

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LÍNEA DE COLA, EN
PANELES DE *Dendrocalamus asper*, ENCOLADOS
LATERALMENTE CON LA RESINA EMULSIÓN POLÍMERO
ISOCIANATO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

ESTHELL JESSICA RAMÍREZ PÉREZ

LIMA – PERÚ

2024

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

“RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LÍNEA DE COLA, EN PANELES DE DENDROCALAMUS ASPER, ENCOLADOS LATERALMENTE CON LA RESINA EMULSIÓN POLÍMERO ISOCIANATO”

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	16%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	acervodigital.ufpr.br Fuente de Internet	2%
2	1library.co Fuente de Internet	1%
3	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.sinavimo.gob.ar Fuente de Internet	1%
7	cybertesis.ubiobio.cl Fuente de Internet	1%
8	Submitted to tec Trabajo del estudiante	1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LÍNEA DE COLA, EN
PANELES DE *Dendrocalamus asper*, ENCOLADOS LATERALMENTE
CON LA RESINA EMULSIÓN POLÍMERO ISOCIANATO”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

ESTHELL JESSICA RAMÍREZ PÉREZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Miguel Ángel Meléndez Cárdenas, Dr.
Presidente

.....
Ing. Héctor Enrique Gónzales Mora, Ph.D.
Miembro

.....
Ing. Neptali Rodolfo Bustamente Guillén
Miembro

.....
Ing. Milciades Leonidas Miguel Castro, Dr.
Asesor

.....
Ing. Moisés Pascual Acevedo Mallque, Mg.Sc.
Co-Asesor

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a Dios por acompañarme y darme fuerzas en cada etapa de mi vida, por ser la luz que siempre necesite.

A mis queridos padres por ser ejemplo de lucha constante y por su gran amor a la familia, a mis hermanas por su muestra de constancia en cada cosa planeada.

A mi querido hijo Sebastián que me enseña cada día a ser mejor madre, mi fortaleza y mi debilidad, mi motor de todo lo que realizo en la vida.

A mi gran amiga Jem Rocha por su motivación y por confiar siempre en mí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

Al profesor Dr. Milciades Leonidas Miguel Castro (mi asesor) por el apoyo, orientación, consejos y tiempo brindado para la realización de mi tesis.

Dr. Enrique Gonzáles Mora por la confianza y oportunidad de ser parte del CIB, consejos brindados y facilidades para el uso de equipos y materiales.

Al profesor Moisés Acevedo (Co asesor) por su gran disposición y orientación para la realización de mi tesis.

Sr. Miguel Panduro por su colaboración y paciencia en la realización de la metodología en el taller del CIB y Sr. Vicente Cuba por su colaboración en la realización de los ensayos en el laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera.

Profesora Mari Flor y Liz del CIB, por su tiempo, paciencia y conocimientos brindados.

A Boris Baltazar por su orientación y paciencia.

A mis amigos del CIB, Flor, Sayuri, Melani, Angelica, Angela. A todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a la realización y término de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Bambú <i>Dendrocalamus asper</i>	3
2.1.1. Distribución geográfica	3
2.1.2. Taxonomía	4
2.1.3. Características de <i>Dendrocalamus asper</i>	5
2.1.4. Estructura anatómica	7
2.1.5. Propiedades físico-mecánicas.....	12
2.1.6. Caracterización química de las latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	15
2.2. Adhesivos.....	16
2.2.1. Emulsión Polimérica de Isocianato (EPI).....	18
2.2.2. Teoría de la adhesión	18
2.2.3. Factores que afectan la adhesividad	19
2.3. Paneles Encolados de Canto - PEC.....	24
2.4. Ensayos Mecánicos de PEC.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Lugar de colección.....	26
3.2. Lugar de ejecución.....	26
3.3. Materiales experimentales	26
3.3.1. Material vegetal	26
3.3.2. Adhesivo	26
3.4. Equipos y herramientas.....	27
3.5. Metodología y procedimiento.....	30
3.5.1. Preparación de las latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	31

3.5.2. Clasificación de las latas.....	31
3.5.3. Codificación de las latas	32
3.5.4. Almacenamiento de las latas	33
3.5.5. Procedimiento para formación del panel	33
3.5.6. Preparación de las probetas	41
3.5.7. Medición y selección de probetas para determinación de la resistencia al cizallamiento de la línea de cola	45
3.5.8. Pretratamientos para el uso no estructural en ambiente seco (SWP/1NS)	46
3.5.9. Pretratamientos para el uso no estructural en ambiente húmedo (SWP/2NS).....	47
3.5.10. Ensayos de resistencia al cizallamiento de la línea de cola	47
3.6. Análisis estadístico	50
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Resistencia al cizallamiento.....	52
V. CONCLUSIONES	57
VI. RECOMENDACIONES	58
VII. BIBLIOGRAFÍA	59
VIII. ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Características morfológicas de <i>Dendrocalamus asper</i>	7
Tabla 2: Densidad de culmos de <i>Dendrocalamus asper</i>	13
Tabla 3: Propiedades mecánicas del <i>Dendrocalamus asper</i> de seis años.....	14
Tabla 4: Propiedades mecánicas (promedio) del bambú <i>Dendrocalamus asper</i>	15
Tabla 5: Análisis químico elemental del <i>Dendrocalamus asper</i> y <i>Guadua angustifolia</i>	15
Tabla 6: Análisis Termogravimétrico (Proximal) del <i>Dendrocalamus asper</i> y <i>Guadua angustifolia</i>	16
Tabla 7: Análisis lignocelulósico del bambú <i>Dendrocalamus asper</i> y <i>Guadua angustifolia</i>	16
Tabla 8: Características de los adhesivos en función del ambiente de uso.....	17
Tabla 9: Clasificación de resistencia de cola al adhesivo	17
Tabla 10: Tratamientos del ensayo de cizallamiento de paneles enlistonados lateralmente... ..	51
Tabla 11: ANVA de un arreglo 2A x 2B x 2C en un DCA de ocho tratamientos y treinta repeticiones	51
Tabla 12: Análisis de varianza de la resistencia al cizallamiento de probetas de bambú <i>Dendrocalamus asper</i>	52
Tabla 13: Resistencia al cizallamiento de probetas obtenidas de dos secciones de <i>Dendrocalamus asper</i>	53
Tabla 14: Resistencia al cizallamiento de probetas de <i>Dendrocalamus asper</i> tratadas en ambientes seco y húmedo	54
Tabla 15: Resistencia al cizallamiento de probetas de <i>Dendrocalamus asper</i> encoladas con dos gramajes de adhesivo.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Estructura principal del bambú	5
Figura 2: Partes internas del culmo de bambú.....	6
Figura 3: Vista esquemática de un culmo de bambú, sección de un culmo, clasificación de haces vasculares	8
Figura 4: Distribución fibrovascular de una muestra de <i>Dendrocalamus asper</i>	9
Figura 5: Distribución de los haces vasculares y composición de los haces vasculares ..	10
Figura 6: Estructura molecular de las paredes celulares de los haces vasculares.....	11
Figura 7: Fuerzas que permiten el fraguado del adhesivo en el encolado de la madera... 19	
Figura 8: (A) Higrómetro de pines, (B) Maquina universal de ensayo Tinius Olsen, (C) Vernier digital de precisión, (D) Sierra circular de banco Rexon SM-10P	28
Figura 9: (A) Cepilladora, (B) Prensa sargento, (C) Prensa modular, (D) Desecador de vidrio.....	29
Figura 10: Flujo grama del experimento.....	30
Figura 11: Latas de 1.50 m de las secciones cepa(A) y basa (B) de la especie <i>Dendrocalamus asper</i>	31
Figura 12: Latas defectuosas de la especie <i>Dendrocalamus asper</i>	32
Figura 13: Codificación de latas en sección basa (A) y cepa (B)	32
Figura 14: Almacenamiento de latas de la sección cepa (A) y basa (B) de <i>Dendrocalamus asper</i>	33
Figura 15: Prensado de latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	34
Figura 16: Garlopeado de cantos de latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	34

Figura 17: Garlopeado de cara interna de latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	35
Figura 18: Cepilladora de superficies de las caras internas y externas de las latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	35
Figura 19: Determinación del espesor en la punta de la lata (A), en la parte central (B)...	36
Figura 20: Determinación del contenido de humedad. A y C. Medición de humedad en los extremos de la latilla. B. Medición de humedad en el centro de la latilla de <i>Dendrocalamus asper</i>	37
Figura 21: Lijado de los cantos de las latas	37
Figura 22: Mezcla del adhesivo EPI con el catalizador (Hardener)	38
Figura 23: Aplicación de adhesivo en latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	39
Figura 24: (A) Torquímetro para estandarizar la presión de prensa y (B) Prensado de latas de <i>Dendrocalamus asper</i>	39
Figura 25: Paneles encolados lateralmente con cuatro líneas de cola	40
Figura 26: Distribución de las probetas en los paneles de <i>Dendrocalamus asper</i>	42
Figura 27: Distribución de probetas, de acuerdo con el uso del panel	43
Figura 28: Distribución y codificación de probetas en el panel para los ensayos de cizallamiento.....	44
Figura 29: Obtención de probetas.....	44
Figura 30: Probetas obtenidas del panel B6 (A), probeta de sección basa uso en seco (B)	45
Figura 31: Medición y selección de probetas para sus pretratamientos de acuerdo con su uso.....	46
Figura 32: Probetas con pre tratamiento en uso en seco sumergidas en agua fría.....	46
Figura 33: Probetas con pretratamiento uso en húmedo sumergidas en agua fría para enfriamiento.....	47

Figura 34: Uso de la prensa universal para la determinación de la resistencia al cizallamiento (A), lectura de resistencia al corte para el ensayo de cizallamiento (B)	48
Figura 35: Probeta obtenida de sección cepa uso en seco (A), gramaje 160 g/m ² , probetas después del ensayo de resistencia al cizallamiento sección basa uso en húmedo, gramaje 200 g/m ² , (B).....	48
Figura 36: Probetas obtenidas de sección basa panel 19, uso en seco (A), probeta uso en seco panel 23 (B), probetas de diversos paneles después del ensayo de resistencia al cizallamiento (C).....	49
Figura 37: Probetas obtenidas de sección basa uso en húmedo (A), probetas del panel de sección basa uso en húmedo en el ensayo de resistencia al cizallamiento (B). 49	
Figura 38: Probetas obtenidas de sección cepa uso en húmedo (A), probetas del panel de sección cepa uso en húmedo en el ensayo de resistencia al cizallamiento (B). 50	
Figura 39: Probeta de bambú cizallada.....	54
Figura 40: Probeta de bambú con ruptura en la parte parenquimática	55
Figura 41: Probeta de bambú con ruptura en la línea de cola.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Data recolectada	73
Anexo 2: Fotos generales	75

RESUMEN

En el Perú hay un creciente interés en el bambú debido a sus potenciales usos debido a sus excelentes propiedades y características, pues específicamente con *D. asper*, los estudios sobre esta especie son muy escasos en nuestro país, en ese contexto, el objetivo de esta investigación es analizar la resistencia al cizallamiento de muestras de *D. asper* encoladas lateralmente con la resina emulsión polímero isocianato (EPI). Se evaluaron culmos de 6.0 m de longitud de *D. asper* provenientes de Villa Rica (Pasco – Perú). La preparación de las probetas y los ensayos realizados se ejecutaron en el Taller del Centro de Investigación de Bambú y en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la Madera en la Universidad Nacional. Se utilizó un diseño DCA trifactorial 2Ax2Bx2C, la variable evaluada fue la resistencia al cizallamiento. Se encontraron diferencias significativas respecto a la resistencia al cizallamiento cuando se utiliza diferentes partes del culmo, el gramaje del pegamento y el ambiente en el cual fue tratado, por ello se podría establecer que *D. asper* presenta factibilidad técnica para ser utilizado en la fabricación de paneles encolados lateralmente.

Palabras clave: *Dendrocalamus asper*, Resistencia al cizallamiento, Pegamento, Culmo, Panel

ABSTRACT

In Perú there is a growing interest in bamboo due to its potential uses due to its excellent properties and characteristics, since specifically with *D. asper*, studies on this species are very scarce in our country, in that context, the objective of this research is to analyze the shear resistance of *D. asper* samples laterally glued with the isocyanate polymer emulsion resin (EPI). Culms of 6.0 m in length of *D. asper* from Villa Rica (Pasco – Perú) were evaluated. The preparation of the specimens and the tests carried out were carried out in the Workshop of the Bamboo Research Center and in the Wood Technological Testing Laboratory at the Universidad Nacional Agraria La Molina. A 2Ax2Bx2C three-factor DCA design was used, the variable evaluated was shear resistance. Significant differences were found regarding shear resistance when using different parts of the culm, the weight of the glue and the environment in which it was treated, therefore it could be established that *D. asper* presents technical feasibility to be used in the manufacture of laterally glued panels.

Keywords: Dendrocalamus asper, Shear resistance, Glue, Culm, Panel

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran demanda de productos forestales a base de madera y derivados de la madera, para la industria de la construcción, muebles, pisos, postes, durmientes, tableros contrachapados, tableros de partículas, pallets, celulosa y como combustible. El aprovechamiento integral de la madera incorpora el uso de residuos primarios, sólidos, para la elaboración de paneles; estos productos son de amplia demanda en el mercado, que, por sus características, de madera reconstituida, se obtienen en diferentes formas y dimensiones, sin embargo, al proceder la materia prima, principalmente de bosques naturales se presentan algunas limitantes en su abastecimiento.

Una alternativa a la madera como materia prima, principalmente para uso estructural, es el bambú, que es un recurso vegetal cuyos tallos presentan características físico-mecánicas que le pueden permitir ser un buen sustituto de la madera, sin embargo, por las características del material, generalmente necesitan ser encolados superficial o lateralmente para incrementar sus dimensiones en espesor y ancho, principalmente, de acuerdo con los requerimientos del producto de madera a sustituir.

En el Perú se utiliza el bambú principalmente para construcción y muebles, pero las características de la materia prima le permitirían ser utilizadas para la elaboración de paneles: se puede utilizar residuos sólidos como astillas, fibras, latas o tiras, para ser reconstituidas bajo la forma de un panel, requiriendo la aplicación de colas o aglomerantes. Una forma de uso del bambú puede ser mediante el uso de latas, sin perfilar, que, mediante el encolado lateral, se podrían obtener paneles de bajo costo. Los productos que utiliza bambú son aún de baja o mínima producción encoladas lateralmente, involucra materiales como latas y adhesivos que deben satisfacer las exigencias mínimas de resistencia al encolado lateral en función al uso. Ello implica poner a prueba el desempeño de un adhesivo y su capacidad de adhesión y las juntas

encoladas sometidas a ensayos de carga específica, como el de cizallamiento de la línea de cola, causadas por un esfuerzo paralelo a las mismas, permitiendo así validar la eficiencia del adhesivo en la unión de las piezas con una determinada temperatura y condiciones de humedad durante un tiempo específico (Kollmann *et al.* 1975).

En el país se cultivan diferentes tipos de bambú, destacando las especies *Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper*, ambas muy cultivadas en los últimos años y con una gran proyección en el mercado. La *G. angustifolia* es la especie más estudiada, sin embargo, la especie *D. asper*, que destaca por sus grandes dimensiones, ha sido muy poco estudiada; es un bambú desconocido en el mercado local y por su aspecto es conocida como bambú peruano o bambú gigante. Sin embargo, son escasas las investigaciones realizadas sobre el *Dendrocalamus asper*, cuyas posibilidades de uso y aplicación podrían sustituir a la madera como materia prima para fabricar productos de uso estructural y no estructural.

Es por ello que en el presente estudio se plantea como objetivo general analizar la resistencia al cizallamiento de muestras de *Dendrocalamus asper*, encolados lateralmente con la resina Emulsión Polímero Isocianato (EPI).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Bambú *Dendrocalamus asper*

2.1.1. Distribución geográfica

Existen plantaciones de bambú *Dendrocalamus asper* en toda Asia tropical, en muchas partes de Malasia e Indonesia. Por ello se sostiene que el origen de esta especie está en alguna parte del sureste asiático. Esta especie también fue introducida en otros países tropicales como Madagascar y Sri Lanka (Londoño, 2004) y América del Sur (Montiel y Sánchez, 2006). El *Dendrocalamus asper* se desarrolla mejor entre los 400-500 msnm y en zonas con precipitaciones de 2400 mm anuales en promedio, crece en cualquier tipo de suelo, pero prefiere terrenos pesados con buen drenaje (Brink, 2008). Los bambúes tienen un área de crecimiento y/o plantación muy grande representando aproximadamente el 3.2 % del área compuesta por los bosques alrededor del mundo (Lobovikov *et al.* 2007).

Las estadísticas de recursos de bambú varían significativamente entre países, ya que el bambú no se incluye habitualmente en los inventarios forestales. Además, no existe una metodología estándar desarrollada para la presentación de informes sobre recursos de bambú con definiciones, fórmulas, directrices o enfoques de reclasificación claros. Basado en disponibles datos, China tiene la mayor biodiversidad de bambú en Asia (500 especies nativas), seguido por Japón (139 especies), India (119 especies), Indonesia (118 especies) y Myanmar (97 especies). Con la excepción de Brasil, que tiene 232 especies de bambú, la mayoría de los países de América Central y del Sur tienen menos especies que los países asiáticos. Colombia y Venezuela tienen alrededor de 50 especies, mientras que Costa Rica, Perú y México tienen alrededor de 30 especies de bambú. Los países africanos tienen la diversidad más baja de especies de bambú, con cuatro especies reportadas para la República Unida de Tanzania, seguido de tres especies para Togo y dos especies para Uganda y Etiopía (Correal, 2020).

