

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“USO DE RESIDUOS DE MADERA DE *Eucalyptus grandis* Hill ex
Maiden PROVENIENTE DE PLANTACIONES EN LA
ELABORACIÓN DE JUNTAS ENCOLADAS”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

LIZZETH YOMAIRA RAMOS MENDOZA

LIMA – PERÚ

2024

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

Lizzel'h Yomaira RAMOS MENDOZA

TESIS Lizzel'h Ramos

INFORME TURNITIN TESIS LIZZETH RAMOS

Tesis Lizzeth Ramos

Universidad Agraria la Molina

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3013999373

Fecha de entrega

19 sep 2024, 6:04 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 sep 2024, 10:41 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_Lizzeth_Ramos.doc

x

Tamaño de archivo

10.7 MB

83 Páginas

19,112 Palabras

101,609 Caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

Bibliografía Texto

citado

Texto mencionado

Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

Fuentes de Internet



Publicaciones



Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales



Fuentes de Internet



Publicaciones

Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“USO DE RESIDUOS DE MADERA DE *Eucalyptus grandis* Hill ex
Maiden PROVENIENTE DE PLANTACIONES EN LA
ELABORACIÓN DE JUNTAS ENCOLADAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

LIZZETH YOMAIRA RAMOS MENDOZA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Milciades Leónidas Miguel Castro, Ph.D
Presidente

.....
Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.
Miembro

.....
Ing. Martin Araujo Flores
Miembro

.....
Ing. Julio Cesar Canchucaja Rojas, Dr.
Asesor

.....
Ing. Francisco García Fernández, Ph.D
Co asesor

DEDICATORIA

A mi amada familia.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas, quienes fueron de gran apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

A mi asesor, Dr. Julio Canchucaja Rojas, por su paciencia, orientación y ánimos brindados, tanto durante el desarrollo de la tesis como en el ámbito académico y profesional.

A mi co-asesor, Dr. Francisco García Fernández, por sus aportes a este estudio.

A los profesores, Manuel Chavesta Custodio, Rolando Montenegro Muro, Enrique Gonzales Mora y Deysi Guzmán Loayza, por la orientación académica dada y por facilitar el acceso a los laboratorios de la facultad para la realización de los ensayos.

A los técnicos de laboratorio, Sr. Jaime Borja, Sr. Vicente Cuba y Sr. David Huamán, por su apoyo y acompañamiento durante en la ejecución de los ensayos de laboratorio.

A la empresa Postes Wise S.A.C., en especial al Ing. Willy Sedano Tamagno, gerente de la empresa, por la comprensión y las facilidades brindadas, así como a mis compañeros de trabajo por extenderme la mano cuando fue necesario.

A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria La Molina, por la formación académica recibida y la subvención económica otorgada, la cual permitió la ejecución de esta investigación.

A mis queridas Sara y Fanny, por su apoyo académico, profesional y emocional.

A mi familia y amigos, por su soporte y amor incondicional.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo principal.....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Especie en estudio	5
2.2. Plantaciones forestales en el Perú.....	6
2.3. Residuos de la transformación de la madera	7
2.4. Tableros encolados lateralmente.....	8
2.5. Factores que afectan el encolado de la madera.....	9
2.5.1. Propiedades de la madera	9
2.5.2. Propiedades de los adhesivos	12
2.6. Adhesivos utilizados en la producción de tableros EGP	14
2.6.1. Acetato de polivinilo – PVA.....	14
2.6.2. Emulsión polimérica de isocianato - EPI	16
2.7. Factores que influyen en el proceso de prensado	16
2.8. Ensayos realizados sobre encolado lateral de tableros EGP.....	17
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1. Materiales	20
3.2. Identificación y selección de los residuos	20
3.3. Preparación de los residuos	21
3.4. Descripción anatómica de los residuos.....	22
3.5. Evaluación de las propiedades físicas de los residuos.....	23

