipulación y estibamiento durante el transporte y el almacenamiento.
- d) Contar con un diseño que permita la ventilación del producto en caso de requerirlo.
- e) Debe tener las medidas que le permita modular con las estibas de acuerdo con la Norma ISO 3394.

Según Keil & Spavento (2009), menciona las condiciones que deben cumplir los embalajes de madera son las siguientes:

- Soportar el mal trato y golpes sin transmitirlos al contenido
- Tener facilidad de manejo
- Tener facilidad de transporte y apilamiento
- No absorber agua

- Ser liviano
- Tener bajo costo (en relación al contenido)

2.2.4.1. Papel kraft

Según la norma técnica ecuatoriana INEN 1429 (1986), es el papel producido de pulpa kraft natural de fibra larga o la mezcla de pulpa kraft natural de fibra larga y corta. A continuación se muestra la en la **tabla 3** los requisitos.

Tabla 3. Especificaciones del papel Kraft medio

Requisitos	Unidad	Min	Máx.	Min	Máx.	min	Max	Método de ensayo
Gramage *	gm ²	127		146		161		INEN 1398
Humedad	%	7	8,5	7	8,5	7	8,5	INEN 1397
Espesor	Mm	0,2	0,25	0,2	0,28	0,3	0,3	INEN 1399
Absorción de la gota de agua	S	50	100	50	100	50	100	INEN 1407
Aplastamiento plano	N	267	---	289	---	311	---	INEN 1410
Retención en húmedo	%	5	---	5	---	5	---	INEN 1412
Tra Aplastamiento circular (Ring crush) Trasversal	N	156	---	178	---	214	---	INEN 1417
tolerancia ±5								

Fuente: INEN 1429, (1986)

2.2.4.2. Papel kraft forro

Según INEN 1428 (1987), indica que es el cartón o papel usado en cualquiera o ambos lados de un medio. Corrugado en la manufactura del cartón corrugado. Hecho de kraft fourdrinier o cilíndrico o yute en calibres de 0,23 mm a 0,76 mm. El material de forro proporciona resistencia, facilidad de trabajo y una superficie imprimible al cartón corrugado (**tabla 4**).

Tabla 4. Especificaciones del papel kraft forro regular y blanco.

Requisitos	unidad	Min	Máx	min	Máx	Min	Max	M in	Max	min	Max	Método de ensayo
Gramage *	gm ²											INEN 1398
Humedad	%	7	8,5	7	8,5	7	8,5	7	8,5	7	8,5	INEN 1397
Espesor	Mm	0,2	0,25	0,23	0,28	0,25	0,31	0,28	0,3	0,45	0,51	INEN 1399 3
Encolado lado liso	gm ²	40	65	40	65	40	65	40	65	40	65	INEN 1400
Encolado lado poroso	gm ²	40	70	40	70	40	70	40	70	40	70	INEN 1400
Estallido	KPa	310	345	393	427	483	517	552	556	896	931	INEN 1408
Aplastami ento circular (Ring Crush) longitudin al	N	445	---	289	---	378	---	423	---	578	---	NEN 1417
Aplastami ento circular (Ring Crush) transversal	N	178	---	200	---	245	---	289	---	489	----	NEN 1417

* tolerancia \pm 5%

Fuente: INEN 1428, (1987)

2.2.4.3. Resistencias del papel corrugado

El cartón corrugado es fabricado por un proceso continuo en una máquina corrugadora que da forma a las ondas y pega el liner board a ambos lados de la lámina ondulada, luego se seca, para fabricar las cajas se realizan los cortes (troqueladora) para formar las láminas diseccionadas. Posteriormente, se troquelan, doblan y pegan en una máquina conocida como "Flexo-golden-gluer" (Lammers *et al.*, 2001).

A través de ello se pueden producir una variedad de formas y figuras con el corrugado rayado y luego troquelado con matriz o simple corte. Las formas pueden doblarse para display o formas interiores de paquetes u otras configuraciones (Lammers *et al.*, 2001).

La resistencia y durabilidad del cartón, dada por la existencia de una lámina llamada corrugado central representado por una onda continua denomina cartón corrugado. Al observar horizontalmente forma una hilera de columnas, una forma estructural básica y capaz de soportar grandes pesos (Lammers *et al.*, 2001).

Luego, se pega una lámina de liner board a los lados de estas columnas. Visto ahora horizontalmente, las ondas son arcos, en otra forma estructural básica del cartón corrugado (Lammers *et al.*, 2001).

El cartón corrugado consiste, en una capa de papel Kraft liner unido a una capa de papel Kraft onda; las características de ambos tipos de papel son muy diferentes. El liner aporta la rigidez y el papel onda, la flexibilidad (Lammers *et al.*, 2001).

Normalmente el papel onda tiene un alto porcentaje de fibra reciclada a diferencia del liner que preferentemente se fabrica de fibra virgen de material vegetal. El papel onda, tiene una fibra más corta, tiende a absorber más humedad lo que disminuye aún más su resistencia corrugado. Esta combinación de columnas y arcos da lugar a un material mucho más resistente, esta estructura permite corrugado puede cortarse, casi en cualquier dirección (Lammers *et al.*, 2001).

2.2.4.4. Corrugado sencillo

Consta de sólo una lámina de liner unida a una lámina ondulada de papel onda; se obtiene un material flexible, en dos direcciones que se usa como elemento de embalaje, para amortiguación de impactos a la resistencia a golpes, el cartón corrugado simple consta de una lámina ondulada de papel onda pegada a dos liners obteniéndose así una plancha rígida con la cual se fabrican las cajas (Lammers *et al.*, 2001).

2.2.4.5. Cartón corrugado doble

Consta de dos láminas onduladas y tres láminas de liner, logrando así una mayor resistencia aún, especialmente recomendado para el caso de envases que estarán sometidos a condiciones de alta humedad y/o un transporte, con muchas vibraciones e impactos y almacenamiento

prolongado. El cartón corrugado triple se construye con tres láminas de papel onda y cuatro láminas de liner, para dar una resistencia excepcional durante el almacenamiento y transporte de elementos pesados y voluminosos (Lammers *et al.*, 2001).

2.2.5. Proceso de fabricación de tableros de partículas

Para elaborar embalajes a partir de biomasa vegetal, se realiza la comparación con el proceso de fabricación de tableros de partículas (la base es aserrín o viruta provenientes del astillado), en la que según Peredo & Torres (1991), indica el siguiente proceso:

- a. **Astillado:** proceso físico en el que se ocupa un molino para la disminución del tamaño del material.
- b. **Viruteado:** la maquina utilizada fue una PALLMANN, modelo PZ-6, lo que permite obtener partículas con dimensiones adecuadas para la fabricación de los tableros.
- c. **Secado y tamizado:** Con el objeto de disminuir el contenido de humedad del material se procede a secar las virutas en un secador HERAEUS, modelo TU-h2. Alcanzado los niveles promedio de contenido de humedad (4 a 8%), se procede a clasificar las astillas para formar las capas externas y la intermedias de los tableros. Esta separación del material se llevó a cabo mediante el tamizado de las astillas finas y gruesas.

Una vez realizada la clasificación de las partículas se procede nuevamente a determinar el contenido de humedad del material para cada tipo de partícula, obteniéndose un 4% de contenido de humedad para las gruesas y un 8% para el material fino.

- d. **Encolado de las partículas:** las partículas se encolan separadamente de acuerdo a la capa del tablero, utilizando la siguiente relación de encolado:

- Capa externa: 9% de resina seca referida al peso anhidro de las partículas.
- Capa media: 7% de resina seca, en relación al peso anhidro de las partículas.
- Agente hidrófobo: 0.8% de parafina sólida, en relación al peso anhidro de la madera.

Para realizar este proceso se utiliza una encoladura marca DRAIS, modelo FSP 80.

- e. **Fabricación de los tableros:** Se elaboraron tableros de tres capas, distribuyendo el material tamizado de la siguiente forma:

- Capas externas: 50% en peso, de partículas finas.
- Capa media: 50% en peso, de partículas gruesas.

f. Condiciones de elaboración:

- Densidad esperada: 700 kg/m^3
- Prepresado: manual
- Ciclo de presado: temperatura de los platos $\pm 160^\circ \text{ C}$, presión máxima de 2.5 N/mm^2 , mantenidos durante tres minutos aproximadamente.
- Presión media: dos minutos.
- Tiempo total de presado: seis minutos.
- Espesor del tablero: 11 mm

2.2.6. Análisis físico-químico del aserrín de Pigüe

2.2.6.1. Humedad

Las estadísticas descriptivas indican que como promedio las muestras contienen un 44% de humedad, variando dentro del rango 36-66%, el cual representa valores esperados si consideramos las condiciones climáticas del entorno amazónico. Además, este valor se encuentra dentro del rango del contenido de humedad 50% (Cárdenas, 2016).

2.2.6.2 Ceniza

El contenido promedio de cenizas es de 0.96%, lo cual indica que el porcentaje de los residuos sólidos no combustible en el aserrín del Pigüe; estos resultados se encuentran dentro de los rangos de la norma establecida por EN 14612-2:2011, lo que permite el aprovechamiento para la producción de *pellets* y embalajes ya que dichas biomoleculares presentan propiedades comburentes por sus largas cadenas carbonadas. Este resultado permite realizar el cálculo del poder calorífico de la biomasa vegetal basado en la norma AOAC 19th 954.01 (Cárdenas, 2016).