En el Perú, *D. asper* fue sembrado por primera vez en el valle del Pichis (Puerto Bermúdez – Oxapampa – Pasco) desde hace aproximadamente 30 años, fue introducida por el propietario de un fundo privado con el fin de combatir la erosión ribereña. Debido a diversa utilidad de este recurso, algunas plantas fueron adquiridas por las comunidades nativas vecinas con la finalidad de delimitar sus chacras y reforzar las riberas del río. También se encuentra *Dendrocalamus asper* en la región de San Martín, provincia de Moyobamba, distrito de Moyobamba, cerca al centro poblado Baños Termales San Mateo (Ortiz, 2017), los pobladores lo usan como uso para construcción de viviendas, hacer andamios y ornamental.

2.1.2. Taxonomía

La clasificación de los bambúes se ha dividido en dos grandes grupos o super tribus: los bambúes herbáceos (Olyrodae) y los bambúes leñosos (Bambusodae) (Hof-landlust, 2019). Entre estos dos grupos se tiene alrededor de 90 géneros y 1200 especies (Lobovikov *et al.* 2007).

Respecto a *D. asper*, esta especie fue descrita por primera vez por Joseph August Schultes como *Bambusa aspera* Schult, sin embargo, fue Cornelis Andries Backer, quien, en 1927, la renombró como *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer y este nuevo nombre fue publicado en el libro *Nuttige Planten van Nederlandsch-Indie* edición 2 (Trópicos, 2020).

Reino: Plantae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Bambusoideae

Tribu: Bambuseae

Género: *Dendrocalamus*

Especie: *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer, 1927

Montiel y Sánchez (2006), indican que otros nombres aceptados para *Dendrocalamus asper* son: *Bambusa aspera* Schultes f. (1930), *Gigantochloa aspera* (Schultes f.) Kurz (1876), *Dendrocalamus flagellifer* y *Dendrocalamus marrillianus* (Elmer, 1915).

Según Widjaja (1995), *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer, presenta los siguientes nombres comunes: “bambú gigante”, “bambú betung”, phai-tong” en Indonesia, “sweet bambú” en Tailandia y “manh-tong” en Vietnam.

2.1.3. Características de *Dendrocalamus asper*

El bambú es una planta perenne, herbácea o leñosa (Chapman, 1996). Los bambúes a diferencia de los árboles típicos solo exhiben un crecimiento primario y no secundario (Liese, 1998), es decir solo crecerán verticalmente. El bambú no crece en ancho como los árboles típicos y se caracteriza por su crecimiento rápido. La estructura principal del bambú consiste en rizoma, culmo (cepa, basa, sobrebasa, varillón, copa) y hojas (Asif, 2009; Trujillo y López, 2020) (Figura 1).

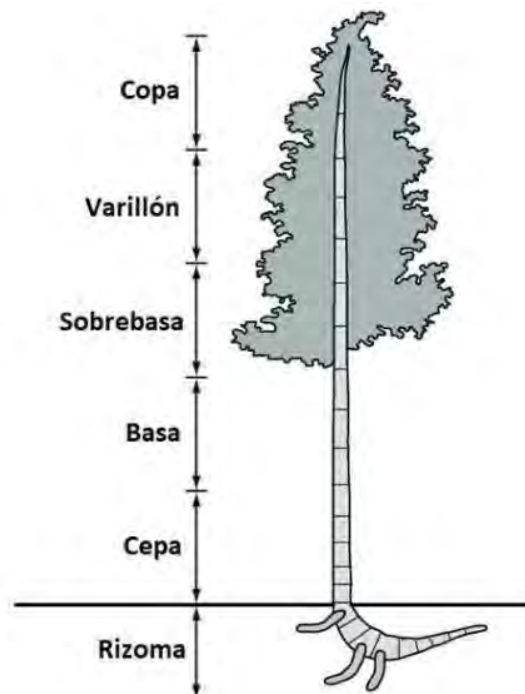


Figura 1: Estructura principal del bambú

Fuente: Estrada (2010)

El culmo es la parte aérea del bambú, es ahuecado en el interior, el culmo tiene nudos y entrenudos, conforme el bambú crezca, se desarrollan yemas en el tallo que dan lugar a las ramas de donde brotarán las hojas (Greco y Cromberg, 2011; Trujillo y López, 2020). Damiani (2013), describe a *Dendrocalamus asper* como plantas con un culmo (tallo) cilíndrico, hueco, de textura fina y pubescente, los culmos poseen nudos y entrenudos, estos últimos miden aproximadamente 40 cm. Como se muestra en la Figura 2, el culmo hueco de *Dendrocalamus asper* presenta una cara externa y una interna, la parte “vacía” se denomina cavidad, la parte interna de los entrenudos se llama diafragma (Rodríguez, 2017).

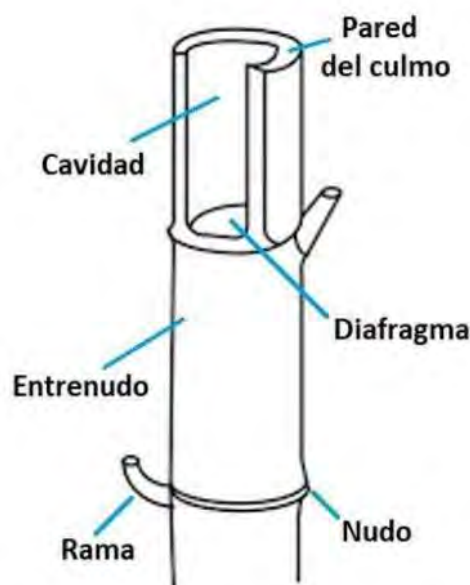


Figura 2: Partes internas del culmo de bambú

Fuente: Janssen (2000)

La parte subterránea del bambú es denominado rizoma, en esta parte se desarrollan yemas que dan lugar a los nuevos brotes los cuales mantienen su diámetro a lo largo de su vida, en el rizoma encontraremos las raíces que se encargan de la absorción de los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta (Jaramillo, 2019). Las raíces son el único órgano no segmentado del bambú, son cilíndricas, delgadas y no crecen en diámetro, las raíces pueden penetrar hasta 1.5 metros de profundidad (Figuroa *et al.* 2009).

En la Tabla 1 se describe detalladamente las partes morfológicas más importantes de *Dendrocalamus asper*:

Tabla 1: Características morfológicas de *Dendrocalamus asper*

Estructura morfológica	Características
Rizoma	Paquimorfo de cuello corto (Pereira y Beraldo, 2007)
Culmos	Culmo leñoso de 15 cm a 25 cm de diámetro y altura promedio de 25 m (Pereira y Beraldo, 2007). Color verde de joven y café de adulto. Nudo horizontal y conspicuo con presencia de raíces adventicias los mismos que disminuyen desde la base hacia la punta. Entrenudo hueco con presencia de polvillo amarillo blancuzco (Reátegui, 2009).
Ramas	Las ramas ocurren en todos los nudos, las ramas superiores en ángulos hacia arriba y las inferiores en ángulos hacia abajo. Varias ramas por nudo con una principal, se originan en la línea nodal (Reátegui, 2009).
Hoja caulinar	Hoja caulinar decidua. Cubre el primer tercio del culmo. En la base la hoja caulinar es ancha y corta y en el ápice largo y un poco más delgado (Reátegui, 2009).
Lámina foliar	Lámina foliar 40 cm x 10 cm, lanceolada y de color verde oscuro (Reátegui, 2009).

Fuente: Damiani (2013)

2.1.4. Estructura anatómica

El bambú es un biomaterial anisotrópico (sus propiedades son diferentes en su distribución longitudinal y transversal) (Fernández, 2022). La parte exterior del culmo es la corteza, su función principal es prevenir el ingreso de patógenos, evitar la pérdida de agua y proteger la parte interior del culmo. La Corteza está compuesta por tres partes las epidermis, hipodermis y el parénquima cortical (Liese, 1998; Castaño y Moreno, 2004).

Los culmos del bambú poseen una estructura anatómica, que determinan sus propiedades y uso final (Bonfatti, 2010; Castaño y Moreno, 2004; Londoño, 2012 y Liese, 1998). Contiene

fibras de células largas y alineadas dentro de una matriz leñosa (Liese y Kumar, 2003). En la sección transversal de un culmo de *Dendrocalamus asper* se muestra que la distribución de las fibras es variable a lo largo de su espesor. Típicamente el culmo está compuesto por aproximadamente 52 % de parénquima, 40 % de fibras y 8 % de haces conductores, Químicamente está constituido por 45 % celulosa, 21 % lignina, 32 % materiales solubles y 3 % de cenizas (Amada *et al.* 1996).

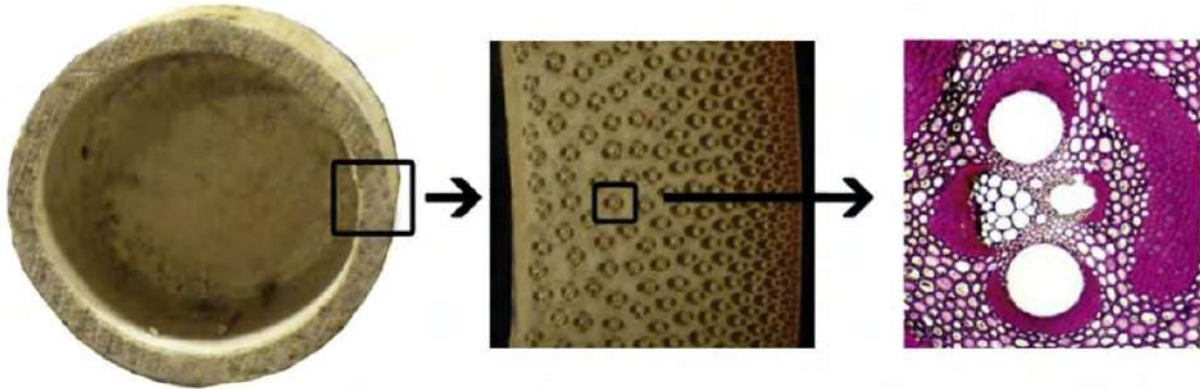


Figura 3: Vista esquemática de un culmo de bambú, sección de un culmo, clasificación de haces vasculares

Fuente: Gottron *et al.* (2014)

En la dirección axial, la cantidad de fibras aumenta de abajo hacia arriba con la disminución en su contenido de parénquima. Las células parenquimatosas son en su mayoría paredes delgadas y conectadas entre sí por numerosos hoyos simples en las paredes longitudinales, donde el tamaño del haz vascular es grande en la capa interna y media, y más denso y pequeño en la parte externa (Chaowana, 2013). Las células parenquimáticas forman la mayor parte del tejido interno del culmo (aproximadamente el 55 %), su función principal es alimentar a la planta mediante fotosíntesis, además del intercambio gaseoso y el almacenamiento de nutrientes y agua. (Liese, 1998; Londoño, 2012).

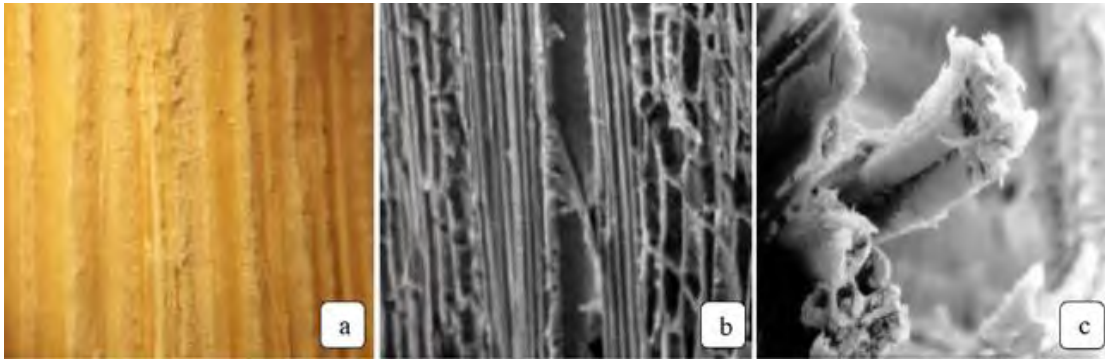


Figura 4: Distribución fibrovascular de una muestra de *Dendrocalamus asper*

- (a) Corte longitudinal de una muestra del culmo
- (b) Configuración de paquetes fibrovasculares
- (c) Vista aumentada de una fibra fragmentada

Fuente: Prates (2013)

Respecto a los haces vasculares, el conjunto de estos tejidos puede alcanzar aproximadamente el 8 % del volumen del culmo. (Liese, 1998; Londoño, 2002). Los haces vasculares están compuestos por floemas, xilemas y proto xilemas, el espacio intercelular entre estos haces está ocupado por tejido parenquimático (Chaowana, 2013).

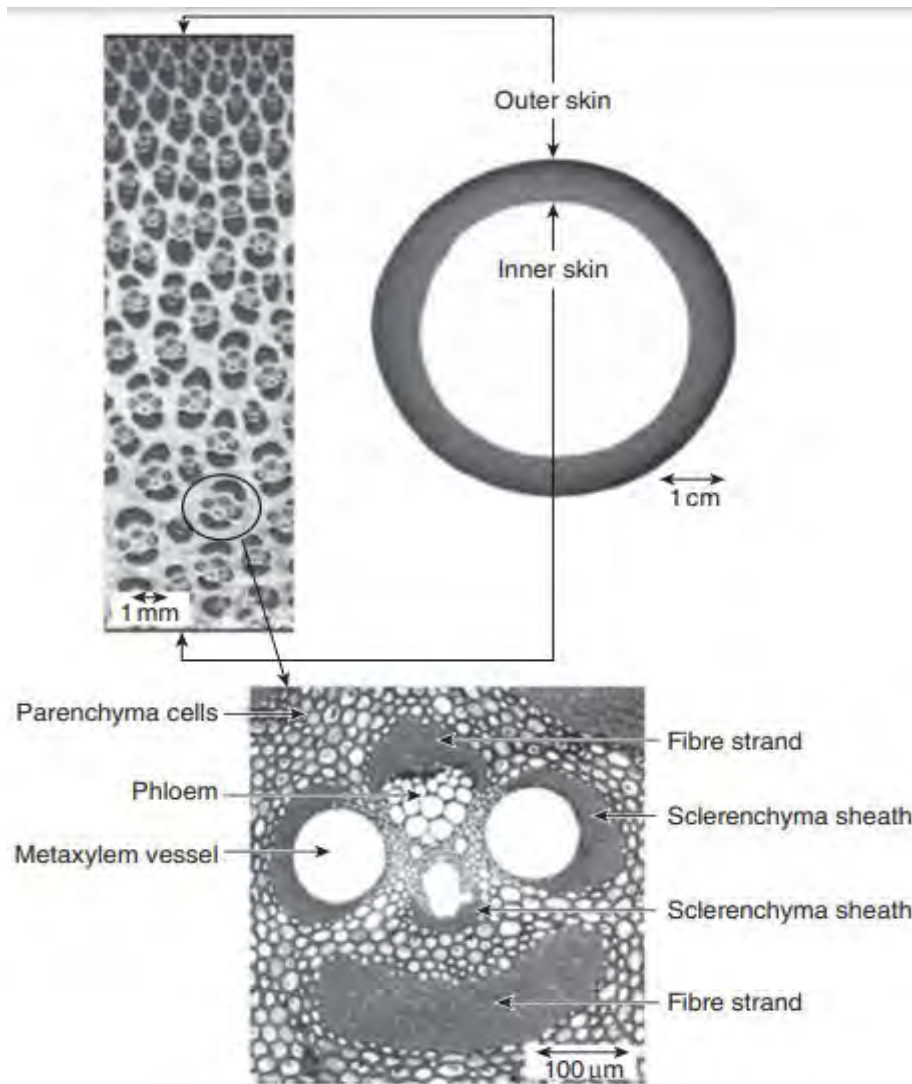


Figura 5: Distribución de los haces vasculares y composición de los haces vasculares

Fuente: Chaowana (2013)

Las hebras de fibras de las paredes asociadas a los haces vasculares incrustados en los tejidos parenquimáticos (Youssefian y Rahbar, 2015) son los que aportan las resistencias mecánicas de los culmos del bambú, los haces vasculares son por lo general los puntos negros que se observan cuando se realizan cortes transversales (Ray *et al.* 2004), en estas zonas se observan grandes concentraciones de lignina entre las fibras celulares, y se van concentrando mientras más se acercan a las paredes celulares del has vascular.

La deposición de celulosa en las paredes celulares de las fibras ocurre después de que se complete el alargamiento del entrenudo, en general la concentración de hemicelulosa es relativamente mayor en culmos jóvenes y en la parte inferior del mismo (Van Dam *et al.* 2018).