3.6. Evaluación de las propiedades químicas de los residuos	25
3.7. Determinación de las propiedades de los adhesivos.....	26
3.8. Fabricación de juntas encoladas	27
3.9. Preparación de las probetas para ensayos de cizallamiento	28
3.10. Ensayos de cizallamiento en la línea de cola.....	29
3.11. Análisis estadístico	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Descripción anatómica de los residuos.....	32
4.2. Propiedades físicas de los residuos de madera	35
4.2.1. Contenido de humedad	36
4.2.2. Densidad	36
4.2.3. Variación dimensional	37
4.3. Propiedades químicas de los residuos	39
4.4. Propiedades de los adhesivos	40
4.5. Resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas	42
4.5.1. Con pretratamiento para uso en ambiente seco	48
4.5.2. Con pre tratamiento para uso en ambiente húmedo	54
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Clasificación de adhesivos termoplásticos para madera para usos no estructurales	15
Tabla 2: Parámetros del proceso de prensado.....	27
Tabla 3: Pretratamientos según el uso previsto en ambiente seco y ambiente húmedo	29
Tabla 4: Diseño experimental.....	30
Tabla 5: Resultados de contenido de humedad, densidad básica y aparente de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.....	36
Tabla 6: Resultados de contracción máxima y coeficiente de anisotropía de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	37
Tabla 7: Valores promedio de las propiedades químicas de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	39
Tabla 8: Valores promedio de las propiedades químicas de los adhesivos utilizados	40
Tabla 9: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	43
Tabla 10: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden con pretratamiento para uso en ambiente seco agrupados por adhesivo	48
Tabla 11: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden, con pretratamiento para uso en ambiente seco, por gramaje.....	49
Tabla 12: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia al cizallamiento (RC) y la densidad básica (DB), de las probetas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente seco	51

Tabla 13: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia al cizallamiento (RC) y el contenido de humedad (CH), de las probetas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente seco.....	52
Tabla 14: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de <i>Eucalyptus grandis Hill</i> ex Maiden con pretratamiento para uso en ambiente húmedo y por adhesivo.....	55
Tabla 15: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de <i>Eucalyptus grandis Hill</i> ex Maiden con pretratamiento para uso en ambiente húmedo y por gramaje.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Residuos de madera generados en la empresa Postes Wise S.A.C.	20
Figura 2: Identificación y selección de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	21
Figura 3: Proceso de preparación de listones de 20mm x 50mm x 300mm a partir de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.....	22
Figura 4: Sección transversal de residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden con aumento 10x.....	23
Figura 5: Determinación de la frecuencia de poros de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden en el programa LAS EZ v. 3.4.	23
Figura 6: Determinación de las propiedades físicas de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	24
Figura 7: Contenido de cenizas obtenido de muestras de aserrín de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	25
Figura 8: Solución agua destilada-aserrín para la determinación del pH de <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i> Hill ex Maiden	25
Figura 9: Determinación de la viscosidad de un adhesivo	26
Figura 10: Proceso de encolado y prensado de juntas laterales	28
Figura 11: Probeta para ensayo de resistencia al cizallamiento de la línea de cola de tableros de madera maciza monocapa	28
Figura 12: Vista tangencial (A) y vista radial (B) de los residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	33
Figura 13: Vista microscópica de la sección transversal de la madera de <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i> Hill ex Maiden (aumento 100x)	34

Figura 14: Diagrama de cajas (NC 95%) de la resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas de residuos de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	45
Figura 15: Gráfico de correlación (NC 95%) entre la resistencia al cizallamiento y la densidad básica	52
Figura 16: Gráfico de correlación (NC 95%) entre la resistencia al cizallamiento y el contenido de humedad	53

RESUMEN

Las plantaciones forestales instaladas y mantenidas adecuadamente, traen diversos beneficios económicos y ambientales, siendo reconocidas como una gran oportunidad de negocio y desarrollo sostenido por los sectores público y privado. Dentro de las principales especies usadas en plantaciones se encuentra el *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, cuya madera es mayormente usada como leña, uso poco rentable y de impacto ambiental negativo, siendo una mejor alternativa de uso la fabricación de productos de mayor valor agregado, tales como los tableros EGP. Estos tableros se componen de piezas de madera delgadas y cortas unidas mediante encolado lateral, permitiendo la recuperación de madera mediante el saneamiento de los residuos generando mayor rentabilidad. En esta investigación se evaluó la calidad de las juntas encoladas elaboradas con residuos de la transformación secundaria del *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden proveniente de plantaciones, utilizando tres adhesivos (PVA D3, PVA D4 y EPI) y tres gramajes (120, 150 y 180 g/m²). Los residuos de madera fueron caracterizados anatómica, física y químicamente. Para los adhesivos se determinó la viscosidad, el contenido de sólidos y pH. Las juntas fueron prensadas en frío con presión específica de 0,8 MPa durante 5 minutos con adhesivo PVA D3 y una hora con PVA D4 y EPI. Los pre tratamientos aplicados a las probetas y los ensayos de resistencia al cizallamiento, fueron realizados según lo indicado en la norma UNE-EN 13354 (2009). Los resultados obtenidos fueron comparados con los requisitos mínimos establecidos en la norma UNE-EN 13353 (2023) para tableros de madera maciza monocapa; concluyendo que el uso de residuos de madera de *E. grandis* es viable para la fabricación de tableros EGP para uso en ambiente seco, aplicando el adhesivo EPI, con los tres gramajes estudiados y para uso en ambiente húmedo, aplicando el adhesivo EPI con gramajes 150 g/m² y 180 g/m².