2.2.6.3. Grasa

El contenido de grasas resultó ser muy similar para las diferentes muestras, lo cual fue confirmado por la simple observación de los valores. De todas las variables físico-químicas estudiadas, las grasas se presentan en menor valor porcentual que las restantes.

Similar al caso de las proteínas, estas biomoléculas son combustibles, quizás con menor densidad energética que los carbohidratos, pero contribuyen positivamente al poder calorífico del aserrín de Pigüe. En el caso de las muestras analizadas, la cantidad porcentual promedio es de 0.16%. Permitiendo de la misma manera realizar el cálculo del poder calorífico de la biomasa vegetal basado en la norma AOAC 19th 920.39 (Cárdenas, 2016).

2.2.6.4. Fibra

El contenido porcentual promedio de fibra en las muestras estudiadas es del 75.18%, con un valor mínimo de 71.17% y máximo de 84.46%. Basado en el método de la norma NTE INEN 542 (Cárdenas, 2016).

Tabla 5. Valores porcentuales físico-químicos del aserrín de Pigüe.

PARÁMETRO	ASERRÍN DE PIGÜE (%)
Humedad	43,67
Cenizas	0,96
Fibra	75,18
Grasas	0,16

Fuente: Cárdenas, (2016)

2.2.7. Tipo de análisis del embalaje para resistencia mecánica

Estos son ensayos que permitieron evaluar la calidad del producto final y las características físicas del sistema de envase y embalaje desarrollado para dicho producto.

Se pueden realizar los ensayos de compresión, tracción, apilamiento, caída, caracterización del medio de transporte (Navarro *et al.*, 2007).

2.2.7.1. Ensayo de compresión:

Estudio del comportamiento de los materiales ante la compresión. Este ensayo es especialmente útil para los materiales de contención de producto finos y productos que se pueden embalar como auto portantes (Navarro *et al.*, 2007).

2.2.7.2. Ensayo de tracción:

El ensayo a tracción es la forma básica de obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Mediante una máquina de ensayos se deforma una muestra o probeta del material a estudiar, aplicando la fuerza uniaxialmente en el sentido del eje de la muestra. Permite conocer la resistencia mecánica a tracción de los materiales. Este ensayo es importante para cinchas, enfajados, flejes y cartón entre otros materiales. Tiene por objetivo definir la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando se le somete a fuerzas uniaxiales (Navarro *et al.*, 2007).

2.2.7.3. Ensayo de creep:

Es un ensayo que permite conocer la evolución en el tiempo de un material que soporta carga sobre sí mismo en condiciones estáticas (Navarro *et al.*, 2007).

2.2.7.4. Ensayo de fragilidad:

Permite conocer la resistencia del producto. Este ensayo es especialmente importante cuando el producto a proteger es caro o frágil o se rompe sin que el embalaje sufra daños (Navarro *et al.*, 2007).

2.2.7.5. Ensayo de flexión:

Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras (Navarro *et al.*, 2007).

Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos (Navarro *et al.*, 2007).

Los objetivos de los ensayos de flexión son principalmente dos:

- Determinar una curva carga - desplazamiento del prototipo
- Determinar la distribución de deformaciones y de tensiones en la tela al estar solicitado el elemento a flexión (Navarro *et al.*, 2007).

CAPITULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización y duración del experimento

La presente investigación se realizó en los laboratorios de: Agroindustrial, química y bromatología de la Universidad Estatal Amazónica, **figura 1**; la duración del experimento fue de tres meses, **tabla 6**.

Tabla 6. Condiciones meteorológicas de Puyo- Pastaza.

Variables	Medidas
Altitud	960 msnm
Latitud	0° 59' 1S
Longitud	77°49'0"W
Humedad Relativa Promedio	91 %
Pluviosidad	4800mm/año
Temperatura media	22°C

Fuente: INAMHI, (2015)



Figura 1. Ubicación geográfica

Fuente: google Earth Pro

3.2. Tipo de investigación

El estudio fue exploratorio y experimental, pues fue desarrollado basados en experiencias previas, en cuanto a la teoría (investigación) y la aplicación práctica de acuerdo al estudio realizado.

3.2.1. Carácter

La presente investigación fue cualitativa (textura y color) y cuantitativo, por cuanto todas las unidades a estudiarse (tiempo, temperatura, densidad, flexión y tracción), pudieron ser medidas de manera exacta y sistemática.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Investigación empírico - analítico

Según Inche *et al.*, (2003) el método empírico - analítico es una propuesta metodológica para orientar el diseño, desarrollo y evaluación de trabajos de investigación, estas se pueden llevar a cabo en forma independiente o en combinación con la metodología cualitativa y cuantitativa

En este método de investigación se basa en la caracterización de un embalaje, cuya materia prima principal es el aserrín de Pigüe aplicando pegamentos naturales y artificiales válida a través de la experimentación de los parámetros físicos - mecánicos (Cárdenas, 2016).

3.3.2. Investigación de campo

Los beneficiarios de esta investigación son los productores de la asociación del Pigüe, para el embalaje de frutas de la provincia de Pastaza; los cuales facilitan la madera para la transformación y la obtención de muestras (aserrín). Para el diseño experimental se utilizó la materia prima obtenida de los cuatro cantones de Mera, Santa Clara, Arajuno y Pastaza.

Se fundamentó en la información del potencial de biomasa del aserrín de Pigüe gracias a los estudios realizados por Cárdenas (2016), que han sido tomados en diferentes puntos de la provincia de Pastaza, para lograr su aprovechamiento en el estudio y la industrialización del aserrín, lo que ayudó a obtener el embalaje y que permitirá algún momento al proceso industrial y por ende ayudar a la comercialización de las frutas amazónicas.

3.4. Diseño de la investigación

En la presente investigación se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial A x B, el cual presenta las siguientes características (**tabla 7**).

Tabla 7. Características del diseño experimental.

Numero de tratamientos	6 tratamientos
Numero de observaciones	4 por tratamiento
Unidad experimental	Cada unidad experimental estará compuesta por una mezcla de 250g
Número de unidades experimentales	24 unidades (cada unidad contuvo aprox. 65g en seco)

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Tratamientos

Cada factor que interviene en la mezcla de la masa, para elaborar el embalaje se describe a continuación en la **tabla 8**, donde se demuestra los seis tratamientos realizados con su respectiva codificación y descripción de la misma.

Tabla 8. Diseños de experimentos.

No.	CÓDIGOS	DETALLE
T1	A1B1	P1 + aserrín Pigüe con luz de malla de 425 μ m
T2	A1B2	P1 + aserrín Pigüe con luz de malla de 500 μ m
T3	A1B3	P1 + aserrín Pigüe con luz de malla de 850 μ m
T4	A2B1	P2 + aserrín Pigüe con luz de malla de 425 μ m
T5	A2B2	P2 + aserrín Pigüe con luz de malla de 500 μ m
T6	A2B3	P2 + aserrín Pigüe con luz de malla de 850 μ m
Número de observaciones		Total =24

Fuente: Elaboración propia

P1: resina de copal, almidón de maíz y acetato de polivinilo

P2: acetato de polivinilo

3.4.2. Modelo estadístico utilizado para el análisis

El experimento fue un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial A x B con 4 repeticiones, el mismo que permitió construir la tabla ANOVA.

Modelo matemático del diseño completamente aleatorizado utilizado en el experimento, según Lara (2000), es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (ab)_{ij} + e_{ij}$$

Donde,

Y_{ij}: Representa la observación correspondiente al nivel “i” (flexión) del factor A y al nivel “j” (tracción) del factor B

μ: Efecto constante denominado media global.

A_i: Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor A (PEGAMENTO).

B_j: Efecto producido por el nivel j-ésimo del factor B (GRANULOMETRIA).

(ab)_{ij}: Efecto producido por la interacción entre A x B.

e_{ij}: es el error experimental.

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos obtenidos para tracción y flexión en relación al pegamento y granulometría fueron registrados y pre procesado en una hoja Excel, para realizar los análisis cuantitativos y determinar las diferencias significativas de los tratamientos, los cuales fueron procesados en el programa estadística inferencial Infostat Statistic Software, versión 0.1.0.0 como se muestra en el **anexo 2**.

3.5.1 Procedimiento tecnológico

a. Recepción de la materia prima

La materia prima como el Pigüe, se clasificó entre ramas y troncos evitando objetos diferentes al material vegetal los mismos que fueron extraídos en diferentes sitios de la provincia de Pastaza.

b. Troceado y Astillado

Para el proceso de troceado de Pigüe se realizó con ayuda de una motosierra y el astillado con una sierra eléctrica, obteniendo irregulares tamaños de astillas, que permitió realizar posteriormente el secado en un horno industrial.

c. Secado

El Pigüe fue secado en el horno marca MAJETIC a una temperatura de 180 °C por un tiempo de cincuenta minutos, de esta manera se facilitó la molienda.

d. Molido y tamizado

La materia prima (Pigüe) fue molido en un equipo marca THOMAS-Wiley y posteriormente pulverizada en un equipo marca FRITSCH, obteniendo así la disminución de tamaño del aserrín. Se caracterizó el tamaño de las partículas de aserrín, mediante el método de tamizado cuya luz de mallas utilizadas fueron: 850 µm, 500 µm y 425 µm.

e. Formulaciones y elaboración de pegamentos

Para la elaboración de los embalajes se aplicó dos formulaciones.

e.1. Preparación “fórmula uno”: se realizó por tres procesos, los cuales fueron preparados con: almidón de maíz, resina de copal y cola blanca, como se describe en las **tablas 9, 10 y 11.**

Primer proceso

Fue a base, del 30 % de almidón de maíz (maicena), con reactivos y aditivos utilizados cuya descripción se muestra en la **tabla 9.**

Tabla 9. Preparación del almidón de maíz

SOLUCIÓN ALMIDÓN DE MAÍZ			
Descripción	Porcentaje	Cantidad	Unidad
Bórax	2.7	37	g
Almidón de maíz cocido	30	411	g
NaOH	2.7	37	ml
Etanol	0.3	4	ml
Aceite de Ricino	0.1	1	ml
Agua	64	877	ml
Total	100	1368	ml

Fuente: Elaboración propia

Para preparar el almidón de maíz, se procedió a la dilución al 5% y cocido del almidón con el 95% de agua y por un tiempo de treinta minutos a temperatura entre 93-95 °C (Celsius).