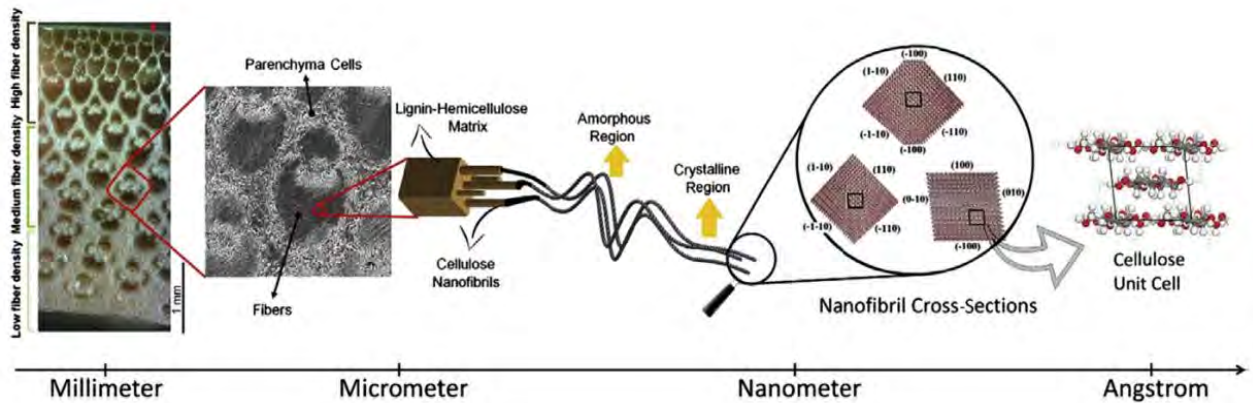


Figura 6: Estructura molecular de las paredes celulares de los haces vasculares

Fuente: Youssefian y Rahbar (2015)

Van Dam *et al.* (2018) indican que existen tres moléculas principales que conforman las paredes celulares: celulosa, hemicelulosa y lignina.

En relación con la celulosa, Zou *et al.* (2009) revelaron que estructuras de nanogramos de celulosa son componentes básicos de las paredes celulares. La celulosa que predomina en el bambú es una alomorfa tipo 1β como fase dominante (He *et al.* 2007).

La hemicelulosa del bambú se compone principalmente por arabinoxilanos con diferentes proporciones (0.3 – 1.7) de Ara:Xyl (Peng *et al.* 2012). En etapas tempranas del culmo, los arabinoxilanos presentan ramificaciones las cuales desaparecen en etapas de lignificación durante el desarrollo de la pared celular (Ishii, 1997). Otro compuesto importante que predomina en las hemicelulosas son los xiloglucanos que están presentes en las paredes primarias de las células (Peng y She, 2014).

La lignina es un polímero que se encuentra en las paredes celulares de todas las plantas terrestres, este polímero está asociado a la fuerza de las estructuras leñosas. Higuchi (1987)

indica que la lignina se compone por unidades de Guayacilo, Siringilo e Hidroxifenilpropano. Debido al alto contenido de lignina en los culmos de bambú, Li *et al.* (2010) sugiere que estas plantas deberían tener propiedades físico químicas similares a los de la madera convencionales. La lignificación ocurre temprano en la epidermis y aumenta a medida que pasa el tiempo, principalmente en las paredes celulares (Lybeer y Koch, 2005), Este proceso ocurre de abajo hacia arriba y de dentro hacia afuera (Itoh, 1990). Alrededor de lo xilemas la lignificación es más fuerte (Suzuki e Itoh, 2001).

2.1.5. Propiedades físico-mecánicas

Se debe tener en cuenta que debido a la anatomía del culmo, el bambú es un biomaterial que exhibe comportamientos viscoelásticos y anisotrópicos. Las propiedades físico-mecánicas son diferentes a lo largo de los ejes ortogonales (X Y Z), no obstante, estas variaciones son más importantes a lo largo del eje Y (longitud). Otro factor importante que afecta las propiedades físico-mecánicas es la edad de cosecha, y es una suposición general que el bambú madura después de 3 años y pasado este tiempo sus propiedades físico mecánicas se encuentran en un rango optimo (Liese, 1998), sin embargo, se debe recordar que estas propiedades decaen después de un tiempo por lo que se debe tener en cuenta que existe una edad ideal de cosecha (Correal y Arbelaez, 2010).

Ghavami (2004), indica que las propiedades físico-mecánicas de un culmo de bambú están estrechamente relacionadas con su estructura anatómica, por lo general las propiedades mecánicas están determinadas o enmarcadas a la densidad específica la cual depende principalmente de la concentración de haces vasculares.

Respecto a la densidad específica de los culmos de *Dendrocalamus asper*, Zaragoza *et al.* (2015) indican que la densidad del bambú varía mucho debido a las variaciones anatómicas de estas especies, existen grandes diferencias entre las densidades de la base del culmo, donde se presenta un mayor volumen y zonas vacías, por lo tanto, la densidad específica es menor, comparada a la parte superior del culmo donde se alcanzan los valores máximos de esta propiedad física.

En la siguiente tabla se muestran valores de densidad que algunos autores reportaron cuando estudiaron a la especie *Dendrocalamus asper*.

Tabla 2: Densidad de culmos de *Dendrocalamus asper*

Densidad (g.cm ⁻³)	Referencia
0.56 – 0.70	Surjokusumo y Nugroho (1995)
0.60 – 0.70	Dransfield y Widjaja (1995)
0.65 – 0.77	Pakhkeree (1997)
0.50 – 0.66	Zaragoza <i>et al.</i> (2015)
0.37 – 0.49	Darwis y Setiawan (2016)
0.60 – 0.70	Cesaré <i>et al.</i> (2019)
0.56 – 0.70	Mendez y Solis (2019)
0.62 – 0.81	Rusch <i>et al.</i> (2019)
0.58 – 0.68	Wulandari <i>et al.</i> (2022)

Las propiedades anatómicas del bambú influyen en las propiedades físicas y químicas. Latif y Razak (1991) concluyeron que, el paquete vascular correspondiente al tamaño (relación radial/tangencial) y la longitud de la fibra se correlacionaron positivamente con el módulo de elasticidad (MOR) y en límite proporcional. También explicaron que el aumento en el tamaño (en su etapa madura) y la longitud de la fibra podrían dar un aumento en las propiedades de resistencia a compresión y corte, es decir, que el bambú que posee fibras más largas podría ser más rígido y llevando mayor tamaño en el paquete vascular.

Soler (2007), indica que el bambú es un material con diversas cualidades que lo hacen apto para la construcción, incluso superando en algunas propiedades de la madera, y con la ventaja que su explotación necesita una quinta parte del tiempo con respecto a la gran parte de las especies maderables. Además, indica, que las propiedades fisico-mecánicas dependen de factores como humedad, topografía, edad, parte de la planta, corte y el tratamiento empleado.

En un estudio realizado por Armendariz *et al.* (2011), determinaron las propiedades mecánicas del *Dendrocalamus asper* provenientes de la provincia de Manabí Ecuador, cuyos valores se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3: Propiedades mecánicas del *Dendrocalamus asper* de seis años

Propiedades	Unidad	Valor
Contenido de humedad	%	54.00
Densidad básica	Kg.m ⁻³	640.00
Tracción paralela	MPa	127.08
Módulo de tracción paralela	MPa	5.70
Compresión perpendicular	MPa	99.41
Módulo de compresión perpendicular	MPa	18327.19
Flexión perpendicular	MPa	15.66
Módulo de flexión perpendicular	MPa	19322.05

Fuente: Armendáriz *et al.* (2011)

Alipon *et al.* (2018), empleando en la preparación de laminados de *Dendrocalamus asper*, distintos niveles de un adhesivo encontraron diferencias significativas en todas las variables evaluadas. En la Tabla 4, se observan las siguientes propiedades mecánicas.

Tabla 4: Propiedades mecánicas (promedio) del bambú *Dendrocalamus asper*

Propiedades	Unidad	Valor
Módulo de ruptura	MPa	89.90
Módulo de elasticidad	MPa	11.60
Dureza	kN	5.06
Resistencia a la cizalladura	MPa	4.87
Densidad relativa	Kg.m ⁻³	630
Contenido de humedad	%	10.87

Fuente: Alipon *et al.* (2018)

2.1.6. Caracterización química de las latas de *Dendrocalamus asper*

La caracterización química de *Dendrocalamus asper* (Cesare *et al.* 2019), fue realizada de cañas procedentes de Villarrica, Pasco: el análisis químico (C, H, O, N) mostrado en la Tabla 5. El análisis termo gravimétrico y el análisis proximal (% H, % MV, % Ceniza) con el equipo LEGO TGA 701, en la Tabla 6 y la caracterización química lignocelulósico: lignina, celulosa y holocelulosa, en la Tabla 7.

Tabla 5: Análisis químico elemental del *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*

Especies		C (%)	N (%)	H (%)	O (%)	S (%)	Referencia
<i>Dendrocalamus asper</i>	Promedio	43.99	0.44	6.31	46.51	0.13	Césare <i>et al.</i> (2019)
	D.S.	1.55	0.01	0.11	0.42	0.01	
	C.V. (%)	3.52	2.27	1.78	0.90	7.69	
<i>Guadua angustifolia</i>		45.70	0.33	5.96	45.76	0.15	Césare <i>et al.</i> (2019)

Tabla 6: Análisis Termogravimétrico (Proximal) del *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*

Especies		Humedad (%)	Materia volátil (%)	Cenizas (%)	Referencia
<i>Dendrocalamus asper</i>	Promedio	7.38	98.41	1.59	Césare <i>et al.</i> (2019)
	D.S.	0.33	0.06	0.06	
	C.V. (%)	4.51	0.06	3.78	
<i>Guadua angustifolia</i>		15	77,59	3,95	Césare <i>et al.</i> (2019)

Tabla 7: Análisis lignocelulósico del bambú *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*

Especies		Lignina: Holocelulosa	Celulosa	Hemicelulosa	Extractivo	Referencia	
<i>D. asper</i>	Promedio	21.16	54.29	35.10	19.19	Cesaré <i>et al.</i> (2019)	
	D.S.	0.08	5.69	1.27	4.43		
	C.V. (%)	0.39	10.5	3.63	23.07		1.49
<i>G. angustifolia</i>		24.95	54.67	44.49	10.18	6.57	Cesaré <i>et al.</i> (2019)

2.2. Adhesivos

El adhesivo es definido como un material adherente, capaz de mantener juntas las superficies de los materiales, esta capacidad se desarrolla bajo ciertas condiciones existentes, durante las acciones recíprocas con el adherente y no es una propiedad intrínseca del adhesivo. La unión se realiza de una forma muy compleja que incluye aspectos mecánicos, físicos y químicos. ASTM907-08 (2008) y Blomquist *et al.* (1981) indican que un adhesivo es una sustancia capaz de mantener materiales unidos por medio de la adhesión superficial

Es el estado en el cual dos superficies son mantenidas juntas por fuerzas intrasuperficiales, que pueden ser enlaces químicos, acción entrecruzada o ambas (Blomquist *et al.* 1981).

De acuerdo con Vick (1999), una elección de adhesivo está en función del ambiente, no en el que se utilizará el producto encolado. En la Tabla 8, se presenta un resumen de las características de los adhesivos y en la Tabla 9, la clasificación de resistencia de cola al adhesivo.

Tabla 8: Características de los adhesivos en función del ambiente de uso

Clasificación de adhesivo	Ambiente de uso	Tipo de adhesivo	Propiedades de resistencia
Estructural	Exterior	Emulsión polímero isocianato (EPI)	Alta resistencia a ambiente seco y húmedo, mucha resistencia en agua, resistente a secados repetidos; se adhiere a metales y plásticos.
		Melamina-formaldehido (MF)	
		Fenol-formaldehido (FF)	
		Resorcinol-formaldehido (RF)	
	Exterior limitado	Fenol-resorcinol-formaldehido (FRF)	
		Epoxi	
Interior	Melamina-urea-formaldehido (MUF)		
	Isocianato		
		Urea-formaldehido (UF)	
		Caseína	

Fuente: Prata (2010)

Tabla 9: Clasificación de resistencia de cola al adhesivo

Clase de resistencia	Condición de aplicación del adhesivo
D1	Uso interior de contenido de humedad no superior al 15%
D2	Uso interior con exposición ocasional o por corto periodo de tiempo en agua o vapor y la alta humedad del aire con humedad de la madera no superior a 18%
D3	Uso interior con exposición frecuente por cortos periodos de tiempo en agua o vapor a una elevada humedad
D4	Uso interior con exposición por largos periodos en agua o vapor. También puede ser usada para aplicaciones exteriores como acabado adecuado.

Fuente: Norma Europea EN-204

2.2.1. Emulsión Polimérica de Isocianato (EPI)

El producto EPI es un adhesivo que resulta de la emulsión en agua del polímero difenil metano diisocianato (MDI). Su activación se realiza mediante la adición de un endurecedor o catalizador, lo cual hace que este adhesivo sea bicomponente. Está clasificado como termo rígido, y es uno de los adhesivos más empleados en la industria maderable, debido a su alto desempeño y es empleado especialmente en la producción de vigas para interiores y exteriores, sin embargo, su principal desventaja es su costo y la necesidad de ser mezclado antes de su aplicación (Conner, 2001).

2.2.2. Teoría de la adhesión

Houwink (1978), menciona que los adhesivos de la madera son dispersiones de sustancias poliméricas macromoleculares que al ponerse en contacto con la superficie de madera o de celulosa, forman enlaces entre los grupos reactivos del polímero y de la madera o celulosa. A su vez, Frihart y Hunt (2010) mencionan que los adhesivos transfieren y distribuyen cargas entre los componentes, incrementando la resistencia y rigidez de los productos de madera. El adhesivo debe ser aplicado, humedecer la superficie, penetrar dentro de la madera, fraguar y mantener la resistencia por suficiente tiempo, bajo diferentes cargas y condiciones ambientales.

Valdovino (2005), comenta sobre dos modos de acción de los adhesivos en las uniones, los cuales son la adherencia mecánica y la adherencia específica. La adherencia mecánica es un criterio muy aceptado referido a la capacidad de la cola (adhesivo) de introducirse en las cavidades de la estructura del material para luego solidificarse. La resistencia resultante se debería al entrelazado de dos sólidos (material y adherente). Para AITIM (1996), esto depende de la forma de penetrar por los poros, si el adherente penetra bien se obtendrá una buena adhesión mecánica.

Respecto a la adherencia específica, se ha demostrado que la unión entre dos superficies completamente lisas puede tener una mayor resistencia a la tracción que una película independiente del mismo adherente, es decir, existe otro tipo de adherencia debido a las fuerzas

de atracción molecular y que es independiente a la cantidad de adhesivo que penetre en los cuerpos que se van a unir (Parra, 2019). Vignote y Martínez (2006), mencionan que esta unión resulta de la atracción química entre los grupos activos de naturaleza polar del material y los grupos activos polares del adherente (*Figura 7*).

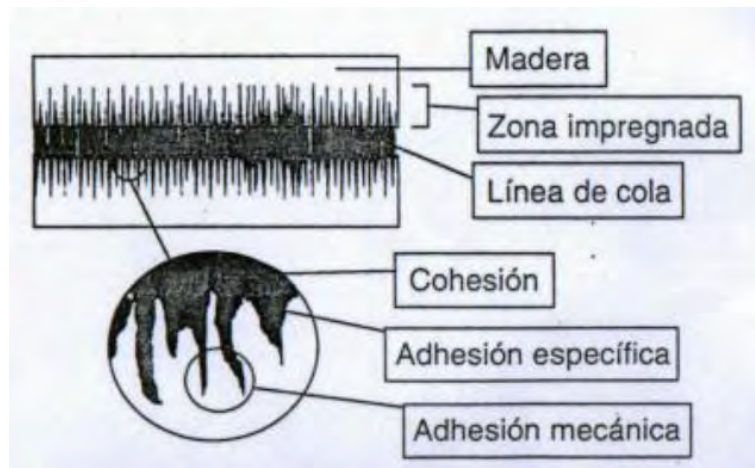


Figura 7: Fuerzas que permiten el fraguado del adhesivo en el encolado de la madera

Fuente: Vignote y Martínez (2006)

2.2.3. Factores que afectan la adhesividad

A. De la madera

La calidad de la unión encolada es afectada por las propiedades físicas de la madera, tales como: densidad, porosidad, contenido de humedad y cambios dimensionales (hinchamiento y contracción), principalmente (Frihart y Hunt, 2010).

- **Densidad**

Las maderas menos densas presentan una buena adhesión mecánica por el mayor volumen de espacios libres que facilitan la penetración del adhesivo (Foro Forestal Maderero de Bosque y Madera, 2004). Para las maderas de alta densidad, Frihart y Hunt (2010) señalan que poseen

paredes celulares gruesas y diámetros del lumen más pequeños, por lo cual, los adhesivos no penetran fácilmente, limitando el anclaje mecánico. De la misma manera, se requiere de una mayor presión para lograr un buen contacto entre las superficies de madera y el adhesivo.

- **Contenido de humedad**

Frihart y Hunt (2010) afirman que el cambio dimensional de la madera tiene un amplio alcance e importantes consecuencias sobre el desempeño de las uniones adhesivas. El daño en la unión adhesiva puede ocurrir cuando el cambio en el contenido de humedad, en piezas adyacentes de madera, tiene diferentes contracciones o hinchamientos. Esto se puede producir cuando las especies son diferentes, existen presencia de albura y duramen, o presencia de madera juvenil, o diferentes tipos de grano. La tensión generada por los cambios dimensionales puede ser minimizada, uniendo: piezas con similares planos de corte, maderas con bajos valores de contracción y elementos con contenidos de humedad cercanos al equilibrio de servicio. Los mismos autores afirman que las propiedades óptimas del adhesivo ocurren cuando la madera está entre 6 % y 14 % del contenido de humedad. Para maderas con bajos contenidos de humedad, los adhesivos acuosos tienden a secarse cuando se aplican, debido a que la madera absorbe agua del adhesivo tan rápidamente y la penetración en la madera es drásticamente inhibida, incluso bajo alta presión. En el caso de la madera con alto contenido de humedad, también es difícil de unir con adhesivos solubles en agua, debido a que el agua y los elementos de bajo peso molecular del adhesivo migran con mayor dificultad dentro de paredes celulares húmedas que en paredes secas; dejando al adhesivo más líquido y propenso a salir cuando la presión de prensado es aplicada.

- **Calidad de la superficie**

Cuando la superficie física presenta deterioro, están dañadas (fisuradas o aplastadas) no pueden formar una unión resistente. De la misma forma, las superficies a unir deben estar libres de barnices, exudaciones, grasas, suciedad y otros residuos, los cuales interfieren con el flujo, penetración, fraguado del adhesivo y la resistencia cohesiva de la unión (Frihart y Hunt, 2010). Con relación a la rugosidad superficial, Blomquist *et al.* (1981) señalan que cuando las superficies de dos sólidos se juntan, no se encuentran en íntimo contacto, debido a que todas

las superficies son rugosas a nivel microscópico. Meléndez y Bustamante (2003) afirman que la rugosidad superficial depende en gran medida de varios factores, entre los cuales destacan: la estructura anatómica, el contenido de humedad, las particularidades de la madera de ciertas especies y árboles, el número de grano de lija, la forma geométrica de las piezas, la velocidad de corte y el afilado de los elementos de corte. Para Frihart y Hunt (2010), cuando superficies altamente rugosas, son unidas, la presión aplicada se distribuirá de manera irregular a lo largo de la línea de unión; como resultado, el adhesivo fluirá de las áreas de muy alta presión a las zonas con menos presión resultando en una línea de cola con espesor muy variable.

Dentro de las propiedades químicas del material, el cual este compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina, así como de componentes menores (cenizas). La influencia de estos componentes está relacionada principalmente a la exposición de áreas de mayor o menor concentración de extractivos en la superficie del material donde se aplicará el adhesivo. Las propiedades químicas más importante son los extractivos, el pH y el contenido de cenizas (Iwakiri, 2005).

- **Extractivos**

Sobre los extractivos en la madera, Blomquist *et al.* (1981) afirman que conforme se incrementa la densidad de la madera o exista presencia de compuestos químicos extraños, la calidad adhesiva del pegamento resultará deficiente. Frihart y Hunt (2010) agregan que los extractivos, tales como resinas y aceites, sobre la superficie de la madera afectan el adecuado humedecimiento y penetración del adhesivo, interfiriendo en el fraguado y polimerización del adhesivo.

Klock (2000) y Tuset y Duran (2008) mencionan que los extractivos son sustancias químicas que no forman parte de la pared celular o la lámina media, generalmente están constituidos por compuestos orgánicos (grasas, taninos, carbohidratos, ácidos, gomas, proteínas, resinas, etc.). Sus efectos predominantes están relacionados con la reducción de la higroscopicidad, permeabilidad y porosidad del material. El pH puede favorecer el pre-curado del adhesivo, impidiendo su fluidez, humectación y penetración (Iwakiri, 2005).

b. De los adhesivos

- **Viscosidad**

Frihart y Hunt (2010) afirman que la viscosidad afecta fuertemente el humedecimiento, flujo, penetración, y particularmente la transferencia del adhesivo a las superficies opuestas de madera cuando es aplicada la presión de prensado a la junta. La viscosidad adhesiva depende del tipo de adhesivo, tipo y cantidad de solvente, edad de la mezcla adhesiva y temperatura. Después de la aplicación, la viscosidad del adhesivo cambia dependiendo de la cantidad de: adhesivo aplicado, especie, contenido de humedad y temperatura de la madera, temperatura y humedad del aire y evaporación del solvente. Madrid (2005) agrega que la viscosidad del adhesivo debe ser adecuada a la estructura, geometría y al estado de la superficie. Esto significa que las irregularidades en la superficie deben ser rellenadas con el adhesivo, para asegurar que la totalidad del área a unir participe en la adherencia.

- **Humectabilidad**

El líquido adhesivo debe “humedecer” la superficie de la madera, fluyendo y penetrando dentro de la madera. Las moléculas del adhesivo tienen que llegar en contacto directo con las moléculas de la madera para proporcionar el mejor anclaje mecánico y atracción intermolecular. Las superficies de la madera pueden parecer ser suaves y planas, pero por ampliación microscópica muestran picos, valles, y pequeñas crestas con fibras levantadas. Tales condiciones de la superficie causan bolsas de aire y obstrucciones que evitan el completo humedecimiento de la unión (Frihart y Hunt, 2010).

- **Contenido de sólidos**

Según la norma ASTM D 907-08 (2008), el contenido de sólidos es el porcentaje en peso de la materia no volátil en un adhesivo, que queda luego que la materia volátil ha sido evaporada bajo un ambiente específico o condiciones aceleradas. A su vez se menciona que el contenido de sólidos en un adhesivo varía de acuerdo al procedimiento de análisis, por lo que un método de análisis estándar debe ser usado para obtener resultados consistentes.

- **Aplicación y espesor de la capa de adhesivo**

Frihart y Hunt (2010) indican que el propósito de extender el adhesivo es distribuir uniforme y adecuadamente el adhesivo sobre el área a unir, para que el pegamento fluya en una capa uniforme y delgada cuando se aplique la presión de prensado. La cantidad de adhesivo requerido dependerá de la especie de madera, calidad de superficie de la madera, contenido de humedad, tipo de adhesivo, temperatura y humedad del aire, tiempo de ensamble, y aplicación del adhesivo a una o ambas superficies. Vignote y Martínez (2006) menciona que el extendido de adhesivo para adhesivos PVA oscila entre 140 g/m² y 200 g/m², lo cual coincide con Carrasco (2005), el cual agrega que una buena unión no va ligada a una gran cantidad de adhesivo aplicado, recomendando un extendido de 150 g/m² a 200 g/m². Asimismo, menciona que las uniones de poco espesor, además de ahorrar adhesivo, otorgan una mayor resistencia en la unión, menos riesgos de coloraciones y un fraguado más rápido.

- **Tiempo abierto**

También llamado tiempo de reunión, según Henkel (2004) se compone de dos partes: tiempo de reunión abierto, comprendido entre el esparcido y la unión de los sustratos y tiempo de reunión cerrado, entre la unión de los sustratos y la aplicación de las condiciones para el fraguado.

Asimismo, Frihart y Hunt (2010) mencionan que la presión de prensado ayuda al adhesivo a penetrar en la superficie de la madera forzándolo a fluir sobre las superficies, desplazando bloqueos de aire atrapado en la junta, y penetrando dentro de los espacios vacíos de la madera para una efectiva adhesión superficial y anclaje mecánico. También la presión sirve para sujetar la junta en posición mientras ocurre el fraguado del adhesivo. Elevadas presiones de prensado (encima de 17 kg/cm²), son requeridas para maderas de mayor densidad, las cuales son difíciles de comprimir. Excesivas presiones de prensado pueden forzar al adhesivo a salir de la unión encolada, dejando una cantidad insuficiente en la línea de cola. Estas condiciones de pérdidas por escurrimiento resultan en una junta con insuficiente cantidad de adhesivo para producir una unión de buena resistencia. Por otro lado, las bajas presiones de prensado (cerca de 7 kg/cm²) son adecuadas para maderas de baja densidad, porque las superficies

fácilmente se acomodan una con otra, asegurando el íntimo contacto entre el adhesivo y la madera.

2.3. Paneles Encolados de Canto - PEC

Los paneles de madera encolados de canto son listones de madera aserrada con dimensiones y espesores semejantes unidos a través de un adhesivo, colas, resina por los cantos y para aumentar la adhesión, por medio de un prensado realizado en frío o en presencia de calor, dando valor y vida útil a la madera. Los listones pueden presentar uniones de tipo recto o unirse desde la parte superior a través de empalmes del tipo “finger joint” (Iwakiri, 2005).

Pegar dos o más piezas de madera puede ser una operación fácil y simple, principalmente teniendo en consideración la calidad del adhesivo, porque una materia prima nunca es lo mismo si se usan dos o más piezas del mismo árbol. Este comportamiento se verifica debido a las diferentes características encontradas en la estructura anatómica y la superficie de encolado de la madera. Para Marra (1992), la formación de la aleación adhesiva permite que el adhesivo alcance lo más cerca posible las conformaciones de las irregularidades y la aspereza de la superficie de unión, porque si las superficies son lo suficientemente lisas y suaves, cuando se unen, las fuerzas moleculares atractivas entran en juego a una distancia de pequeños angstroms a lo largo de la superficie, producen uniones más resistentes, que maderas con superficies rugosas ya que una excesiva rugosidad facilita la captura de burbujas de aire en el adhesivo y discontinuidad en la madera que resulta una concentración de tensiones que pueden ocasionar falla prematura de unión sustrato-adhesivo-sustrato, cuando las juntas encoladas están expuestas a tensión.

De acuerdo con ABIMCI (2003), estos paneles son considerados como productos de mayor valor agregado “PMVA”, y agrega valor al producto primario (listones). Su utilización se da intensamente en confección de muebles, puertas, pisos y también en construcción civil. Según ABIMCI (2003) una gran parte de consumo de PEC se da en el mercado doméstico, específicamente en la producción de muebles, siendo en once años (1998 al 2007) la producción tuvo un incremento de 97.3 % y un consumo alrededor de 63 %. En 2007, la producción estimada de paneles PEC alcanzó cerca de 503 000 m³, en consumo del mercado

interno de Brasil de 358 000 m³. Esta diferencia entre consumo interno y producción, cerca de 145 000 m³ fueron destinadas a exportación generando una renta de US\$119.7 millones.

2.4. Ensayos Mecánicos de PEC

Para poner a prueba el desempeño de un adhesivo y su capacidad de adhesión de la madera y las juntas encoladas deben ser sometidas a ensayos de carga específico, como el de cizallamiento de la línea de cola para separación de sus fibras, causadas por un esfuerzo paralelo a las mismas, permitiendo así validar la eficiencia del adhesivo en la unión de las piezas con una determinada temperatura y condiciones de humedad durante un tiempo específico (Kollmann *et al.* 1975).

Este ensayo tiene como finalidad evaluar la calidad de la línea de cola y clasificar al producto según el lugar de utilización, puede ser destinada a uso en interior (evaluación en ensayo seco) intermedio (evaluación en ensayo húmedo) o exterior (evaluación en ensayo post ebullición).

Hay normas como ASTM D-143(2007) Y ASTM D-198(2009), NBR ISO 12466-2 (2013) y EUROPA EN 310 Y EN 314-2 (1993) entre otras, que estipulan los procedimientos para determinación de la capacidad de adhesión de la madera considerando que todas exigen entre los resultados dos pruebas donde reporten los valores de resistencia de las juntas encoladas y un porcentaje de falla en madera (Abrahão *et al.* 2003).

En la presente investigación la calidad de las juntas encoladas será determinada de acuerdo a la norma UNE-CEN/TS 13354:2003 “Tableros de madera maciza-Calidad de encolado-Método de ensayo”. De acuerdo con esta norma, antes de realizar el ensayo mecánico, las probetas de ensayo deben ser sometidas a pretratamientos de acuerdo con la condición del uso del panel: uso para estructura seco (SWP/1 NS) húmedo (SWP/2 NS) uso externo (SWP/3 NS) con un mínimo de 10 probetas para cada tratamiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de colección

Las cañas de bambú (*Dendrocalamus asper*) provenientes del distrito de Villa Rica, Provincia de Oxapampa del departamento de Pasco, fueron seleccionadas en longitudes de 6 metros para su transporte a la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se ejecutó en el Taller del Centro de Investigación de Bambú (CIB) y el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, para la habilitación del material a utilizar y la realización de los ensayos de resistencia de la línea de cola al cizallamiento, respectivamente

3.3. Materiales experimentales

3.3.1. Material vegetal

Se emplearon 30 cañas de bambú (*Dendrocalamus asper*) cuya longitud era de 6 m.

3.3.2. Adhesivo

Se utilizó como adhesivo Emulsión Polímero Isocianato- EPI 1911 con Hardener 1999.

3.4. Equipos y herramientas

- Higrómetro de pines precisión +- 1%
- Maquina universal de ensayo Tinius Olsen 0,00254 cm de precisión
- Vernier digital precisión 0,01mm
- Balanza digital precisión -0.1 a 0001 g
- Disco para sierra circular Multi Material ($\text{Ø}=10''$ /254 cm)
- Sierra circular de banco (Marca: REXON, Modelo: SM-10P)
- Cepilladora de dos caras
- Estufa eléctrica para baño María
- Garlopa
- Prensa sargento
- Prensa modular
- Wincha métrica de 5m.
- Desecador de vidrio

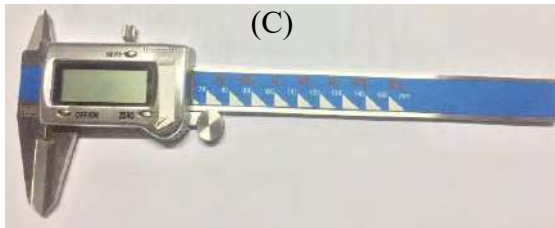


Figura 8: (A) Higrómetro de pines, (B) Maquina universal de ensayo Tinius Olsen, (C) Vernier digital de precisión, (D) Sierra circular de banco Rexon SM-10P

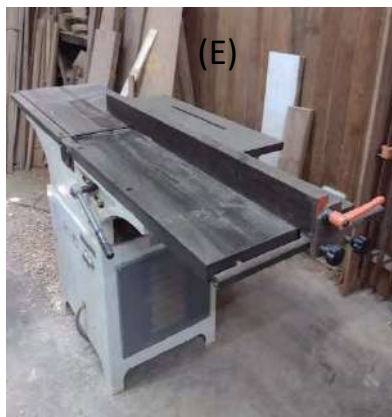


Figura 9: (A) Cepilladora, (B) Prensa sargento, (C) Prensa modular, (D) Desecador de vidrio

3.5. Metodología y procedimiento

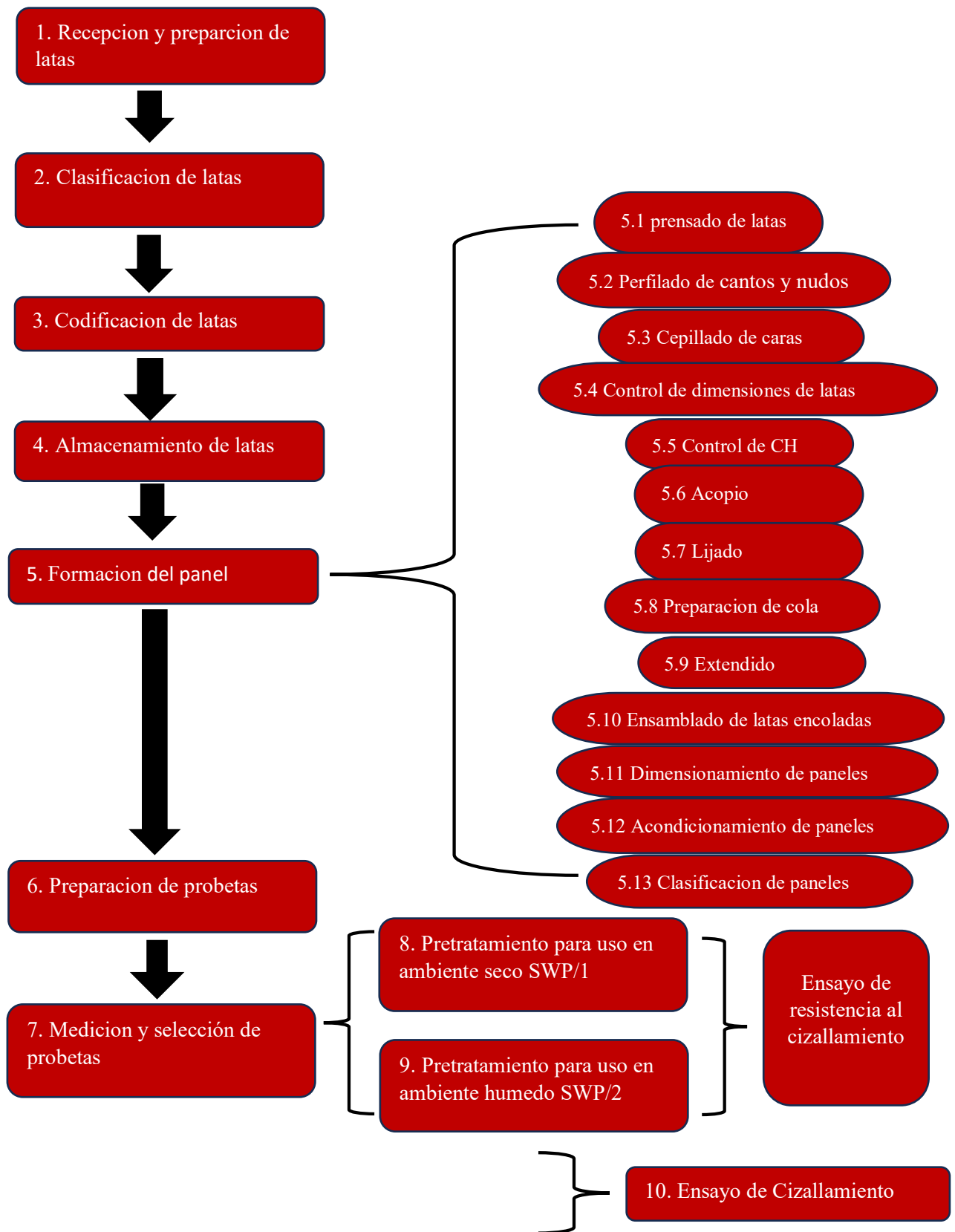


Figura 10: Flujo grama del experimento

3.5.1. Preparación de las latas de *Dendrocalamus asper*

Las “latas”, se obtienen mediante cortes longitudinales paralelos al eje del culmo (caña) de bambú. Para la preparación de las latas de *Dendrocalamus asper*, se utilizaron dos secciones del bambú (cepa y basa), de cada sección del culmo del bambú se obtuvo seis latas de aproximadamente 1.5 metros de largo, los culmos se latillaron con una sierra circular manual y un caballete artesanal que se elaboró en el taller, la longitud final que se trabajó para la elaboración del panel fue de 1.2 metros y se realizó en la sierra circular.