Segundo proceso

Se utilizó cola blanca de carpintero, por su alta adherencia a la madera y se diluyó en agua, a temperatura de 165 ± 5 °C por el tiempo de cinco minutos como se muestra en la **tabla 10**.

Tabla 10. Preparación de cola blanca.

DILUCIÓN DE COLA BLANCA			
Descripción	Porcentaje	Cantidad	Unidad
Cola blanca	28	222	ml
Agua	72	570	ml
Total	100	792	ml

Fuente: Elaboración propia

Tercer proceso

La resina de copal previa a su molienda, fue expuesta directamente al calor a una temperatura de 85-90 °C por el tiempo de siete minutos, hasta lograr la dilución y conseguir una mezcla homogénea con el thinner a una temperatura ambiente (20 °C), el porcentaje utilizado se muestra en la **tabla 11**.

Tabla 11. Preparación de la resina de copal.

DILUCIÓN DE RESINA DE COPAL			
Descripción	Porcentaje	Cantidad	Unidad
Resina	37	89	g
Thinner	63	151	ml
Total	100	240	ml

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se elaboró la formulación a base de los tres procesos antes mencionados, el mismo que se denominó “P1” como se indica en la **tabla 12** y se muestra en el diagrama de flujo detallado en el **anexo 5**.

Tabla 12. Formulación final integrando los tres procesos (resina de copal, almidón de maíz y cola blanca).

PEGAMENTO - FORMULA UNO			
Descripción	Porcentaje	Cantidad	Unidad
Resina diluida en thinner	10	240	ml
Pegamento a base de almidón	57	1368	ml
Cola blanca diluida en agua	33	792	ml
Total	100	2400	ml

Fuente: Elaboración propia

e.2 Preparación pegamento formula dos o también denominada P2: conociendo el potencial de la cola blanca de carpintero, adhesivo de gran viscosidad para el encolado de superficies exigente como lo es la madera, se planteó esta formulación con el 50% agua y 50% cola blanca el cual sufrió un proceso de calentamiento a una temperatura de 65-67 °C por un tiempo de cinco minutos como se indica en la **tabla 13** y se muestra en el **anexo 6**.

Tabla 13. Formulación a base de goma blanca.

PEGAMENTO FORMULA DOS			
Descripción	Porcentaje	Cantidad	Unidad
Cola blanca	50	1000	ml
Agua	50	1000	ml
Total	100	2000	ml

Fuente: Elaboración propia

f. Mezclado y Moldeo de láminas del embalaje

La materia prima aserrín de Pigüe con diferente granulometría y pegamentos fueron dosificados de acuerdo a la formulación y tratamientos como se indica en la **tabla 8**.

La formulación general de la masa (aserrín y pegamento) de todos los tratamientos fue: pegamento 60% y aserrín de Pigüe 40%.

g. Prensado

Cada muestra fue sometida en una prensa manual, láminas de metal cuyo funcionamiento físico es ajustada por cuatro pernos, como se muestra en el **anexo 1**.

El par (fuerza por distancia) ejercida en todas las muestras fue de 24lb*pie, determinada gracias a una llave de torsión denominado torquímetro. El área de cada muestra fue de 30 x 20 cm, mediante la fórmula de la presión,

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Se determinó que la presión ejercida en cada lámina de biomasa es de 0.86 N/mm².

h. Secado de muestras

En este proceso las muestras fueron sometidas a temperatura que varía entre 165 ± 5 °C con un tiempo constante de treinta minutos.

i. Almacenamiento

Todas las muestras elaboradas fueron almacenadas en un lugar fresco y seco, donde se evite el contacto con el agua.

3.5.2 Tipos de análisis

3.5.2.1 Variables físicas

Se analizaron las siguientes variables físicas, de las láminas de biomasa forestal, elaboradas en el laboratorio de agroindustrias, campus Puyo, de la Universidad Estatal Amazónica:

- a. Temperatura en el prensado
- b. Tiempo en el prensado
- c. Densidad de las láminas de biomasa forestal

3.5.2.2 Variables mecánicas

Las propiedades mecánicas de las láminas de biomasa forestal, fueron examinados en el laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional en Quito, donde se realizó ensayos de resistencia a la:

- a. Flexión
- b. Tracción

Para el análisis de la propiedad mecánica “flexión y tracción” fue desarrollado bajo la normativa ASTM D1037, Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood- Base Fiber and Particle Panel Materials.

Este método determina las propiedades de fibra de madera y materiales de paneles de partículas como: Tamaño y apariencia de los tableros, Propiedades de resistencia: flexión estática, Resistencia a la tracción paralela a la superficie, Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie, Resistencia a la compresión paralela a la superficie, además, ayudan a determinar datos para comparar la mecánica y física de:

Datos para determinar la influencia en la propiedad básica de factores tales como materia prima y variables de procesamiento, tratamientos posteriores de paneles e influencias ambientales, y datos para control de fabricación, investigación de productos.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la granulometría

Se obtuvieron diferentes tamaños de partículas (p), en dependencia a la luz de malla utilizada: Con luz de malla de 425 μm , $p1 < 425 \mu\text{m}$, en el cual hubo una retención del 25%; con luz de malla de 500 μm , $p2 < 500 \mu\text{m}$ y $> 425 \mu\text{m}$, con una retención del 32%; con la de 850 μm , $p3 < 850$ y $> 500 \mu\text{m}$; en este último se obtuvo los mejores resultados, puesto que tuvo una retención del 43%, (**tabla 14**). La distribución granulométrica del Pigüe es muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, es un material muy heterogéneo.

Tabla 14. Pesos de muestras tamizadas de aserrín en dependencia al tamaño.

Luz de malla	Total	Porcentaje (%)
850 μm (p3)	3216.18 g	43
500 μm (p2)	2345.62 g	32
425 μm (p1)	1896.26 g	25
Total	7458.06 g	100

Fuente: Elaboración propia

Según Concepción *et al.*, (2016) se puede establecer el régimen de molienda, buscando los tamaños de partículas adecuados para su utilización como materia prima, en la elaboración de diversos productos maderables con alto valor agregado, por lo tanto, con luz de malla de 850 μm .

4.2. Determinación de las fórmulas para la elaboración de los pegamentos

Se formularon dos pegamentos, en la que todos los componentes tienen una amplia relación con la adhesión de la biomasa forestal. Para el “P1”, se recalco algunos elementos que lo caracterizaron como ; el almidón de maíz que permite aumentar la viscosidad según Díaz & Fiallos (2011), puede llegar a tener de 500 a 850 Unidades Brabender (refleja la consistencia de la pasta y las propiedades bajo calentamiento y enfriamiento en un tiempo determinado).

El Bórax (borato de sodio) el cual ayuda a la formación inicial del pegado; después de ser gelatinizado el almidón se vuelve más espeso y pegajoso según Díaz & Fiallos (2011). Otro elemento que mejoró la calidad del pegamento fue la resina de copal o también conocida

como goma natural disuelta en un solvente (thinner) para aprovechar sus características de adherencia, como lo indica Cruz *et al.*, (2017) el cual ayudó a desarrollar la pegajosidad, al igual que la cola blanca o también conocido como Acetato de Polivinilo (PVA) como lo menciona Cuevas & Poblete, (2007) este último se utilizó un bajas concentraciones, ver **tabla 11**, por lo que es costoso y utilizado comúnmente para la elaboración de madera prensada.

Todos estos componentes antes mencionados permitieron aumentar la resistencia a la separación, haciendo la unión fuerte y flexible, a comparación con el P2, donde se utilizó cola blanca (Acetato de Polivinilo), la cual es conocida por su estrecha relación con la madera, puesto que proporciona una mayor uniformidad a sus propiedades físicas y mecánicas como lo indica Carrillo *et al.*, (2014), este pegamento ha permitido definir algunos parámetros, tales como: flexión, tracción, densidad, humedad, dilatación como lo mencionan en sus investigaciones Gómez *et al.*, (2009), en tableros prensados de bambú.

4.3. Propiedades físicas

4.3.1. Tiempos y temperaturas en el prensado

Las láminas de embalaje compuestas de aserrín de Pigüe, **tabla 8**, fueron elaboradas mediante las variables que se muestran en la **tabla 15**.

Tabla 15. Comparación con otros autores sobre las condiciones para la elaboración de tableros a partir de biomasa forestal.