3.5.2. Clasificación de las latas

La habilitación de las cañas consiste en seccionarlas en largos de 1,50 m correspondiente a cepa y basa y a partir de estas longitudes obtener las latas para el trabajo de investigación.

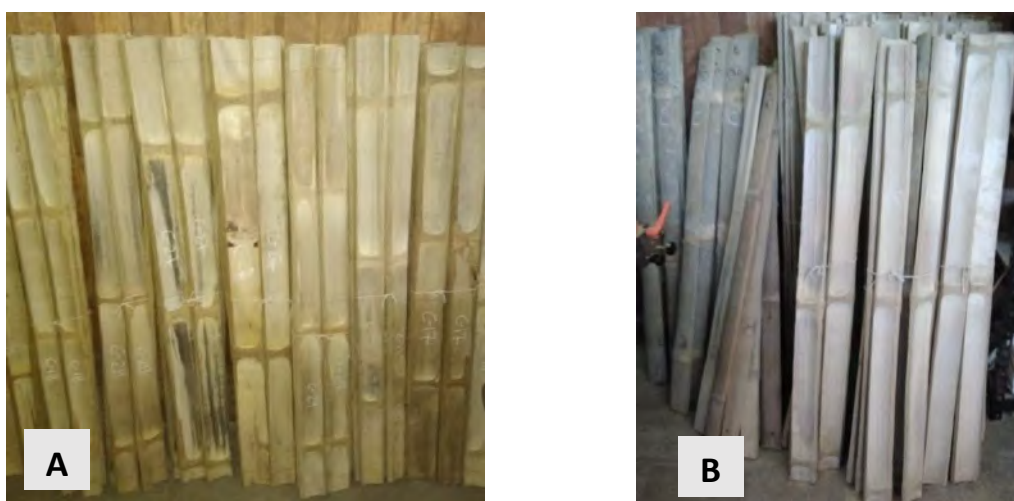


Figura 11: Latas de 1.50 m de las secciones cepa(A) y basa (B) de la especie *Dendrocalamus asper*

Estas latas fueron seleccionadas en base a la presencia o ausencia de defectos de forma, estructura y ataque de microorganismos, con la finalidad de caracterizar las latas utilizadas en el encolado del panel y se usaron 5 latas de las cañas de bambú de la especie *Dendrocalamus asper* (30 individuos) de la sección cepa y basa, para la elaboración de los paneles enlistonados.

En la Figura 12, se muestra la habilitación de las 6 latas de la sección cepa y selección de la lata con mayor defecto de la especie *Dendrocalamus asper* provenientes de Villa Rica – Oxapampa, para su posterior utilización en el estudio de investigación.



Figura 12: Latas defectuosas de la especie *Dendrocalamus asper*

3.5.3. Codificación de las latas

Para la codificación se tuvo en cuenta los siguientes parámetros

- Número de individuo (caña)
- Sección de la caña (basa (B) y cepa(C)).
- Numero de latas de cada sección (A, B, C, D, E, F)

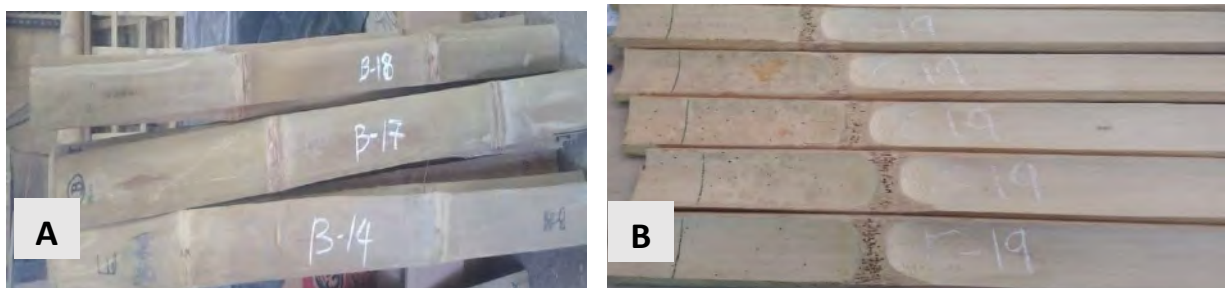


Figura 13: Codificación de latas en sección basa (A) y cepa (B)

3.5.4. Almacenamiento de las latas

Antes del proceso de encolado, las latas fueron almacenadas a temperatura ambiente y cubiertas con el objetivo de estabilizar el contenido de humedad de acuerdo con lo solicitado por el fabricante del adhesivo

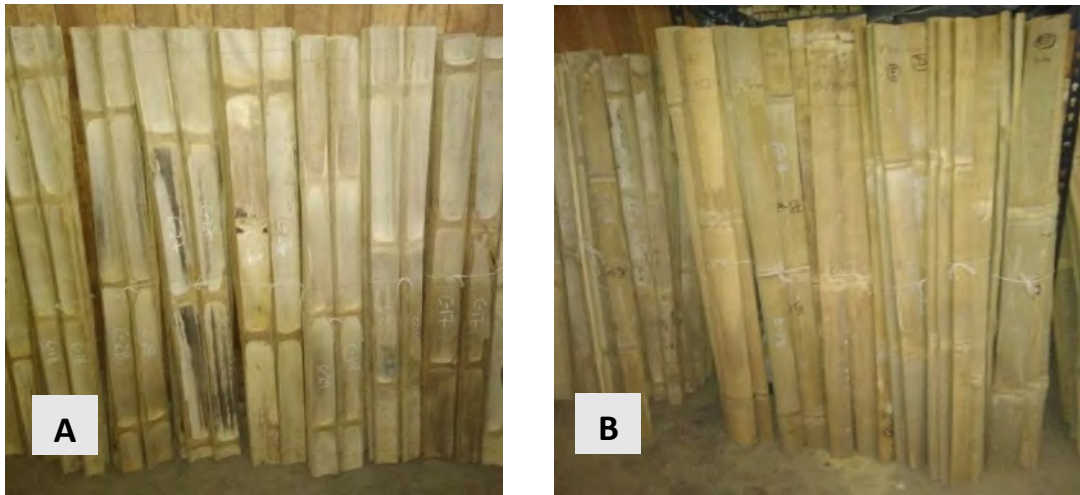


Figura 14: Almacenamiento de latas de la sección cepa (A) y basa (B) de *Dendrocalamus asper*

3.5.5. Procedimiento para formación del panel

a. Prensado de las latas

Se efectuó con la finalidad de obtener latas con superficies planas, colocándolas en una prensa de platos calientes a una T° de 60 °C, 40 psi (2.81 kgf/cm²) de presión manométrica por un tiempo de 30 minutos.



Figura 15: Prensado de latas de *Dendrocalamus asper*

b. Perfilado de cantos y nudos

Para esta operación se utilizó la garlopa con la finalidad de mejorar la superficie de contacto lateral de los cantos de las latas buscando un corte en 90° y disminuir la presencia de los nudos en la cara interna y externa de las latas.



Figura 16: Garlopeado de cantos de latas de *Dendrocalamus asper*



Figura 17: Garlopeado de cara interna de latas de *Dendrocalamus asper*

c. Cepillado de las caras de las latas

Para mejorar las superficies (caras) externa e interna de las latas se realizó un cepillado, para lo cual se utilizó un cepillo doble cara 2S.



Figura 18: Cepilladora de superficies de las caras internas y externas de las latas de *Dendrocalamus asper*

d. Control de las dimensiones de las latas

Se controló las dimensiones correspondientes al espesor (mm) y ancho (cm) en los extremos y centro de cada lata para sacar un promedio y sean datos más precisos largo (m), considerando la parte de donde procede la lata basa y cepa.

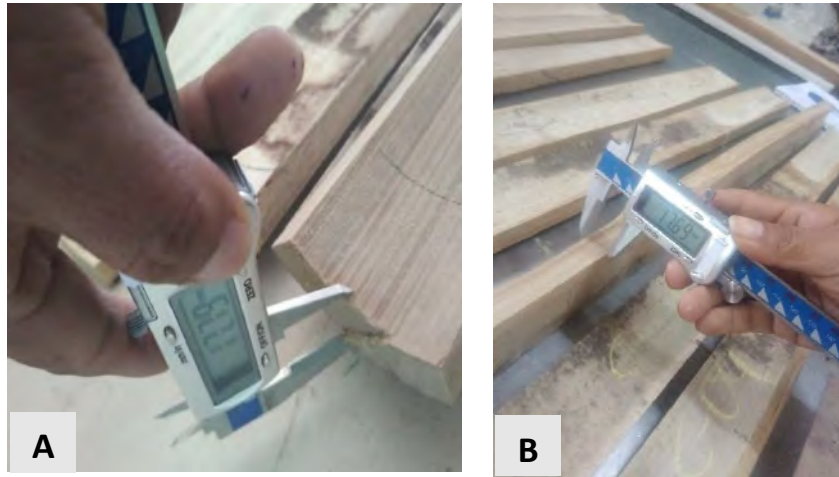


Figura 19: Determinación del espesor en la punta de la lata (A), en la parte central (B)

e. Control del contenido de humedad

Para el control del contenido de humedad se utilizó un higrómetro de pines, con el objetivo de verificar que los valores de humedad se encuentren dentro del rango recomendado por el fabricante del adhesivo de 8% a 15% y se realizó tres mediciones en los extremos y centro de cada latilla.



Figura 20: Determinación del contenido de humedad. A y C. Medición de humedad en los extremos de la latilla. B. Medición de humedad en el centro de la latilla de *Dendrocalamus asper*

f. Acopio de las latas para ensamble de paneles

Ordenamiento de las 5 latas de *Dendrocalamus asper*, de secciones basa y cepa, para el ensamble de los paneles encolados lateralmente.

g. Lijado de los cantos de las latas

Antes de la aplicación del adhesivo se lijó manualmente la superficie de los cantos a encolar con una lija grano 100.



Figura 21: Lijado de los cantos de las latas

h. Preparación de la cola

La preparación de la cola se realizó en base a la formulación recomendada por el fabricante del adhesivo.

- EPI : 100 pp
- Catalizador : 15 pp

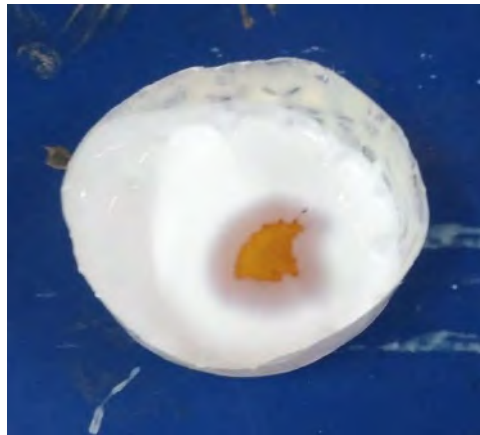


Figura 22: Mezcla del adhesivo EPI con el catalizador (Hardener)

i. Extendido

El extendido se realizó en forma manual utilizando espátulas y brochas para latas procedentes de sección cepa y basa, considerando dos niveles de gramaje:

$$G1 = 160 \text{ g/m}^2$$

$$G2 = 200 \text{ g/m}^2$$



Figura 23: Aplicación de adhesivo en latas de *Dendrocalamus asper*

j. Ensamblado de las latas encoladas lateralmente

Los paneles fueron elaborados por la unión de 5 latas encoladas lateralmente con la ayuda de prensas tipo sargenta para mantenerlas unidas hasta que fragüe el adhesivo aplicando una presión de 10 kg/cm^2 , un tiempo 120 minutos a una temperatura ambiente.



Figura 24: (A) Torquímetro para estandarizar la presión de prensa y (B) Prensado de latas de *Dendrocalamus asper*

k. Dimensionamiento de los paneles encolados lateralmente

Se obtuvieron paneles encolados lateralmente con las siguientes dimensiones:

✓ **Sección cepa:**

- ❖ Ancho: 17 cm – 32 cm
- ❖ Largo: 1,10 m
- ❖ Espesor: 11 mm - 20 mm

✓ **Sección basa:**

- ❖ Ancho: 18 cm – 30 cm
- ❖ Largo: 1,10 m
- ❖ Espesor: 11 mm – 17,50 mm



Figura 25: Paneles encolados lateralmente con cuatro líneas de cola

l. Acondicionado de los paneles

Los paneles fueron codificados según la sección de procedencia y el gramaje empleado, se produjeron 60 paneles, 30 de cepa y 30 de basa con gramaje 160 g/m^2 y 200 g/m^2 y fueron

almacenados en el taller del Círculo de Investigación del Bambú (CIB) a temperatura ambiente.

m. Clasificación de los paneles

Los paneles fueron clasificados considerando principalmente algún defecto de descolado, siendo seleccionados 20 paneles de sección cepa (C1, C3, C4 - C6, C8 - C11, C13, C16 - C18, C20, C21, C24, C25, C27 - C29) y 20 paneles de sección basa (B1, B2, B4, B5 - B12, B14, B17 - B19, B22, B23, B25, B26, B30)

3.5.6. Preparación de las probetas

Previo a la obtención de probetas para el ensayo de cizallamiento de acuerdo la norma EN 13354 (AENOR, 2009), se dimensionaron los paneles a 1,10 m de largo para uniformizar los extremos y eliminar algunos defectos, esta distribución se muestra en las Figuras 25 y 26.

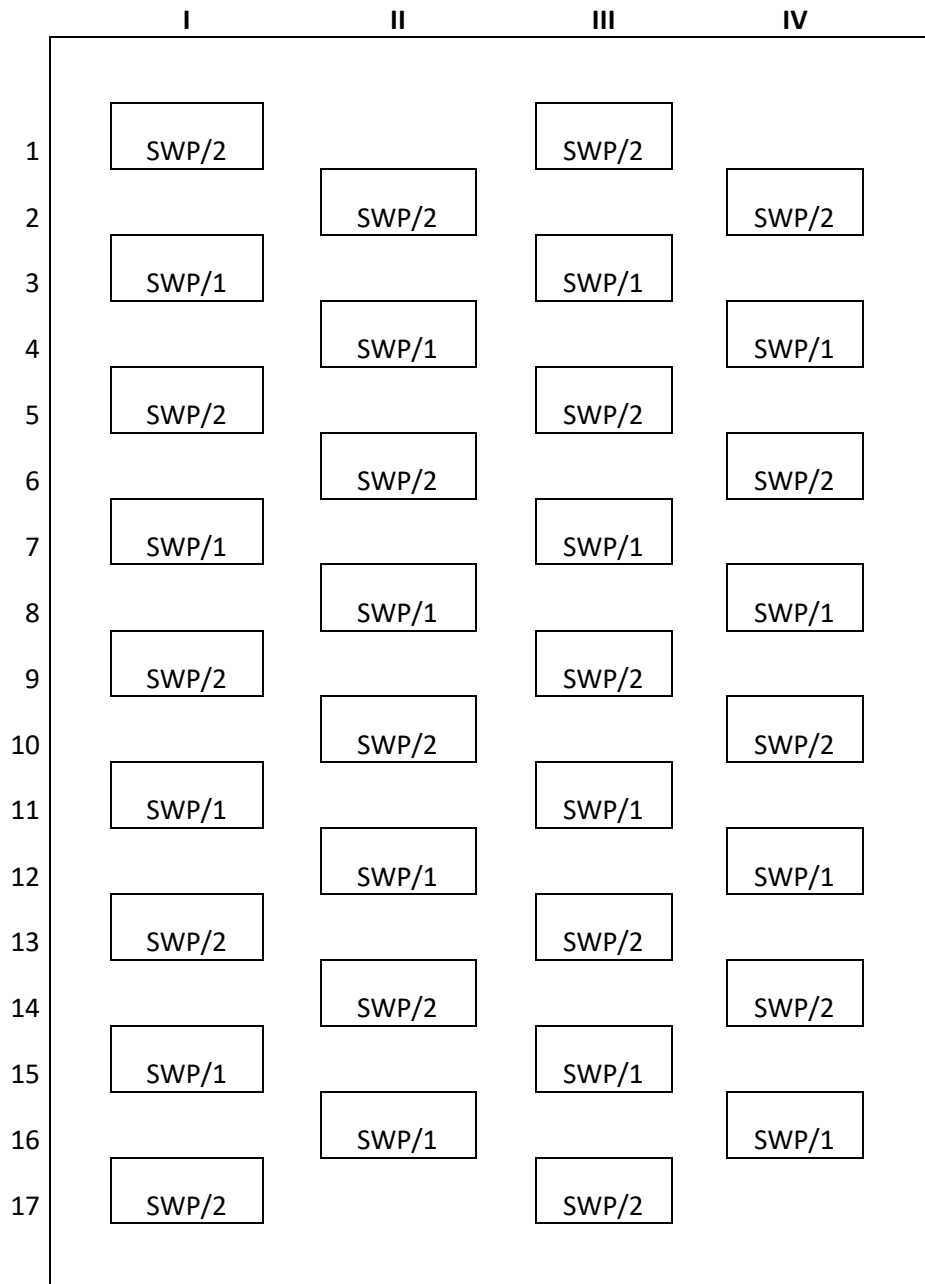
	I	II	III	IV
1	S		S	
2		S		S
3	H		H	
4		H		H
5	S		S	
6		S		S
7	H		H	
8		H		H
9	S		S	
10		S		S
11	H		H	
.		H		H
.	S		S	
.		S		S
.	H		H	
.		H		H
17	S		S	
18		S		S

S. SWP/2 uso en seco

H: SWP/1 uso en húmedo

I, II, III Y IV: Columna de uso de cola

Figura 26: Distribución de las probetas en los paneles de *Dendrocalamus asper*



IVS2B	IVH2C
IV: Fila de línea de cola S: SWP/2 uso en ambiente seco 2: Columna de posición de probeta B: Sección basa del culmo	IV: Línea de cola S: SWP/1 uso en ambiente húmedo 2: Posición de probeta C: Sección cepa del culmo

Figura 27: Distribución de probetas, de acuerdo con el uso del panel



Figura 28: Distribución y codificación de probetas en el panel para los ensayos de cizallamiento

La obtención de probetas se realizó en el taller del Círculo de Investigación del Bambú (CIB)



Figura 29: Obtención de probetas

En la Figura 29, se observa la codificación y obtención de probetas como lo indica la norma EN 13354 (AENOR, 2009). De cada tablero, se obtuvo 34 probetas de 40 mm x 50 mm y espesores variables.

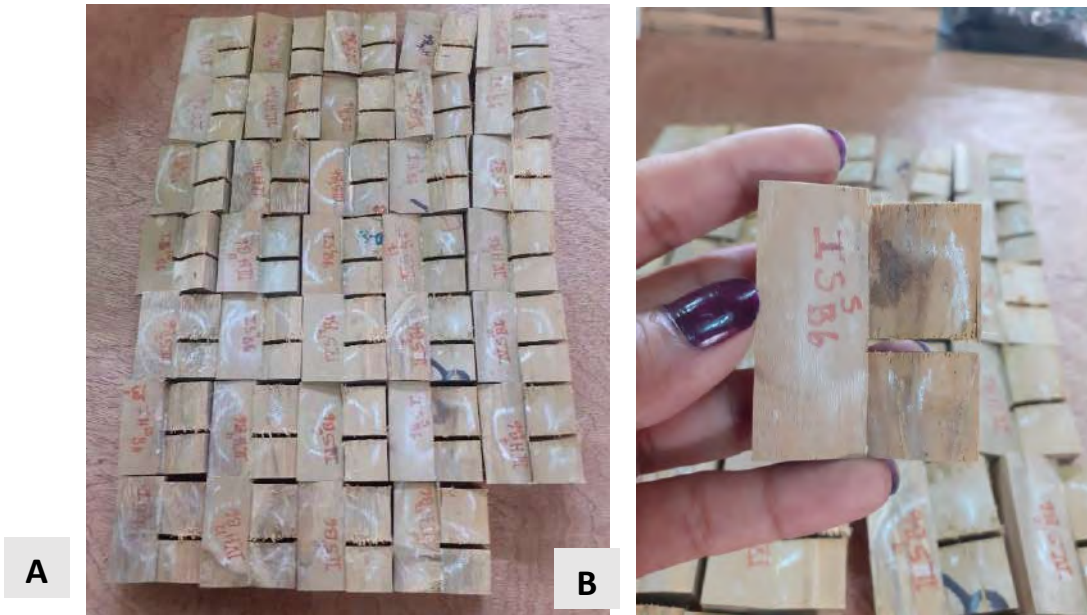


Figura 30: Probetas obtenidas del panel B6 (A), probeta de sección basa uso en seco (B)

3.5.7. Medición y selección de probetas para determinación de la resistencia al cizallamiento de la línea de cola

De la obtención de 34 probetas por cada panel de las secciones basa y cepa, para uso en seco y húmedo, no se consideraron las probetas que presentaban nudos, obteniendo solo 30 probetas por cada panel, 15 probetas para uso en húmedo y 15 probetas para uso en seco, a estas probetas se midió el largo y espesor para el cálculo de la determinación de la resistencia al cortante con el vernier.



Figura 31: Medición y selección de probetas para sus pretratamientos de acuerdo con su uso

3.5.8. Pretratamientos para el uso no estructural en ambiente seco (SWP/1NS)

Para el pre-tratamiento en ambiente seco (SWP/ 1 NS), las probetas fueron sumergidas en agua potable a temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas antes del ensayo, se usaron 2 desecadores de 240mm cada uno con sus respectivos platos de secado de porcelana, en cada desecador se colocó 45 probetas codificadas por sección, gramaje y tipo de uso, fueron presionadas con el plato de secado de porcelana, luego se incorporó el agua potable hasta cubrir todas las probetas.



Figura 32: Probetas con pre tratamiento en uso en seco sumergidas en agua fría

3.5.9. Pretratamientos para el uso no estructural en ambiente húmedo (SWP/2NS)

Para el pre-tratamiento en ambiente húmedo (SWP/ 2 NS) las probetas fueron sumergidas en agua hirviendo por 6 horas, enfriamiento durante 1 hora en agua potable a temperatura $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, de acuerdo con la norma UNE-E 13354 (AENOR, 2009).

Se colocaron 90 probetas codificadas por sección, gramaje y uso en la estufa de baño María, cumplida las 6 horas se retiró, se colocó en los desecadores y se agregó agua potable a temperatura ambiente para el enfriamiento durante una hora.



Figura 33: Probetas con pretratamiento uso en húmedo sumergidas en agua fría para enfriamiento

3.5.10. Ensayos de resistencia al cizallamiento de la línea de cola

El ensayo mecánico con carga constante para la sección basa y cepa con gramaje 160 g/m^2 y 200 g/m^2 para las probetas de cizallamiento se realizó en la máquina de ensayos Tinius Olsen, de acuerdo con la norma UNE-E 13354 (AENOR, 2009).



Figura 34: Uso de la prensa universal para la determinación de la resistencia al cizallamiento (A), lectura de resistencia al corte para el ensayo de cizallamiento (B)

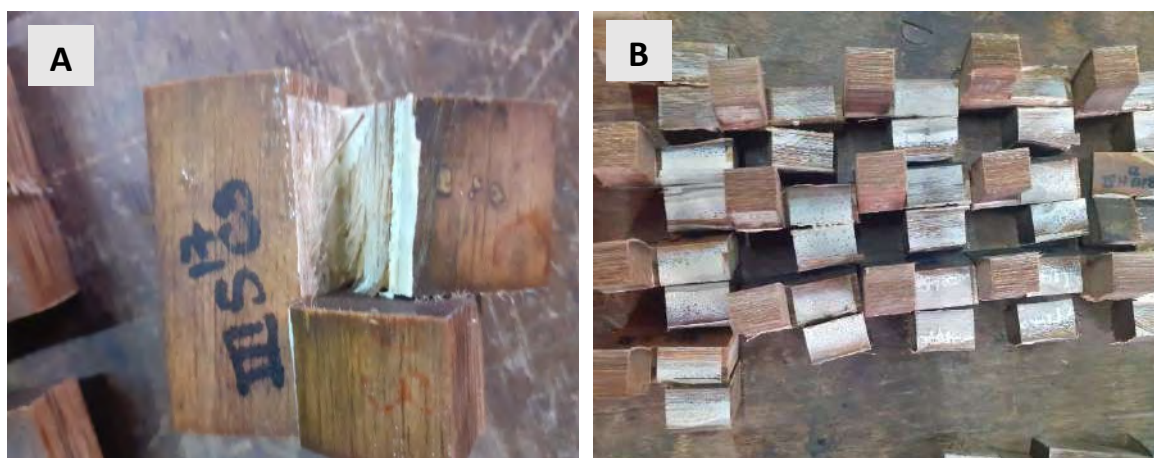


Figura 35: Probeta obtenida de sección cepa uso en seco (A), gramaje 160 g/m², probetas después del ensayo de resistencia al cizallamiento sección basa uso en húmedo, gramaje 200 g/m², (B)

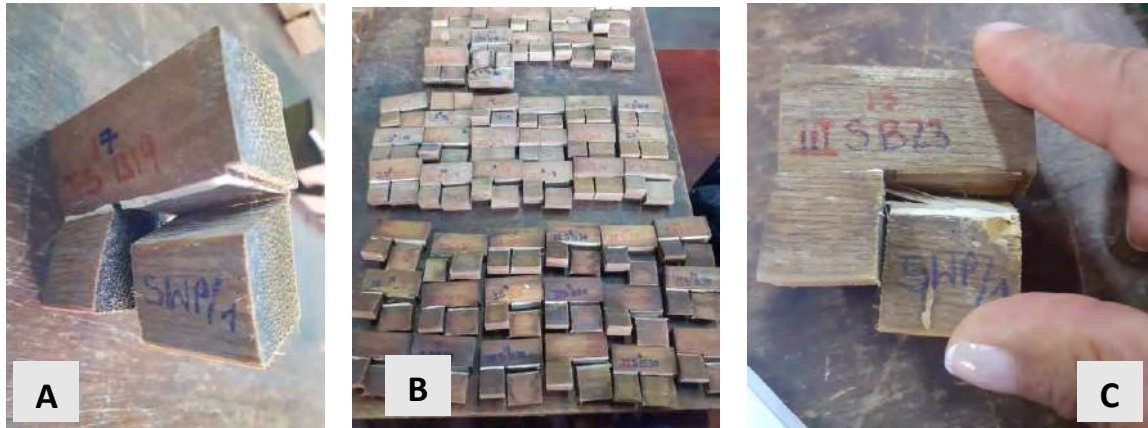


Figura 36: Probetas obtenidas de sección basa panel 19, uso en seco (A), probeta uso en seco panel 23 (B), probetas de diversos paneles después del ensayo de resistencia al cizallamiento (C)

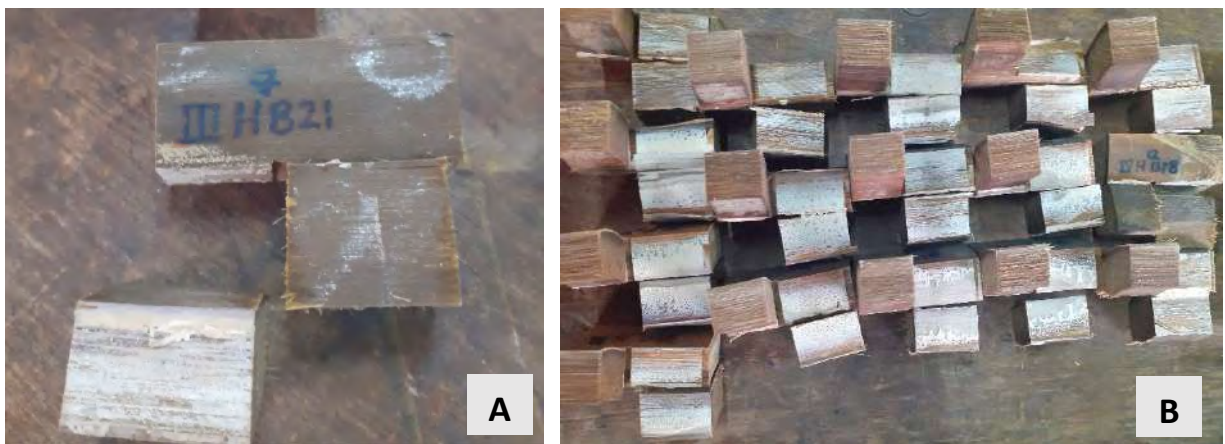


Figura 37: Probetas obtenidas de sección basa uso en húmedo (A), probetas del panel de sección basa uso en húmedo en el ensayo de resistencia al cizallamiento (B)

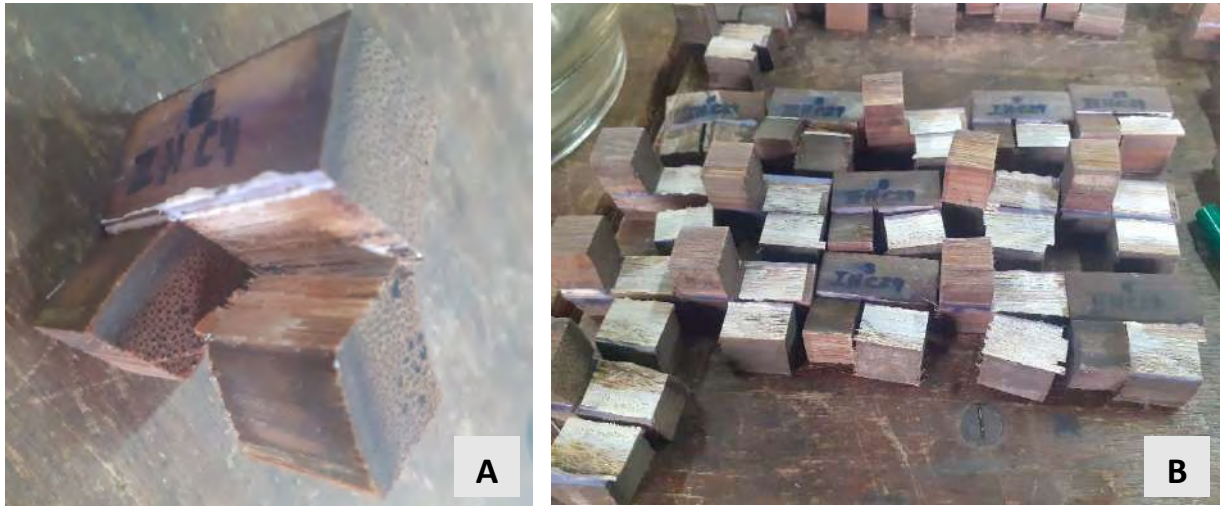


Figura 38: Probetas obtenidas de sección cepa uso en húmedo (A), probetas del panel de sección cepa uso en húmedo en el ensayo de resistencia al cizallamiento (B)

Los valores obtenidos se compararon con los requisitos indicados en la norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2011), de donde se determinó el 5° percentil inferior de la resistencia al cizallamiento de las probetas ensayadas con los procedimientos mencionados en la norma UNE- EN 326-1 (AENOR, 1995) y el porcentaje de fallas fueron determinadas en base a lo indicado en la norma UNE-EN 314-1 (AENOR, 2007) “Tableros Contrachapados-Calidad del Encolado- Parte 1: Método de ensayo.

3.6. Análisis estadístico

En el presente trabajo además de la estadística descriptiva se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$ con 30 repeticiones, los factores fueron dos secciones (basa y cepa), 2 gramajes (160 g/m^2 y 200 g/m^2) y dos ambientes de tratamiento (seco y húmedo) (Tabla 10).

Tabla 10: Tratamientos del ensayo de cizallamiento de paneles enlistonados lateralmente

Tratamiento	Sección	Adhesivo (g/m ²)	Ambiente
T1	Basa	160	seco
T2	Basa	160	húmedo
T3	Basa	200	seco
T4	Basa	200	húmedo
T5	Cepa	160	seco
T6	Cepa	160	húmedo
T7	Cepa	200	seco
T8	Cepa	200	húmedo

Para el análisis estadístico, se realizó el análisis de varianza correspondiente al diseño elegido (DCA factorial 2 x 2 x 2), adicionalmente se ejecutó un análisis de comparación de medias de Tuckey con el nivel de confianza de 99 % (alfa 0,01). Los supuestos del análisis de varianza por la cantidad de evaluaciones fueron los de Kolmogorov para el caso de normalidad y Levene (mediana) para comprobar la homogeneidad de varianzas (Tabla 11).