VARIABLES	Condiciones empleadas en la investigación	Según (Morales <i>et al.</i>, 2016)	Según (Bellido <i>et al.</i>, 2003)	Según (Poblete <i>et al.</i>, 1996)	Según (Peredo <i>et al.</i>, 1993)	Según (Peredo & Torres, 1991)
Presión	0.86 N/mm ²	10.79 N/mm ²	4.9 N/mm ²	1.5 N/mm ²	1 N/mm ²	2.5 N/mm ²
Temperatura de prensado	165 ± 5 °C	180° C	150° C	130- 190°C	180 ± 10 °C	160°C
Espesor promedio	2.5 mm	3.9 mm	5 mm	11 mm	11 mm	11 mm
Tiempo de prensado	30 min	10 min	2 min	4.5 - 6 min	6 min	6 min
Tipo de material	Aserrín de Pigüe	Mezclas residuales lignocelulósicos de bagazo	Pulpa de aserrín y astillas de madera	Astillas de árboles sin descortezar de roble	Astillas y virutas de Roble, Raulí y Pino	Aserrín y virutas de Pino con y sin corteza

Fuente: Elaboración propia

Cada uno de estas variables influye en las características finales de la lámina de embalaje. En la **tabla 15**, se puede observar que la presión ejercida fue inferior a todos los autores que se mencionan en la tabla comparativa. Se puede analizar que, entre mayor sea el espesor mayor será la presión que se utilice, en dependencia del material que se emplee; mientras que la temperatura de prensado es similar a los mencionados por Poblete *et al.*, (1996) así como también (Peredo & Torres, 1991).

El tiempo ocupado es mucho mayor comparado a los autores mencionado anteriormente, los cuales utilizan prensadores de platos calientes, donde el calor fluye desde los platos a través de la superficie del material hasta llegar al interior del tablero, lo que reduce el tiempo en el prensado, mientras que en la presente investigación se manipuló láminas de metal cuyo funcionamiento físico fue ajustado por cuatro pernos, como se muestra en el **anexo 1**, el cual alargo el tiempo de prensado.

4.3.2. Análisis de la densidad

Los resultados que se muestran en la **tabla 16**, fueron obtenidos aplicando la fórmula de la densidad, que expresa la relación entre la masa y el volumen de la lámina de embalaje elaborada.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Tabla 16. Densidad de las láminas de embalaje.

Tratamiento	Código	Densidad
1	A1B1	0,69 g/cm ³
2	A1B2	0,61 g/cm ³
3	A1B3	0,59 g/cm ³
4	A2B2	0,60 g/cm ³
5	A2B2	0,59 g/cm ³
6	A2B3	0,59 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se muestran en la **tabla 16**, indican que la mejor lamina es el T1, cuya densidad es de 0,69 g/cm³ que equivale a 690 kg/m³; relacionado con los tableros de

partículas, son similares a los datos obtenidos por Peredo *et al.*, (1993) con 700 kg/m^3 e inferiores a los generados por Gorrini *et al.*, (2004) cuya densidad es de 640 kg/m^3 . Estos resultados demuestran que la lámina de embalaje obtendrá mejores características mecánicas como lo indica el autor antes mencionado.

4.4. Propiedades mecánicas

4.4.1 Flexión

4.4.1.1. Granulometría

Con los datos que se reportan en el **anexo 2**, se realizó el análisis de varianza de resistencia a la flexión en relación a la granulometría, **tabla 17**, donde se muestra que, existen diferencias altamente significativas debido al tamaño de partículas utilizadas. Con una prueba estadística Fisher de 9.15, una probabilidad de ocurrencia menor al 0.14% y el coeficiente de variación de 4.42% permitió tener una alta confiabilidad.

Tabla 17. Análisis de Varianza de resistencia a la flexión vs granulometría.

F.V.	SC	GI	CM	F	P – valor
Modelo	1,08	2	0,54	9,15	0,0014
Tratamientos	1,08	2	0,54	9,15	0,0014
Error Exp.	1,24	21	0,06	C.V: 4.42 %	
TOTAL	2,32	23			

Fuente: Elaboración propia

El análisis obtenido por la prueba de Tukey al 5% (ver **Tabla 18**), de granulometría muestra que el tamaño de partícula de $850 \mu\text{m}$ y $500 \mu\text{m}$, son los mejores en relación al de $425 \mu\text{m}$ (ver **figura 2**). La resistencia a la flexión de los dos primeros tratamientos antes mencionados es de 5.65 N/mm^2 por tanto difieren a los obtenidos por Poblete (1979), mientras que el de $425 \mu\text{m}$ es de 5.2 N/mm^2 , lo que indica que es menor a los resultados expresados por el autor antes mencionado, por ende con partículas de $425 \mu\text{m}$ puede llegar a obtener fácilmente deformaciones según la carga como menciona Navarro *et al.*, (2007), pero no cumple con la NTE INEN 3110 (2016), donde indica que la exigencia mínima de 11.5 N/mm^2 .

Tabla 18. Porcentajes de resistencia a la flexión en relación a la granulometría.

Tratamiento μm	Medias %	Rango
850	5,65	A
500	5,65	A
425	5,20	B

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

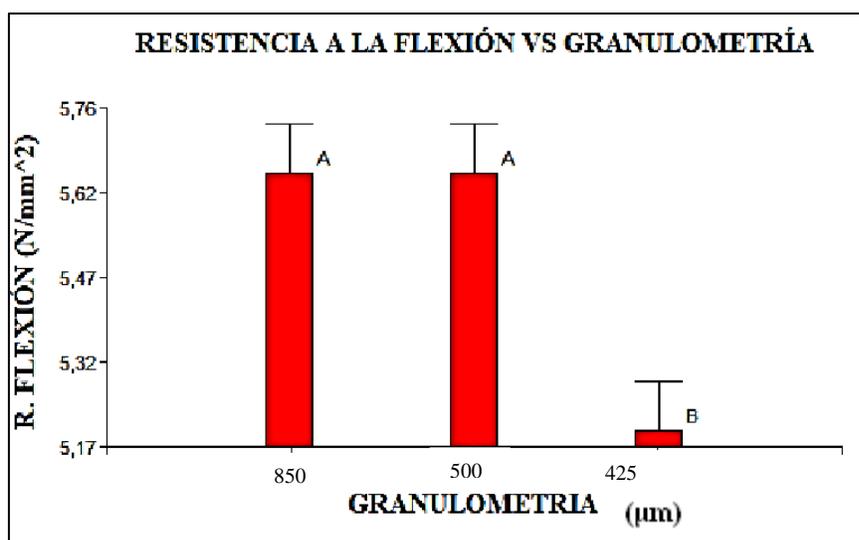


Figura 2. Resistencia a la Flexión vs granulometría.

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2. Pegamento

Con los datos reportados en el **anexo 2**, se realizó el análisis de varianza para la resistencia a la flexión en relación a los dos pegamentos utilizados en la investigación, **tabla 19**, indica que el P1 (compuesta de resina de copal, almidón de maíz y cola blanca) muestra resultados ampliamente significativos en relación al pegamento dos (compuesta de cola blanca); es decir que hay diferencia entre los dos niveles utilizados en el estudio. Con una prueba estadística Fisher de 15.53, una probabilidad de ocurrencia menor al 0.07% y el coeficiente de variación de 4.52% permite tener una alta confiabilidad.

Tabla 19. Análisis de varianza de resistencia a la flexión en relación al pegamento.

F.V.	SC	Gl	CM	F	P – valor
Modelo	0,96	1	0,96	15,53	0,0007
Tratamientos	0,96	1	0,96	15,53	0,0007
Error Exp.	1,36	22	0,06	C.V: 4.52 %	
TOTAL	2,32	23			

Fuente: Elaboración propia

El análisis obtenido por la prueba de Tukey al 5% (ver **tabla 20**), del pegamento, muestran que los mejores resultados a la resistencia de flexión son con el P1 (ver **figura 3**); por lo tanto brindará mejores características físicas al embalaje a diferencia del P2 debido a los componentes antes mencionados en la **tabla 12**; lo que significa que el tipo de pegamento afecta de forma significativa la flexión de la lámina como lo menciona (Peredo *et al.*, 1993).

Tabla 20. Porcentaje de resistencia a la flexión en relación al pegamento.

Tratamiento	Medias %	Rango
P1	5,70	A
P2	5,30	B

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

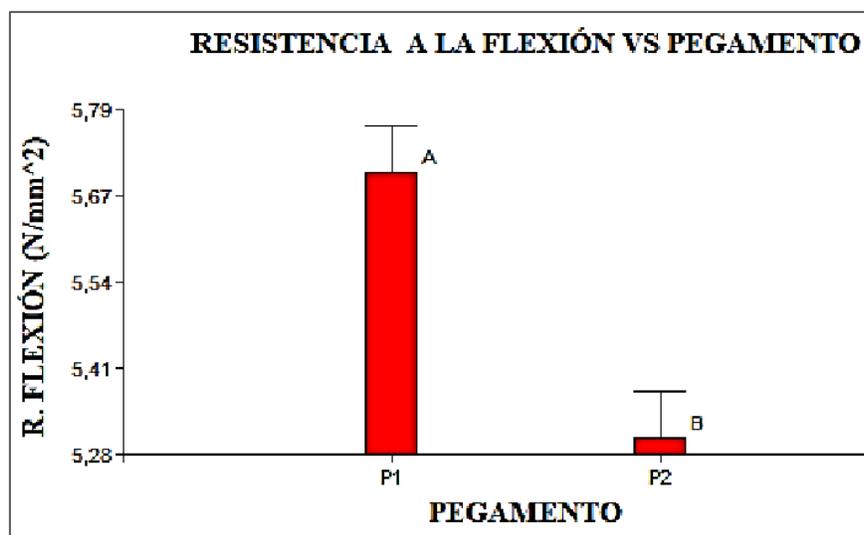


Figura 3. Flexión vs pegamento.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Tracción

4.4.2.1 Granulometría

Con los datos reportados en el **anexo 2**, se realizó el análisis de varianza de resistencia a la tracción en relación a la granulometría utilizada en la investigación, **tabla 21**, en la que indica que, existen diferencias altamente significativas. Con una prueba estadística Fisher de 23,79; una probabilidad de ocurrencia menor al 0.01% y coeficiente de variación de 18.72% permitió tener una alta confiabilidad.