Tabla 11: ANVA de un arreglo 2A x 2B x 2C en un DCA de ocho tratamientos y treinta repeticiones

Fuente	G.L.	C.M.	F - value	P - value
Grosor de latilla (A)	(a - 1)	**	CMa/CMe	****
Cantidad de adhesivo (B)	(b- 1)	**	CMb/CMe	****
Ambiente (C)	(c - 1)	**	CMc/CMe	****
(A) x (B)	(a - 1) (b- 1)	**	CMab/CMe	****
(A) x (C)	(a - 1) (c- 1)	**	CMac/CMe	****
(B) x (C)	(b - 1) (c- 1)	**	CMbc/CMe	****
(A) x (B) x (C)	(a - 1) (b- 1) (c- 1)	**	CMabc/CMe	****
Error	(abc - 1) (r - 1)	**	CMe	****
Total	Abcr -1	**	CMa/CMe	****

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resistencia al cizallamiento

El análisis de varianza de la resistencia al cizallamiento de probetas (Tabla 12), indica que no se encontraron resultados significativos entre la interacción de dos factores, pero si se encontró en la interacción de los tres factores. Por otro lado, se encontró diferencias estadísticas a nivel individual de los tres factores en estudio.

Tabla 12: Análisis de varianza de la resistencia al cizallamiento de probetas de bambú *Dendrocalamus asper*

Fuente	S.C	C.M	Valor F	Valor P
Sección (A)	6.552	5.460	6.900	0.011*
Gramaje (B)	3.792	3.160	3.990	0.042*
Ambiente (C)	85.957	71.631	90.530	0.002*
(A) x (B)	2.574	2.145	2.710	0.104
(A) x (C)	2.344	1.953	2.470	0.121
(B) x (C)	0.522	0.435	0.550	0.461
(A) x (B) x (C)	5.472	4.560	5.760	0.019*
Error	68.363	0.791		
Total	175.577			

En la Tabla 13, se muestra la resistencia al cizallamiento de probetas obtenidas de basa y cepa del bambú *Dendrocalamus asper*, los resultados indican que las probetas provenientes de la sección cepa y basa son estadísticamente superiores en relación a la resistencia. Cabe mencionar que el percentil inferior del 5% de la resistencia a cortante, calculado en la Norma EN 326-1, no debe ser menor de 2.5 N/mm².

**Tabla 13: Resistencia al cizallamiento de probetas
obtenidas de dos secciones de *Dendrocalamus asper***

Tratamiento	Resistencia N/mm² *
Basa	3.64
Cepa	3.12

La resistencia de las probetas obtenidas de la sección Basa son superiores a la resistencia obtenida por las probetas de la sección Cepa, este resultados coinciden con lo reportado por diferentes autores (Hamdan, 2004; Thaipetch, 2004; Nordahlia *et al.* 2012; Damiani, 2013; Gutu, 2013; Trujillo y Archila, 2016; Adam y Jusoh, 2019; Guzmán, 2021) los cuales indican que la resistencia y la densidad incrementan a lo largo del culmo, es decir, la densidad tiene una relación directamente proporcional con la resistencia al cizallamiento, probablemente la mayor resistencia se deba a los componentes como lignina, y celulosa los cuales se encuentran en mayor concentración en las partes superiores del culmo, (Oka, 2005; Chen *et al.* 2015; Jiang *et al.* 2018; Tang *et al.* 2019; Wulandari *et al.* 2022). Esto se refuerza con lo expuesto por otros autores quienes indican una relación indirectamente proporcional entre el contenido de humedad con la densidad y la resistencia (Chung y Yu, 2004; Mahdavi *et al.* 2011; Razak *et al.* 2013).

Las latas de bambú presentan un adecuada compresión cuando posee un contenido de humedad en el rango de 5 % a 20 % en términos de compactación de vasos y parénquima; Si el contenido de humedad es elevado se impide una compresión efectiva porque se mantiene mucha humedad en los poros durante el proceso lo que puede generar paneles con un espesor no uniforme en todo su largo y ancho, caso contrario si la humedad de las latas es inferior al 5 % pueden ocurrir facturas de las paredes celulares, al estar casi seco, la ausencia de agua reduce mucho la flexibilidad conferida por la lignina, la ruptura ocurriría primero en la parte parenquimática, si la presión es mucha puede afectar los haces vasculares (Archila *et al.* 2014; Dixon *et al.* 2016, Kadivar *et al.* 2019; Tang *et al.* 2019).



Figura 39: Probeta de bambú cizallada

En relación con el cizallamiento de probetas tratadas en diferentes ambientes o medios, las probetas sometidas al tratamiento Seco mostraron los mayores valores de resistencia al cizallamiento (4.33 N/mm^2), caso contrario se observa en las probetas que fueron tratadas al Húmedo, mostrando una reducción drástica de la resistencia (2.43 N/mm^2) (Tabla 14).

Tabla 14: Resistencia al cizallamiento de probetas de *Dendrocalamus asper* tratadas en ambientes seco y húmedo

Tratamiento	Resistencia N/mm^2 *
Seco	4.33
Húmedo	2.43

La disminución de la resistencia en el caso de las probetas expuesta al tratamiento Húmedo se debe a que por 6 horas estas fueron sometidas a un baño maría, al estar expuestas al calor del agua hirviendo se sufrió un ablandamiento en los compuestos que confieren la dureza que la caracteriza. Debido a la propiedad viscoelástica que poseen los culmos del bambú por su contenido de lignina, hemicelulosa y celulosa, cuando las probetas sufren algún tratamiento en el cual se implique alguna fuente de calor, se observa una reducción de la resistencia al cizallamiento (Hidalgo, 2003; Lenth y Kamke, 2007; Sharma *et al.* 2015; Correal, 2020). El calor afecta a los compuestos de las paredes celulares de los haces vasculares y tejidos parenquimáticos poniéndolos más blandos pasando de un estado vítreo a uno gomoso (Wolcott *et al.* 2007). El ablandamiento de estos componentes se debe a una destrucción de enlaces

intermoleculares y/o desnaturalización de macromoléculas (Matan *et al.* 2007; Luna *et al.* 2013; Fang *et al.* 2012; Huang *et al.* 2016). Si bien las probetas luego de ser expuestas al calor fueron sumergidas en agua a temperatura ambiente, y luego secadas, el cambio que sufrió sus componentes no es reversible, por ello su resistencia es afectada.



Figura 40: Probeta de bambú con ruptura en la parte parenquimática

Por otro lado, la Tabla 15 muestra la resistencia al cizallamiento de las probetas de *Dendrocalamus asper* indicando que existe una ligera diferencia estadística cuando se emplean gramajes de 160 g/m² y 200 g/m² de adhesivos en la preparación de las probetas.

Tabla 15: Resistencia al cizallamiento de probetas de *Dendrocalamus asper* encoladas con dos gramajes de adhesivo

Tratamiento g/m ²	Resistencia N/mm ² *
160	3.58
200	3.18

Autores como Verma *et al.* (2014), Rusch *et al.* (2019) indicaron que obtuvieron una mayor resistencia cuando se emplean distintos tipos de adhesivos y sus gramajes, sin embargo, no encontraron diferencias estadísticas. La fuerza de unión del adhesivo o pegamento está

influenciada según la superficie de las latillas (exterior, interior o lateral) que se utilizaron en la preparación del panel.

Correal *et al.* (2010) indican que el culmo del bambú *D. asper* se caracteriza por tener la propiedad anisotrópica; esta propiedad se explica por la disposición y concentración de los haces vasculares y los tejidos parenquimáticos en las dimensiones del culmo. Debido a esta propiedad, la aplicación de los adhesivos en la preparación de paneles puede tener diferente eficiencia.

Si el adherente se incorpora en la superficie en donde la aplicación es paralela a los haces vasculares, el pegamento no tendrá una adecuada penetración, y su objetivo se verá obstaculizado (Verma *et al.* 2014). En caso la aplicación del adherente sea en la superficie donde sean visibles los haces vasculares la penetración de los pegamentos será más eficiente, influyendo positivamente en la fuerza de unión del pegamento (Li *et al.* 2008; Du *et al.* 2013; Chaowana *et al.* 2015).



Figura 41: Probeta de bambú con ruptura en la línea de cola

V. CONCLUSIONES

1. La mayor resistencia al cizallamiento de la línea de cola en las juntas encoladas lateralmente de la especie *Dendrocalamus asper* corresponden a la sección basa.
2. La mayor resistencia al cizallamiento de la línea de cola en las juntas encoladas lateralmente de la especie *Dendrocalamus asper* se obtuvo en los paneles que fueron encolados con el nivel de gramaje de 160 g/m².
3. La resistencia al cizallamiento de los paneles de *Dendrocalamus asper* encolados lateralmente, tratados para uso en un ambiente seco es mayor que en un ambiente húmedo.
4. La materia prima obtenida a partir de las secciones basa y cepa de la especie *Dendrocalamus asper*, demostraron factibilidad técnica para la fabricación de paneles encolados lateralmente.

VI. RECOMENDACIONES

- Diversificar el estudio de paneles elaborados con latas encoladas lateralmente de especies de *Dendrocalamus* (“Bambú”) provenientes de bosques naturales y plantaciones forestales no maderables, mediante el uso de variados tipos de adhesivos sintéticos (MF, FF, RF, MUF, UF) y naturales para poder darle un mayor valor agregado.
- Complementar los estudios de las propiedades mecánicas de los paneles de *D. asper* con el uso de variados tipos de adhesivos (MF, FF, RF, MUF, UF).
- Realizar estudios complementarios de propiedades mecánicas para uso estructural de los paneles obtenidos de *D. asper*.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Associação Brasileira da Industria de Madeira Processada Mecánicamente (ABIMCI). (2003).
Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades (Artigo Técnico N° 1).
<https://silo.tips/download/artigo-tecnico-n-1-brasil-e-suas-particularidades>.

Abrahão, CP, Varella, CAA, Pinto, FDADC y Khoury Junior, JK (2003). Medición del porcentaje de falla de la madera mediante un sistema de visión artificial. Revista *Árvore*, 27 (1), 71-78.

Adam, N. y Jusoh, I. (2019). Physical and Mechanical Properties of *Dendrocalamus asper* and *Bambusa vulgaris*. *Transactions on Science and Technology*. 6 (1): 95 - 101.

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2007, abril). Norma Internacional D 143-14: Métodos de prueba estándar para la pequeña Claro especímenes de la Madera. Requisitos.
<https://es.scribd.com/document/377014410/Astm-d143-Traduccion>

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2009, abril). Norma Internacional D 198-15. Los métodos de prueba estándar de pruebas estáticas de madera en tamaños estructurales. Requisitos.
<https://es.scribd.com/document/489750685/ASTM-D-198-EDITABLE>

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2011, junio). Norma Europea EN 13353:2009+A1:2011: Tableros de madera maciza (SWP). Requisitos. AENOR.
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0047614>

- Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera (AITIM). (1996). Nuevas tendencias en los adhesivos empleados en tableros (vol. 179). AITIM. https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2675_10097.pdf
- Alipon, M., García, C. and Bondad, E. (2018). Glue and preservative effects on the properties and durability of engineered bamboo boards. *Philippine Journal of Science*, 147(4), 601 – 616.
- Amada, S. y otros, 1996. The mechanical structures of bamboo in viewpoint of functionally gradient and composite materials. *Journal of Composite Materials*, 30(7), 800-819.
- Archila, H. F., Ansell, M., & Walker, P. (2014). Elastic Properties of Thermo-Hydrromechanically Modified Bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) Measured in Tension. *Engineering Materials*, 10.
- Armendáriz, C., Vinicio, F., Álvarez, T. y Aníbal, J. (2011). Cálculo y diseño estructural para la cubierta del mercado central de la parroquia de Pintag en base a tenso - estructuras con el uso de bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) [tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3175/1/T-ESPE-031072.pdf>
- Asif, M. (2009). Sustainability of timber, wood and bamboo in construction. In *Sustainability of construction materials*
- Blomquist, RF, Christiansen, AW, Gillespie, RH, Myers, GE. (1981). Adhesives bonding of wood and other structural materials. (Clark C. Heritage memorial series on wood, v.3).
- Bonfatti, E. (2010). Characterization of the anatomical, chemical and density of *Bambusa vulgaris* Schrad. ex JC Wendl. for the production of kraft pulp with different alkali charges. 67 pp.
- Brink, M., 2008. *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult.f.) Backer ex K. Heyne

- Calo, R. (2018). Caracterización física y mecánica de tres especies de bambú aptas para La construcción en Guatemala (Tesis de Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala
- Candelier, K. T. (2016). Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review. *Annals of Forest Science*, 571–583
- Carrasco, M. (2005). Estudio de las variables de preparación de la madera y resistencia de uniones adhesivas en paneles encolados de canto para planta FOREX CBB [tesis de maestría, Universidad de Bio Bio].
- Castaño F, Moreno R. Guadua para todos: Cultivo y aprovechamiento. Bogotá; 2004. 188 p.
- Cesaré, M.; Hilario, F.; Callupe, N.; Cruz, L.; Calle, J. y Gonzales, H. (2019). Caracterización química y física del bambú: Avances en ciencias e ingeniería. 10 (4), 1 - 13.
- Chaowana, P. (2015). Bamboo - A functionally graded composite material. *Forest Products Journal* 65(3): S48-S53
- Chaowana, P. (2013). Bamboo: an alternative raw material for wood and wood-based composites. *Journal of Materials Science Research*, 2 , 90 .
- Chapman, G.P. (1996). The biology of grasses. DOI:10.5860/choice.34-6262
- Chen, H., Cheng, H., Wang, G., Yu, Z., & Qiang Shi, S. (2015). Tensile properties of bamboo in different sizes. *Wood Science and Technology*, 552-561.
- Chung, K.F. and Yu, W.K., (2004). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering structures*, 24(4), 429-442.
- Conner, A. (2001). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Elsevier Science. <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2001/conne01a.pdf>

- Correal, D. J., & Arbeláez, J. (2010). Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas: Ciencias y Tecnología*, 105–113.
- Correal, J. & Arbeláez, J., 2010. Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 12(2), 105-113.
- Correal, F. (2020). Bamboo design and construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Material*
- Damiani, C. (2013). Caracterización anatómica de las especies *Bambusa vulgaris* y *Dendrocalamus asper* provenientes de Oxapampa – Perú [tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/823/T006902.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Darwin, Z. y Setiawan, I. (2016). The Effect of Length Variation of Pegs on the Flexural Strength of Laminated Bamboo Beam (*Dendrocalamus Asper*). *International Conference on Engineering and Science for Research and Development*. 1 (2): 199 - 203 pp.
- Dixon, K.E. Semple, A. Kutnar, F.A. Kamke, G.D. Smith, L.J. Gibson, Comparison of the flexural behavior of natural and thermo-hydrromechanically densified Moso bamboo, *Eur. J. Wood Wood Prod.* 74 (2016) 633–642
- Dransfield, S. Y Widjaja, S. (1995). *Plant resources of South-East Asia*. No. 7: Bamboos
- Du, C.G., Jin, C.D., Li, G.Y., 2013. Study on gluing properties and surface wettability of radial bamboo strips. *Adv. Mater. Res.* 671e674, 1774e1778

- Estrada Mejía, M., 2010. Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Fang, P. Blanchet, A. Cloutier, C. Barbuta. (2012). Engineered wood flooring with a densified surface layer for heavy-duty use. *BioResources*, 7 (4), 5843–5854.
- Fernández, A. (2022). Estudio del Bambú y su uso en la Construcción. Caracterización mecánica. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad de Granada.
- Figuroa, V; Sardiña, C; De la Sotta, P. (2009). Bambú en Chile. Posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo (en línea). 63 p. Universidad de Chile.
- Frihart, R. & Hunt, G. (2010). Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance. En Wood Handbook. Wood as an Engineering Material, Forest Products Laboratory (pp. 20-24). Madison, Estados Unidos, United States Department of Agriculture Forest Service
- Ghavami, K. (2004). El bambú como material estructural análisis de un caso práctico. Rio de Janeiro, Brasil.
- Gottron, J., Harries, K., Xu, Q., 2014. Creep behaviour of bamboo. *J. Const. Build. Mat.* 66, 79e88
- Greco, T. M. & Cromberg, M., 2011. Bambú Cultivo e Manejo. Primera ed. Florianópolis: Insular.
- Gutiérrez González, M. (2011). Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* Kunth. Departamento de ingeniería civil y agrícola, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.

- Gutu, T., (2013). A study on the mechanical strength properties of bamboo to enhance its diversification on its utilization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2(5), 314-319.
- Guzmán, J. (2021). *Variabilidad de las propiedades físicas de Dendrocalamus asper (Schultes f.) Backer en tres estadios de madurez, en Tingo María*, [tesis de ingeniería forestal, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. 76 pp.
- Hamdan, H. (2004). *Characterizing the mechanical properties and behavior of Gigantochloa scortechinii bamboo for structural application*, [doctoral thesis, University of Wales]. Institutional Repository UW.
- He, J., Tang, Y., Wang, S.Y., 2007. Differences in morphological characteristics of bamboo Fibers and other natural cellulose Fibers: studies on X-ray diffraction, solid State ^{13}C -CP/MAS NMR, and second derivative FTIR spectroscopy data. *Iranian Polymer Journal* 16 (12), 807.
- Henkel. (2004). Teoría de la adhesión. <https://www.henkel.com/>
- Hidalgo López, Ó., 2003. *Bamboo. The gift of the gods*. Primera ed. Bogotá: Hipertexto, S.A.S.
- Higuchi, T., 1987. Chemistry and biochemistry of bamboo. *Bamboo*, 1 (4), 132–145.
- Hof-landlust. (2019). Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo.
- Houwink, R. F. (1978). *Adherencia y adhesivos*. Barcelona. Bilbao S.A.
- Huang, P., Zeidler, A., Chang, W.-s., Ansell, M. P., Chew, Y. J., & Shea, A. (2016). Specific heat capacity measurement of *Phyllostachys edulis* (Moso bamboo) by differential scanning calorimetry. *Construction and Building Materials*, 125, 821-831.