Tabla 21. Análisis de Varianza de resistencia a la tracción en relación a la granulometría.

F.V.	SC	GI	CM	F	P – valor
Modelo	18,43	2	9,22	23,79	< 0,0001
tratamientos	18,43	2	9,22	23,79	< 0,0001
Error Exp.	8,13	21	0,39		
TOTAL	26,57	23			18,72 %

Fuente: Elaboración propia

El análisis obtenido por la prueba de Tukey al 5% (ver **Tabla 22**), de granulometría muestra que, el tamaño de partícula de 850 μm correspondiente es uno de los mejores resultados, muy contrario al de 500 μm (**figura 4**).

Los tres primeros tratamientos antes mencionados presentan una resistencia a la tracción de 4,10 N/mm^2 ; 3,78 N/mm^2 y 2,10 N/mm^2 ; por lo tanto cumple ésta propiedad mecánica, de acuerdo a la normativa DIN 68763 donde menciona que la exigencia mínima es de 0.4 N/mm^2 según señala (Peredo *et al.*, 1996)

Tabla 22. Porcentaje de resistencia a la tracción en relación a la granulometría.

Tratamiento μm	Medias %	Rango
850	4,10	A
425	3,78	A
500	2,10	B

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VS GRANULOMETRÍA

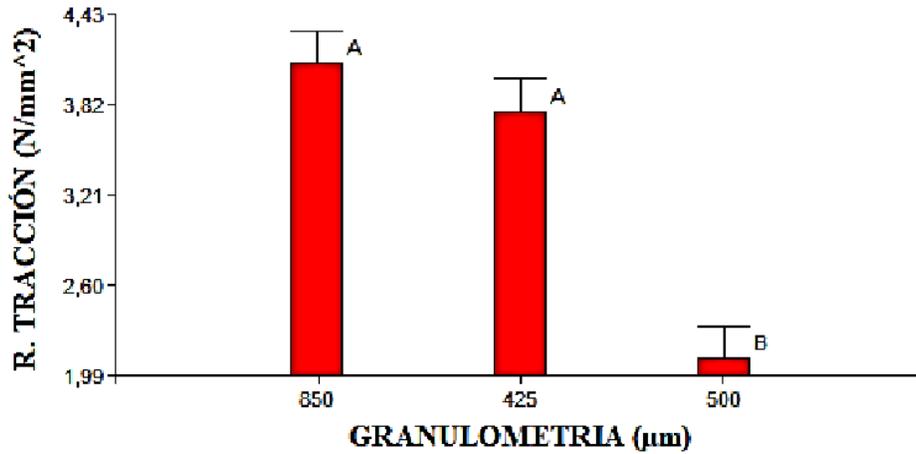


Figura 4. Resistencia a la tracción vs Granulometría.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2 Pegamento

Con los datos reportados en el **anexo 2**, se realizó el análisis de varianza de resistencia a la tracción en relación al pegamento utilizada en la investigación, ver **tabla 23**. Según el análisis de varianza, los dos tipos de pegamento son distintos entre sí, por lo tanto, existe diferencia significativa. Con una prueba estadística Fisher de 5.15, una probabilidad de ocurrencia menor al 3.33% y el coeficiente de variación de 29.75% permite tener una adecuada confiabilidad.

Tabla 23. Análisis de la varianza de resistencia a la tracción en relación al pegamento.

F.V.	SC	GI	CM	F	P – valor
Modelo	5,04	1	5,04	5,15	0,0333
tratamientos	5,04	1	5,04	5,15	0,0333
Error Exp.	21,52	22	0,98		
TOTAL	26,57	23			C.V: 29,75 %

Fuente: Elaboración propia

El análisis obtenido por la prueba de Tukey al 5% (ver **tabla 24**), del pegamento, muestran que los mejores resultados a la resistencia de tracción es el P1 muy contrario al P2, **figura 5**; lo cual confirma que influye significativamente los componentes utilizados (**tabla 12**).

Los resultados muestran que la combinación de cola blanca, resina de copal y almidón de maíz forman uniones fuertes con las partículas de madera; mientras que, solo utilizando

acetato de polivinilo (cola blanca) la resistencia a la tracción será menor, como lo indica Gómez *et al.*, (2009), donde muestra que el resultado promedio de su investigación fue de 0.82 N/mm².

Tabla 24. Porcentaje de resistencia a la tracción en relación al pegamento.

Tratamiento	Medias %	Rango
P1	5,70	A
P2	5,30	B

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

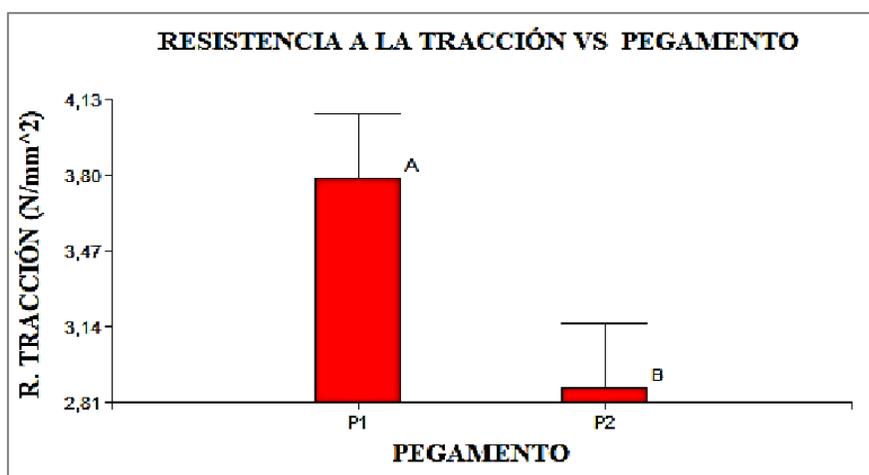


Figura 5. Resistencia a la tracción vs pegamento.

Fuente: elaboración propia

4.4.3. Relación de las variables mecánicas entre el pegamento y la granulometría.

Con los datos reportados en el **anexo 2**, se realizó el análisis de varianza de la relación entre el pegamento y la granulometría donde muestra que, es altamente significativo, lo que indica que el tipo de adhesivo y el tamaño de la partícula guardan una estrecha relación, los cuales afectan a las propiedades mecánicas. Con una prueba estadística Fisher de 38,57 para granulometría, 68,57 para pegamento; una probabilidad de ocurrencia menor al 0.01% y el coeficiente de variación de 2.15% permite tener una alta confiabilidad, ver **tabla 25**.

Tabla 25. Análisis de variancia de la interacción del pegamento y la granulometría.

F.V.	SC	Gl	CM	F	P – valor
Modelo	2,04	3	0,68	48,57	< 0,0001
Granulometría	1,08	2	0,54	38,57	< 0,0001
Pegamento	0,96	1	0,96	68,57	< 0,0001
Error Exp.	0,28	20	0,01	C.V: 2,15 %	
TOTAL	2,32	23			

Fuente: Elaboración propia

El análisis obtenido por la prueba de Tukey al 5% (ver **tabla 26**), de la interacción de la resistencia a la tracción y la flexión (propiedades mecánicas), muestran que el mejor resultado es el elaborado con, P1 y granulometría con luz de malla de 850 µm correspondientes al T3, ver **figura 6**. Estos resultados demuestran que la granulometría es de gran importancia en la elaboración de embalajes puesto que influye en las propiedades mecánicas al igual que la calidad del pegamento como lo menciona Peredo *et al.*, (1993), por lo tanto es vital aplicar la normativa ASTM (American Society of Testing Methods) E – 11, para definir el tamaño de partícula.

Tabla 26. Porcentaje de resistencia a la tracción y flexión en relación al pegamento y la granulometría

Tratamiento	Propiedades mecánicas	Medias %	Rango
(P1)(850)	5,9	4.65	A
(P1)(425)	5,5	4.65	A
(P2)(850)	5,4	3.6	B
(P2)(425)	4,9	2.9	C
(P1)(500)	5,7	2.1	D
(P2)(500)	5,6	2.1	D

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Comparación entre la resistencia a la tracción y flexión.

Con los datos reportados en el **anexo 2**, se realizó el análisis de variancia de resistencia a la tracción y flexión en correspondiente a la interacción del pegamento y la granulometría utilizada en la investigación, ver **tabla 27** y **tabla 27**. Según el análisis de variancia, los dos

tipos resistencia mecánica son distintos entre sí, por lo tanto, existe diferencia significativa. Con una prueba estadística para la resistencia a la flexión: Fisher de 3,0E+31, una probabilidad de ocurrencia de 0% y el coeficiente de variación de 0,71 %, mientras que para resistencia a la tracción: Fisher de 9075.00, una probabilidad de ocurrencia de 0% y el coeficiente de variación de 0,71 %, por lo tanto permite tener una alta confiabilidad.