- Ishii, T., 1997. Structure and functions of feruloylated polysaccharides. *Plant Science* 127 (2), 111–127
- Itoh, T., 1990. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) during its growth. *Holzforchung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood* 44 (3), 191–200
- Ikawari, S. (2005). Painéis de madeira reconstituída. Curitiba. Fundação de pesquisas florestais do Paraná
- Janssen, J., 2000. Designing and Building with Bamboo: INBAR Technical Report 20. Primera ed. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan.
- Jaramillo Benavides, A. S., 2019. Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no sul do Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Jiang, T. Li, Y. Li, Y. Zhang, A. Gong, J. Dai, E. Hitz, W. Luo, L. Hu, Wood-based nanotechnologies toward sustainability, *Adv. Mater.* 30 (2018) 1–39
- Kadivar, M.; Gauss, C.; Marmol, G.; Sá, A.; Fioroni, C.; Ghavami, K. y Savastano, H. (2019). The influence of the initial moisture content on densification process of *D. asper* bamboo: Physical-chemical and bending characterization. *Construction and Building Materials*. 229 (1): 1 - 12 pp.
- Klock, U. (2000). Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* [tesis de doctorado, Universidad Federal De Paraná]. Repositorio institucional UFPR. <http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/UMBERTO%20KLOCK%20TESE%204%2008.pdf>

- Kollman, P., McKelvey, J., Johansson, A., Rothenberg, S. (1975). Estudios teóricos de dímeros con enlaces de hidrógeno. *Journal of the American Chemical Society*, 97 (5), 955-965. <https://pubs.acs.org/doi/bs/10.1021/ja00838a001>
- Latif, A., & Razak, A. (1991). Availability, distribution of bamboo and its industrial status in Peninsular Malaysia. 27-30, Paper presentado en la Bamboo in Asia and the Pacific. Proceedings of the Fourth International Bamboo Workshop.
- Lenth, F.A. (2007). Moisture dependent softening behavior of wood. *Wood Fiber Sci.*, 33 (3) 492–507.
- Li, M.F., Fan, Y.M., Xu, F., Sun, R.C., 2010. Characterization of extracted lignin of bamboo (*Neosinocalamus affinis*) pretreated with sodium hydroxide/urea solution at low temperature. *BioResources* 5 (3), 1762–1778.
- Li, A.P., Xie, B.X., Zhong, Q.P., Tao, J.K., 2008. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from bamboo shoots [J]. *Science and Technology of Food Industry* 3, 031.
- Liese, W. (1998): The anatomy of bamboo culms. INBAR Techn. Rep. No 18, Beijing, China. 208 pp.
- Liese, W., & Kumar, S. (2003): Bamboo preservation compendium. INBAR - CIBART, ABS-Technical Report No 22, New Delhi, India. 231 pp.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H., Wu, J. 2007. World bamboo.
- Londoño, X. 2012. Una visión integradora del recurso guadua. En: I Seminario Internacional de Innovación en Materiales e Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.
- Londoño, X. 2004. Bambúes exóticos en Colombia. Impresos Richard. Cali, Colombia

- Luna, P., J. Lozano y C. Takeuchi. “Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*”, *Maderas. Ciencia y tecnología* 16(1): 77-92
- Lybeer, B., Koch, G., 2005. A topochemical and semiquantitative study of the lignification during ageing of bamboo culms (*Phyllostachys viridiglaucescens*). *Iawa Journal*, 26 (1), 99–110.
- Madrid, M. (2005). Tecnología de la adhesión. https://www.academia.edu/35558167/TECNOLOG%8DA_DE_LA_ADHESI%93N
- Mahdavi, M.; Clouston, P.L.; Arwade, S.R. (2011). Development of Laminated Bamboo Lumber: Review of Processing, Performance, and Economical Considerations. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1036 - 1042
- Mansur, A. (2000). Analysis of Calcutta bamboo for structural composites material. PhD Thesis. Virginia Polytechnic University
- Marra, A. A. (1992). Technology of Wood bonding. Publisher Van Nostrand Reinhold.
- Matan, B. Kyokong, W. (2007). Preechatiwong, Softening behavior of sweet black bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer) at various initial moisture contents, *Walailak J. Sci. Technol.*, 4, 225–236.
- Meléndez, C.A.; Bustamante, G.N. (2003). Evaluación de rugosidad superficial en madera cepillada y lijada de 06 especies forestales. UNALM.
- Mendez, L. y Solis, K. (2019). Determinación de las propiedades físico-mecánicas del *Dendrocalamus asper* y propuestas de viviendas no-convencionales para el grupo de fuerzas especiales n° 26 “Cenepa” y la empresa 3a composites de la ciudad de Quevedo - Ecuador. 506 pp.

- Montiel, M., Sánchez, E. (2006). Ultraestructura de bambúes del género *Dendrocalamus* cultivados en Costa Rica: clones Taiwán y Tailandia. *Revista Biológica Tropical*, 54(2).
- Normas Brasileñas. (2013, diciembre, 01). NBR ISO 12466-2: 2006: Madera Contrachapada - Calidad de Adhesión - Parte 2: Requisitos. https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/nbriso-12466-2-2006-779369_saig_nbr_nbr_1875677/
- Nordahlia, A.S., Anwar, U.M.K., Hamdan, H., Zaidon, A., Paridah, M.T. and Razak, O.A., (2012). Effects of age and height on selected properties of Malaysian bamboo (*Gigantochloa levis*). *Journal of Tropical Forest Science*. 102-109.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2008). Designation: D 907-08. Standard Terminology of Adhesives
- Oka, G.M. 2005. Analysis of Laminated Adhesives in Making Laminated Bamboo Petung. *Smartek Journal*, 3(2), 93 - 100.
- Ortiz, K. 2017. *Caracterización y clave de identificación de los bambúes en la región Nor – Oriental (San Martín, Amazonas y Cajamarca)*, [tesis de Ing. Forestal, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2987>
- Pakhkeree, T. (1997). *Physical and mechanical properties of Dendrocalamus asper Becker*, [MSc thesis, Kasetsart University]. Institutional Repository KU.
- Parra, O. (2019). *Evaluación de la calidad de adhesión en la madera laminada encolada (MLE) de tres especies forestales para la fabricación de vigas de madera* [tesis para ingeniero forestal, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3898>

- Peng, H., Wang, N., Hu, Z., Yu, Z., Liu, Y., Zhang, J., Ruan, R., 2012. Physicochemical characterization of hemicelluloses from bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) stem. *Industrial Crops and Products* 37 (1), 41–50
- Peng, P., She, D., 2014. Isolation, structural characterization, and potential applications of hemicelluloses from bamboo: a review. *Carbohydrate Polymers* 112, 701–720.
- Pereira, M., Beraldo A. 2007. *Bambu de corpo e alma*. Rio de Janeiro. BR. 240 p.
- Prata, J. (2010). Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus tropicais* para produção de painéis colados lateralmente (EDGE GLUED PANELS – EGP) [pos-graduação em engenharia florestal, Universidade do Paraná]. Repositório Institucional UFPR.
<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24704/TESE%20VERSAO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prates, E. M. B. (2013). Morfologia externa e anatomia do colmo de *Dendrocalamus asper* (Poaceae: Bambusoideae) em duas localidades no Distrito Federal, Brasil.
- Ray, A.K., Das, S.K., Mondal, S., Ramachandrarao, P. (2004). Microstructural characterization of bamboo. *Journal of Materials Science*, 39 (3), 1055–1060.
- Razak, W., Othman, S., Tarmizi, M. M., Norashikin, M. S., Izyan, K., (2013). *Bamboo*. Kota Bharu: Universiti Malaysia Kelantan.
- Reátegui, R., Pecho, R., Lluncor, D., & Vergara, J. (2013). Evaluación de las propiedades físicas del *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer (Bambú) del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. *Rev. Forestal de Ucayali*, 1(8), 182-196.

- Reátegui, N. (2009). Caracterización y Clave de Identificación de Bambúes en el ámbito Chanchamayo, Departamento de Junín, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina – Perú.
- Rodríguez Hernández, R. (2017). El Bambú como refuerzo en materiales compuestos para la construcción. (Maestría), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil.
- Rusch, F.; Tresivan, R.; Hilling, E. y Chagas, E. (2019). Physical-mechanical properties of laminated bamboo panels. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49(1), 1 - 8.
- Sharma, B., Gato, A., Bock, M., Mulligan, H. and Ramage, M., (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66-73.
- Soler, P. (2007). Uso del bambú en la arquitectura contemporánea [trabajo final para optar el grado de licenciada en arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional UPV.
- Srivar, S; Jakranod, W. (2016). Comparison of physical and mechanical properties of *Dendrocalamus asper* Backer specimens with and without nodes. *Springer*, 1-7.
- Sulastiningsih, I.M., Nurwati. (2009). Physical and mechanical properties of laminated bamboo board. *Journal of Tropical Forest Science*, 21(3), 246 - 251.
- Surjokusumo, S., Nugroho, N. (1995). A study on *Dendrocalamus asper* as concrete reinforcement. Proceedings of the 5th International Bamboo Workshop and the IV International Bamboo Congress. Indonesia, 14 (1), 92-98. ISSN:1693-3095
- Suzuki, K., Itoh, T., 2001. The changes in cell wall architecture during lignification of bamboo, *Phyllostachys aurea* Carr. *Trees-Structure and Function*, 15 (3), 137–147

- Tang, X., Chen, B., Zhang, X., Liu, B., Fei. (2019). In: Research on the PhysicoMechanical Properties of Moso Bamboo with Thermal Treatment in Tung Oil and Its Influencing Factors.
- Thaipetch, S., (2004). Physical and Mechanical Properties of Five Bamboo Species in Thailand, In: Final Technical Report, Project: PD 56/99 Rev. 1(1) Promotion of the Utilization of Bamboo from sustainable Sources in Thailand, Royal Forest Department and International Tropical Timber Organization. 41-45.
- Trópicos. (2020). *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne. <http://legacy.tropicos.org/name/25527018>
- Trujillo, David and Hector Archila. (2016) Engineered bamboo and bamboo engineering. Exova BM TRADA.
- Trujillo, D. y Lopez, L. (2019). Bamboo material characterization. In. Nonconventional and Vernacular Construction Material
- Tuset, R. y Duran, F. (2008). Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización (2^a ed.). Editorial Hemisferio Sur.
- Valdovino, M. (2005). Diseño, fabricación y ensayo de una losa de madera laminada verticalmente unida con cola fría [tesis de ingeniería civil, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfciv147d/doc/bmfciv147d.pdf>
- Van Dam, J.; Wolter, H. y Daza, C. (2018). Bamboo Production for Industrial Utilization. Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts 1 - 42 pp.
- Verma, C. S. (2014). Comparative study of mechanical properties of bamboo laminae and their laminates with woods and wood-based composites. *Composites: Part B*, 60 (1), 523-530.

- Vick, C.B. (1999). Adhesive Bonding of Wood Materials. In: Wood handbook– Wood as an engineering material. Chap. 9: 1–24. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI US Department of Agriculture, Forest Service, For. Prod. Lab. https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- Vignote, S., Martínez, I. (2006). Tecnología de la Madera. (3. a ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Widjaja, E.A. (1995). *Dendrocalamus asper* (Schult f.) Backer ex Heyne. In: Dransfield, S. y E.A Widjaja (eds.). Plant Resources of South-East Asia N° 7. Bamboos.
- Wolcott, F. Kamke, D. Dillard, Fundamentals of flakeboard manufacture: viscoelastic behavior of the wood component, *Wood Fiber Sci.* 22 (4) (2007) 345–361.
- Wulandari, F.; Raehanayati, H. y Vera, R. (2022). The Effect of Strip Arrangement on Physical and Mechanical Properties of Petung Bamboo Laminated Board (*Dendrocalamus asper* Backer). *Wood Research Journal*, 13 (1), 7 - 11.
- Youssefian, S., Rahbar, N., (2015). Molecular origin of strength and stiffness in bamboo fibrils. *Scientific Reports*, 5, 11116.
- Zaragoza, I., Ordóñez, V. R., Bárcenas, G. M., Borja, A.M., Zamudio, F. J. (2015). Propiedades físico-mecánicas de una guadua mexicana (*Guadua aculeata*). *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(3), 505-516. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000045>
- Zou, L., Jin, H., Lu, W.Y., Li, X. (2009). Nanoscale structural and mechanical characterization of the cell wall of bamboo fibers. *Materials Science and Engineering: C*, 29 (4), 1375–1379.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Data recolectada

Sección	Ambiente	Gramaje	Resistencia	Df	% Humedad
cepa	seco	160	6.1	0.71	13.76
cepa	seco	160	4.2	0.46	16.68
cepa	seco	160	4.6	0.69	14.02
cepa	seco	160	3.4	0.67	14.99
cepa	seco	160	3.7	0.58	16.22
cepa	seco	160	3.5	0.69	13.19
cepa	seco	160	2.9	0.62	14.36
cepa	seco	160	2.8	0.64	14.82
cepa	seco	160	6.2	0.71	13.33
cepa	seco	160	5.3	0.62	13.82
cepa	seco	200	4.7	0.66	14.00
cepa	seco	200	3.9	0.57	14.77
cepa	seco	200	3.8	0.61	14.49
cepa	seco	200	5.3	0.74	12.43
cepa	seco	200	3.9	0.54	14.45
cepa	seco	200	3.4	0.50	15.12
cepa	seco	200	4.4	0.59	14.49
cepa	seco	200	4.5	0.65	15.07
cepa	seco	200	4.1	0.48	15.83
cepa	seco	200	3.7	0.60	15.83
cepa	húmedo	160	4.7	0.70	14.98
cepa	húmedo	160	3.4	0.48	14.99
cepa	húmedo	160	4.3	0.74	13.60
cepa	húmedo	160	2.5	0.69	13.82
cepa	húmedo	160	3.3	0.62	14.68
cepa	húmedo	160	1.3	0.67	15.87
cepa	húmedo	160	1.8	0.61	15.10
cepa	húmedo	160	1.0	0.64	14.28
cepa	húmedo	160	3.3	0.73	16.89
cepa	húmedo	160	1.3	0.64	14.33
cepa	húmedo	200	1.1	0.64	20.30
cepa	húmedo	200	1.2	0.55	25.89

cepa	húmedo	200	1.2	0.49	20.90
cepa	húmedo	200	1.5	0.83	11.74
cepa	húmedo	200	1.4	0.51	15.52
cepa	húmedo	200	1.8	0.52	14.97
cepa	húmedo	200	1.0	0.65	16.88
cepa	húmedo	200	1.4	0.67	17.21
cepa	húmedo	200	1.4	0.51	14.80
cepa	húmedo	200	1.4	0.58	18.02
basa	seco	160	5.4	0.66	15.86
basa	seco	160	4.8	0.65	15.10
basa	seco	160	6.2	0.73	15.14
basa	seco	160	4.3	0.65	15.01
basa	seco	160	4.3	0.63	15.78
basa	seco	160	3.1	0.59	15.58
basa	seco	160	3.5	0.64	15.77
basa	seco	160	5.2	0.79	6.46
basa	seco	160	4.2	0.64	16.25
basa	seco	160	5.3	0.68	14.99
basa	seco	200	4.7	0.50	16.36
basa	seco	200	4.6	0.64	15.40
basa	seco	200	3.6	0.75	13.84
basa	seco	200	5.3	0.70	14.78
basa	seco	200	3.8	0.71	14.33
basa	seco	200	4.3	0.63	15.69
basa	seco	200	3.4	0.68	15.09
basa	seco	200	4.1	0.70	13.53
basa	seco	200	3.3	0.58	16.26
basa	seco	200	5.2	0.73	14.45
basa	húmedo	160	3.8	0.58	15.64
basa	húmedo	160	2.9	0.70	15.44
basa	húmedo	160	3	0.68	14.20
basa	húmedo	160	2.3	0.66	16.87
basa	húmedo	160	2.4	0.69	14.31
basa	húmedo	160	1.8	0.65	16.88
basa	húmedo	160	1.9	0.67	16.61
basa	húmedo	160	2.7	0.73	14.55
basa	húmedo	160	3.3	0.59	16.24
basa	húmedo	160	3.1	0.70	14.99
basa	húmedo	200	2.9	0.75	17.01
basa	húmedo	200	3.4	0.64	14.68
basa	húmedo	200	2.5	0.69	14.96
basa	húmedo	200	4.8	0.68	14.99
basa	húmedo	200	3.8	0.69	14.59
basa	húmedo	200	2	0.63	16.85
basa	húmedo	200	1.1	0.62	18.27
basa	húmedo	200	2.3	0.63	16.55

basa	húmedo	200	1.9	0.55	17.87
basa	húmedo	200	3.9	0.85	6.01

Anexo 2: Fotos generales