Tabla 27. Análisis de la varianza de resistencia a la flexión.

F.V.	SC	GI	CM	F	P – valor
Modelo	0,96	1	0,96	2,0E+31	0,0000
Pegamento*granulometría	0,28	2	0,14	3,0E+31	0,0000
Error Exp.	7,09	15	4,73	C.V: 0,71 %	
TOTAL	2,32	23			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Análisis de la varianza de resistencia a la tracción.

F.V.	SC	GI	CM	F	P – valor
Modelo	5,04	1	5,04	9075.00	0,0000
Pegamento*granulometría	3,08	2	1,54	2775.00	0,0000
Error Exp.	0,0083	15	0,0005	C.V: 0,71 %	
TOTAL	26,56	23			

Fuente: Elaboración propia

El análisis obtenido por la prueba de Tukey al 5%, de resistencia a la tracción y flexión, muestran que la variable que más afecta a estas propiedades, es el pegamento, con una media del 5,70 %, (**tabla 29**) y 3,38%, (**tabla 30**), confirmando de esta manera, que el adhesivo proporciona una mayor uniformidad a las propiedades físicas y mecánicas por su estrecha relación con la madera, como lo menciona Carrillo *et al.*, (2014), **figura 6**.

Tabla 29. Porcentaje de resistencia a la tracción.

Tratamiento	Medias %	Rango
Pegamento	5,70	A
Granulometría	5,30	B

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Porcentaje de resistencia a la flexión.

Tratamiento	Medias %	Rango
Pegamento	3,78	A
Granulometría	2,86	B

Letras desiguales difieren significativamente para la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

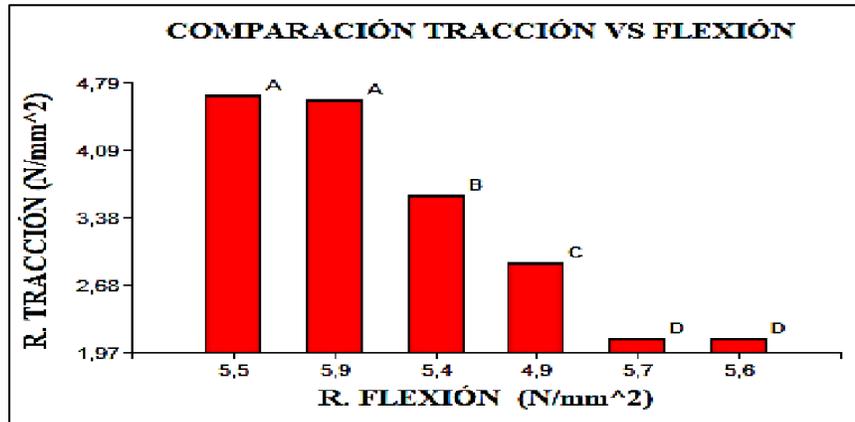


Figura 6. Comparación entre la resistencia a la tracción y flexión

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se caracterizó el aserrín de Pigüe a través de tamices, con luz de malla de 850 μm , 500 μm y 425 μm . Se estableció que el régimen de molienda en el cual se obtendría mayor rendimiento son partículas, menores a 850 μm y mayores a 500 μm (utilizando luz de malla 850 μm), por lo que se obtuvo una retención del 43%.
- Se formuló dos tipos de pegamentos, donde según los resultados estadísticos de los ensayos mecánicos (resistencia a la tracción y flexión), muestran diferencias altamente significativas, donde según la prueba de Tukey al 5% , el (P1), es el más efectivo, puesto que presenta una media del 5.70%, el mismo que se caracterizó por formar uniones fuertes con las partículas de madera; por lo tanto permitió aumentar la resistencia a la separación, alta pegajosidad y viscosidad, a comparación del (P2), el cual obtuvo una media 5.30%, este último presento bajas características de adherencia. El pegamento es la variable que más afecto a los ensayos mecánicos en relación a la granulometría.
- En cuanto a las propiedades físicas, se determinó la temperatura de prensado $165\pm 5^{\circ}\text{C}$, tiempo de prensado 30 minutos, a una presión de 0.86 N/mm^2 . En relación a la densidad, el mejor fue el T1 con 690 kg/m^3 .
- Se determinó las propiedades mecánicas, resultando el T3 (100% aserrín de Pigüe con luz de malla de 850 μm y P1) como el mejor tratamiento, el cual tuvo una resistencia a la tracción 4.6 N/mm^2 y resistencia a la flexión 5.9 N/mm^2 , con un espesor promedio 3.5 mm. Según la normativa DIN 68763 cumple con la exigencia mínima (0.4 N/mm^2) de resistencia a la tracción, mientras que la resistencia a la flexión según la INEN 3110, no cumple la exigencia mínima (11.5 N/mm^2), estos resultados se relacionan a la baja presión que fue expuesta la lámina de embalaje (0.86 N/mm^2). Considerando que, estas normativas son para uso en construcción y mobiliario en donde, las propiedades de resistencia mecánica son más exigentes, por lo tanto, es factible utilizarlo como una alternativa para embalaje de frutas de la amazonia ecuatoriana.

5.2. RECOMENDACIONES

- Aplicar presiones desde 1.5 N/mm^2 hasta 2.5 N/mm^2 como indican algunos autores mencionados en la presente investigación, para obtener mejores resultados de resistencia mecánica.
- Secar el aserrín de Pigüe, hasta obtener máximo un 8% de humedad, lo cual ayudará a la eficiencia en la molienda.
- Evitar el contacto directo con el ambiente puesto que la biomasa (aserrín de Pigüe) es higroscópica; es recomendable el uso de fundas plásticas selladas y almacenamiento en lugares secos.
- Para elaborar el P1 y P2, tomar todas las precauciones posibles: mascarilla, guantes, gafas y overol; además se debe tomar en cuenta los puntos críticos de control en lo referente a temperatura y tiempo ($165 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y 30 minutos), obteniendo de esta manera los resultados deseados.
- Realizar un análisis económico de la presente investigación, comparando con el sistema tradicional de embalajes de cajas de madera, de esta manera conocer si es viable o no.
- Realizar otras pruebas de resistencia a la tracción y flexión con probetas de mayor espesor, para determinar su uso en otras escalas industriales e incluso en el sector de la construcción.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, Z., Loja, A., Solano, C., & Aguirre, N. (2015). Especies forestales mas aprovechadas en la region sur del Ecuador Loja, Ecuador.
- Arias, E., & Robles, M. (2010). Aprovechamiento de recursos forestales en el Ecuador. Ecuador: Retrieved from http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD%20406_06_%20Forest%20Harvesting%20in%20Ecuador%202010%20offenses%20and%20forfeiture.pdf.
- Badii, M. H., J. Castillo, M. Rodríguez, A. Wong & P. Villalpando. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. *Experimental designs and scientific research*. 1-2
- Bautista, E. A. L., & Ramírez, B. H. G. (2014). Diseño y análisis de experimentos. 2, 16-18.
- Bellido, M., Egoavil, G., Cueva, G., & Gonzales, E. (2003). Tableros de fibras de la madera de “tornillo”(Cedrelinga cateniformis Ducke). *BOSQUE*, 24(3), 39-44.
- Berenguer, M., Subils J. (2000). Colas y adhesivos. Tipos y riesgos higiénicos. Instituto Nacional de higiene y seguridad en el trabajo.
- Cárdenas, J. (2016). Pelletización del Aserrín de Pigüe (Pollalesta discolor) para Fines Energéticos en la Provincia de Pastaza. Universidad Estatal Amazonica, Puyo-Ecuador
- Carrillo, A., Foroughbakhch, R., Bustamante, V., Ocañas, C., sandoval, S., Garza, F., & Car. (2014). Resistencia al cizalle de la madera de Prosopis laevigata encolada con melamina formaldehído y acetato de polivinilo. *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*, 63, 12-17.
- Cea, H. (2003). Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia. Universidad Austrial de Chile, Valdivia-Chile
- Concepción, R., Chonillo, R., Lorenzo, A., Morales, S. (2016). Determinación de las potencialidades de aserrín en la ciudad de Guayaquil como materia prima para la producción de diversos surtidos en la industria forestal. Guayaquil - Ecuador. *HOLOS*, 4, 105-114.
- Cuevas, H., & Poblete, H. (2007). Efecto del tamaño de probeta sobre el cizalle y la adhesión en uniones con acetato de polyvinilo. *SciELO*, 9(3), 299-307.
- Cruz, M., Viridiana, M., Rodríguez, G., Guadalupe, I., Barranco, M., Lagunes, L., . . . Hernández, S. (2017). Resina y aceites esenciales de tres especies de copal del sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(1), 1-12.

- Chávez, M., & Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial 16.
- Díaz, L., & Fiallos, F. (2011). Obtención de un nuevo adhesivo a partir del almidón modificado (carrier) de maíz para la Industria Cartonera Ecuatoriana. Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Ecuador.
- Duche, J. (2011). Evaluación de tres formulaciones de Biol a partir de desechos de aserradero aserrín de Pigüe, (Pollalesta discolor), maní forrajero (Arachis sp) y gallinaza en producción de maíz híbrido (7443) Trueno. Universidad Estatal Amazónica, Puyo.
- Estefanía Arias, M. R. (2010). Aprovechamiento de recursos forestales en el Ecuador. 6-7.
- Gabriela Erazo, Juan Carlos Izurieta, Peter Cronkleton, Anne Larson, & Putzel, L. (2014). El uso de pigüe (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador.
- Grijalva, J., Ramos, R., Barrera, P., & Limorgi, R. (2012). Situación de los recursos genéticos forestales en el Ecuador - Informe al país. Ecuador: Retrieved from http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/stories/descargas/informe_pas_rgf_ecuador_final_.pdf.
- GAD Municipal Pastaza. (2014). (DDS). Departamento de Desarrollo Sustentable.
- Gómez, B., Gómez, E., Leal, J., Sosa, M., Rodríguez, M., Sosa, & Rojas, M. (2009). Estudio físico-mecánico de tableros prensados de bambú. *ICIDCA, XLIII (1)*, 44-48.
- Gómez, T., Vergara, M. (2010). Biomasa forestal. Seminario de electrónica industrial. Chile: Retrieved from <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBiomasa.pdf>
- Gorrini, B., Poblete, H., Hernandez, G., & Dunn, F. (2004). Tableros de partículas y MDF de Eucalyptus nitens: Ensayos a escala industrial. *BOSQUE, 25(3)*, 89-97.
- INEN. (1428:1987). Papel kraft forro para cajas de cartón corrugado. Requisitos.
- INEN. (1429:1986). Papel kraft medio para cajas de cartón corrugado. Requisitos.
- INEN. (3110:2016) Tableros de partículas. Requisitos.
- INAMHI. (2015). Boletín climatológico anual (2016 ed.). Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Inche, J., Andía, Y., Huamanchumo, A., Vizcarra, J., López, M., & Flores, G. (2003). Paradigma Cuantitativo: Un Enfoque Empírico y Analítico. *Industrial data, (6)1*, 23-37.

- Juros, Y. (2009). Resistencia a la línea de cola de los tableros contrachapados de Capinuri (*Maquira coriacea*) y Oje Renaco (*Ficus schultessi*) utilizando tres formulaciones de cola y harina de yuca como extendedor. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Lammers, W., Happe, T., & Salehfar, M. (2001, Junio). Estudio de ciclo de vida de 12 envases y embalajes. Chile.
- Lara, A. (2000). Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de la Varianza y Temas Relacionados: Tratamiento Informático mediante SPSS.: Proyecto Sur de Ediciones.
- López, E., & González, B. (2014). Diseño y análisis de experimentos. 2, 16-18.
- MAE. (2018). Especies con mayor volumen aprobado para el manejo forestal por tipo de formación (2011-2014). Ecuador: Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/>
- Mabel Cruz, V. M. A., Gerardo Rodríguez et al. (2017). Resina y aceites esenciales de tres especies de copal del sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(1), 1-12.
- Manals, M., Penedo, M., Salas D. (2015). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
- Martínez, Y., García, M., & Martínez, E. (2014). Impacto ambiental de residuos industriales de aserrín y plástico. Usos para la industria de tablero en Cuba. *AVANCES*, 16 (2), 91-99.
- Mathon, Y. (2012). Envases y Embalajes. [primera]. San Martín, Buenos Aires
- Madrid, M. (2015). Tecnología de Adhesión. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Merino, J. (2010). Estudio económico de dos formas de aprovechamiento forestal del pigüe (*Pollalesta discolor*) en el cantón Mera, provincia de Pastaza. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Morelos, A. (2015). La Celulosa: Fibra y Energía. *Academia de Ciencia de Morelos*, A. C, 28-29.
- Morales, M., González, E., & Mesa, G. (2016). Avances en la obtención de tableros de fibras a partir de mezclas de residuales lignocelulósicos de bagazo. *AFINIDAD LXXIII*, 575, 205-209.
- Montenegro, E. (2005). Uso de aserrín y acículas como sustrato de germinación y crecimiento de *Quercus humboldtii* (roble). *Colombia forestal*, 9, 98-108.
- Navarro, P., García, M., Alcaraz, A., Cruz, E., Martínez, A., Ferreira, B., & Mercedes, H. (2007). Guía práctica de diseño de envases y embalajes para la distribución de productos.

- Ochoa, J. (2007). Industria bioquímica basada en biomasa implicaciones tecnológicas 26-30.
- Palacios, W. A., & Jaramillo, N. (2016). Árboles amenazados del Chocó ecuatoriano
- Patiño, P. (2014). Biomasa residual vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. *Innovaciencia*, 2 (1), 45 - 52.
- Peredo, M., & Torres, E. (1991). Fabricación de tableros de partículas con desechos industriales. *BOSQUE*, 49-57.
- Peredo, M., Poblete, H., & Naveillán, L. (1993). Utilización de renovales de Roble Y Rauli en la fabricación de tableros de partículas. *INFOR*, 7.
- Plata, L. (2007). Reglamento técnico de requisitos mínimos que deben cumplir los empaques de productos agrícolas para consumo humano. Colombia.
- Pérez, C. (2012). Empaques y embalajes (Primera ed.). México
- Poblete, H., Soto, J., & Inzunza, L. (1996). Tableros con renovales de Nothofagus: efecto de la temperatura y el tiempo en el prensado. *BOSQUE*, 17, 43-49.
- Poblete, H. (1979). Inclusión de aserrín en tableros de partículas. *BOSQUE*, 3 39-46.
- Purata, S. (2008). Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites (CONABIO Ed.). México.
- Navarro, P., García, M., Alcaraz, A., Cruz, E., Martínez, A., Ferreira, B., & Mercedes, H. (2007). Guía práctica de diseño de envases y embalajes para la distribución de productos.
- Salazar, P. (2014). Análisis de procesos y propuesta de sistema de producción más limpia en la fábrica de pallet Palesta. Universidad Estatal Amazónica
- Sifontes, M. C., & Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial 16.

CAPÍTULO VII

7. ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento Tecnológico

1. Tamizado del aserrín de Pigüe



2. Pesado del aserrín de Pigüe



3. Dilución de resina de Copal



4. Pegamento Formula uno



5. Máquina para ejercer presión en las láminas para el embalaje



6. Secado de las láminas



7. Láminas de embalaje en seco



8. Láminas de embalaje en húmedo



9. Ensayo de resistencia a la flexión



10. Ensayo de resistencia a la tracción



Anexo 2. Datos para el procesamiento estadístico.

Pegamentos	Granulometría (µm)	Repeticiones	tracción (N/mm²)	flexión (N/mm²)
P1	425	1	4.7	5.5
P1	425	2	4.7	5.5
P1	425	3	4.7	5.5
P1	425	4	4.7	5.5
P1	500	1	2.1	5.7
P1	500	2	2.1	5.7
P1	500	3	2.1	5.7
P1	500	4	2.1	5.7
P1	850	1	4.6	5.9
P1	850	2	4.6	5.9
P1	850	3	4.6	5.9
P1	850	4	4.6	5.9
P2	425	1	2.9	4.9
P2	425	2	2.9	4.9
P2	425	3	2.9	4.9
P2	425	4	2.9	4.9
P2	500	1	2.1	5.6
P2	500	2	2.1	5.6
P2	500	3	2.1	5.6
P2	500	4	2.1	5.6
P2	850	1	3.6	5.4
P2	850	2	3.6	5.4
P2	850	3	3.6	5.4
P2	850	4	3.6	5.4

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Informe Técnico de tracción emitido por la EPN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



INFORME TÉCNICO

LAEV – FEB.18.01.0

Quito, 7 de febrero de 2018

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

ORDEN DE TRABAJO N° 0005725

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de material aglomerado pertenecientes a la Srta. Nancy Elizabeth Lema Paguay para el proyecto de investigación "CARACTERIZACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL ASERRÍN DE PIGUE (Pollalesta discolor) PARA LA OBTENCIÓN DE EMBALAJES DE LAS FRUITAS AMAZÓNICAS". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

- MUESTRAS:** Tres (3) muestras de material compuesto para ensayo de tracción y tres (3) muestras de material aglomerado para ensayo de flexión.
- ENSAYO DE TRACCIÓN**

En la tabla 1 se presenta los resultados del ensayo de tracción.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción realizado a las muestras.

id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
A2-61	38,1	4,5	110	491	0,4	2,9
A2-62	38,1	3,72	66	292	0,3	2,1
A1-6	37,8	2,73	107	477	0,7	4,9



Anexo 4. Informe técnico de flexión emitido por la EPN

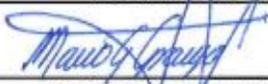
3. ENSAYO DE FLEXIÓN

En la tabla 2 se presenta los resultados del ensayo de flexión realizado a las probetas de material compuesto.

Tabla 2. Resultados del ensayo de flexión.

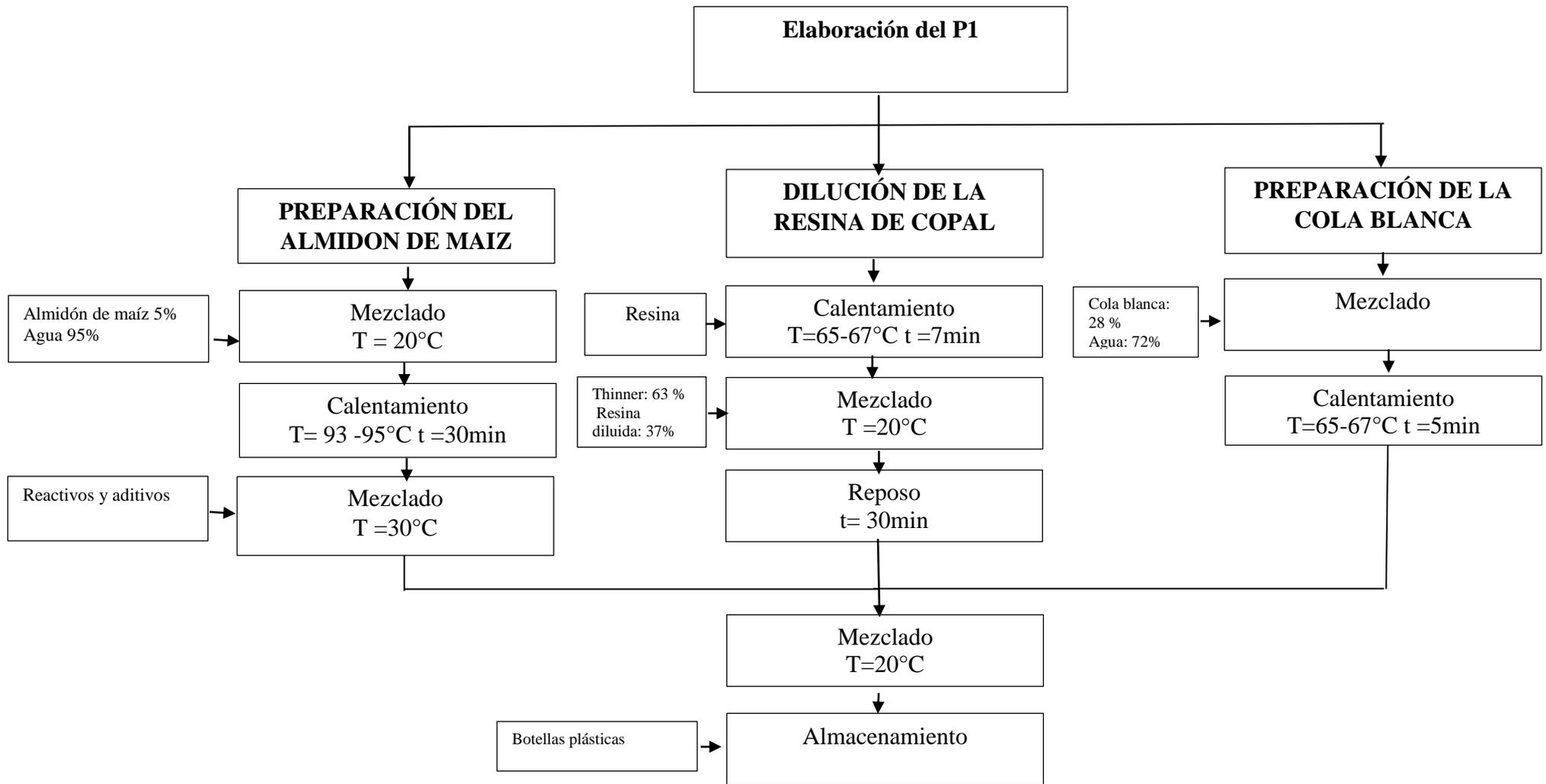
Id.	Base promedio	Altura promedio	Distancia entre apoyos	Carga máxima registrada		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
A2-B1	11,37	3,50	110	1	4,17	0,7	4,9
A2-B2	12,85	4,43	70	3	13,33	0,8	5,6
A1-B3	13,28	2,56	82	1	4,17	0,9	5,9

En el anexo se presenta fotografías de las muestras en la máquina universal de ensayos.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ing. Mario Granja, M.Sc.
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE

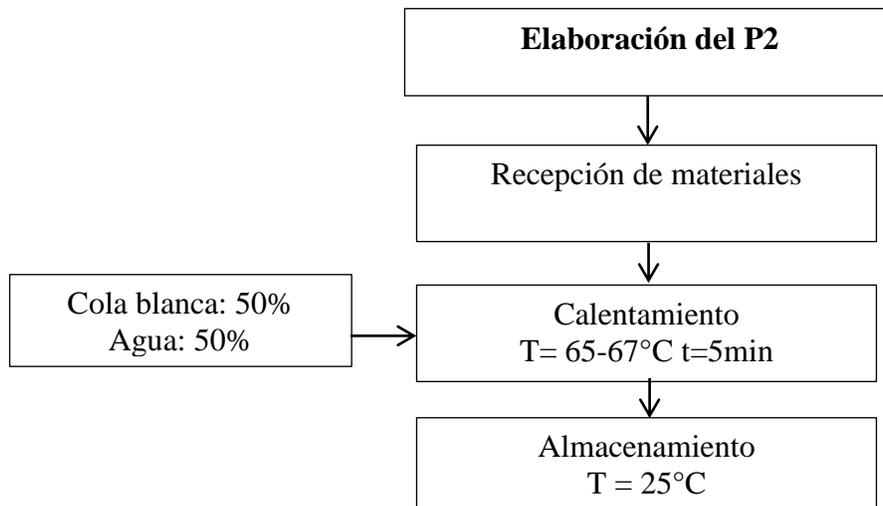
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES





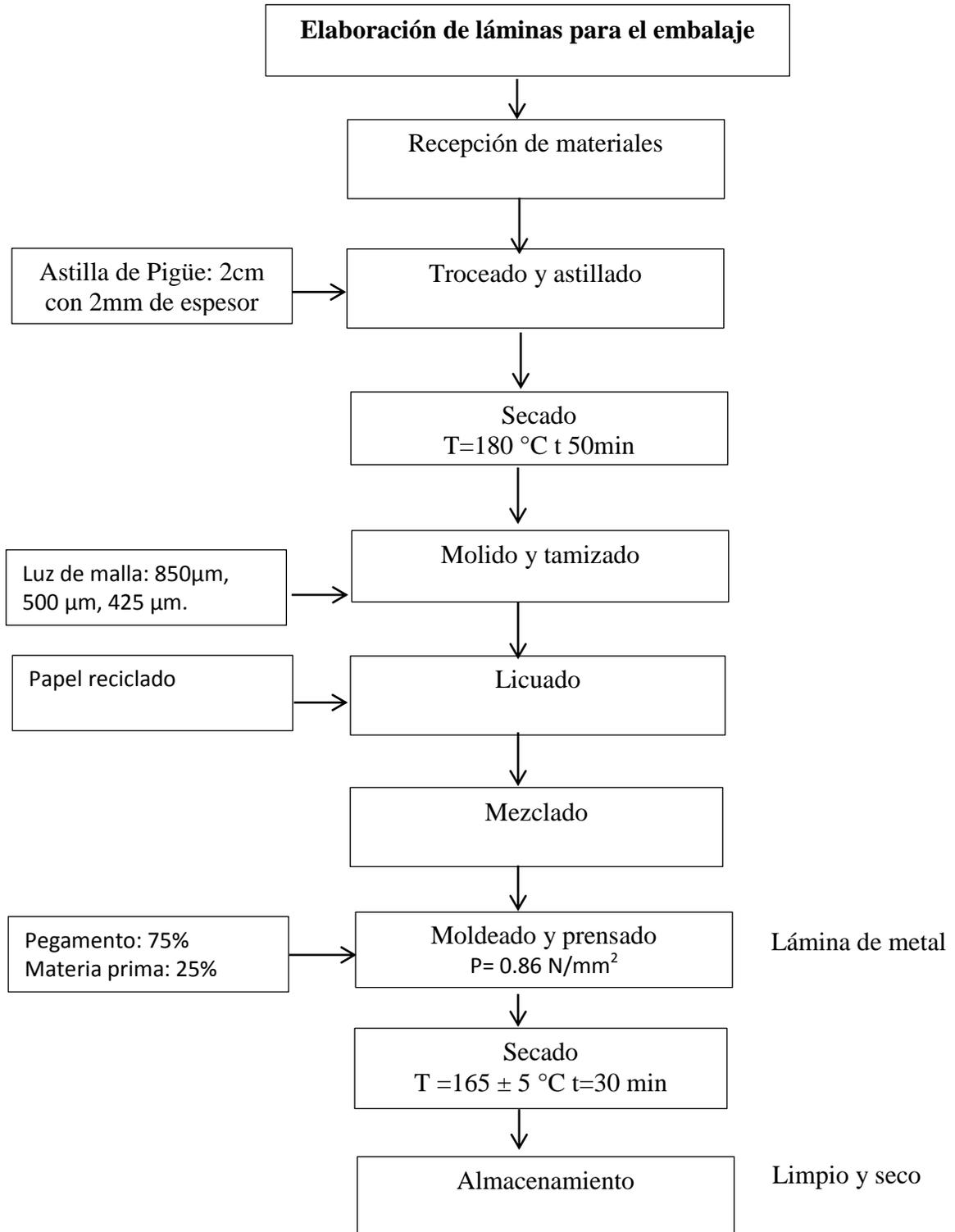
Anexo 5. Diagrama de flujo de la preparación del P1.

Fuente: Elaboración propia



Anexo 6. Diagrama de flujo de la preparación del P2.

Fuente: Elaboración Propia



Anexo 7. Diagrama de flujo de la elaboración de láminas para embalaje.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Árbol de problemas