Palabras claves: Tableros EGP, resistencia al cizallamiento.

ABSTRACT

Forest plantations, properly installed and maintained, bring various economic and environmental benefits, being recognized as a great business opportunity and sustained development by the public and private sectors. Among the main species used in plantations is *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, whose wood is mostly used as firewood, an unprofitable use with a negative environmental impact, a better alternative use being the manufacture of products with greater added value, such as like EGP boards. These boards are made up of thin and short pieces of wood joined by lateral gluing, allowing the recovery of wood by cleaning up the waste, generating greater profitability. In this research, the quality of glued joints made with waste from the secondary transformation of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden from plantations was evaluated, using three adhesives (PVA D3, PVA D4 and EPI) and three weights (120, 150 and 180 g/m²). The wood waste was characterized anatomically, physically and chemically, while for the adhesives the viscosity, solids content and pH were determined. The joints were cold pressed with a specific pressure of 0.8 MPa for 5 minutes with PVA D3 adhesive and one hour with PVA D4 and EPI. The pre-treatments applied to the specimens and the shear resistance tests were carried out as indicated in the UNE-EN 13354 (2009) standard. The results obtained were compared with the minimum requirements established in the UNE-EN 13353 (2023) standard for single-layer solid wood boards; concluding that the use of *E. grandis* wood waste is viable for the manufacture of EGP boards for use in a dry environment, applying the EPI adhesive, with the three weights studied and for use in a humid environment, applying the EPI adhesive with weights 150 g/m² and 180 g/m².

Keywords: Edge glued panels, shear strength.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se estima que las plantaciones forestales comerciales proveen más de un tercio de la madera rolliza destinada al uso industrial (Guariguata *et al.*, 2017). Sin embargo, en Perú se sigue ejerciendo presión sobre los bosques naturales como principal fuente de madera para la industria, en donde la alta selectividad de especies, las condiciones adversas para la extracción y la calidad poco homogénea de la madera traen como consecuencia una baja participación peruana dentro del mercado mundial de productos forestales.

La instalación y el adecuado mantenimiento de las plantaciones forestales traen beneficios ambientales, tales como la recuperación de áreas degradadas, reducción de gases de efecto de invernadero, disminución de la presión extractiva sobre los bosques naturales, así como beneficios económicos que incluyen la generación de empleo, el incremento de la productividad y aumento en la calidad y homogeneidad de la materia prima, lo que resulta conveniente para las empresas del sector forestal industrial (Guariguata *et al.*, 2017).

En este contexto, el Estado peruano decidió apostar por el sector forestal como uno de los motores para estimular la economía nacional, impulsando regulaciones y programas que promueven las plantaciones forestales, reconociendo que éstas representan una gran oportunidad de negocio y desarrollo sostenido.

Durante los últimos años, impulsadas principalmente por empresas del sector privado, en nuestro país se vienen instalando plantaciones forestales con fines maderables de especies de rápido crecimiento, en su mayoría, exóticas de coníferas y latifoliadas, las cuales están siendo usadas como fuente de materia prima para las industrias de primera y segunda transformación. Dentro de estas especies se encuentra el *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, la cual es considerada viable para la instalación de plantaciones comerciales en la zona de Selva Alta (Guariguata *et al.*, 2017), siendo catalogada como especie élite para el desarrollo forestal en

las regiones de la selva central (Arborizaciones E.I.R.L., 2018).

Según la Food and Agricultural Organization (FAO, 1981), el eucalipto constituye una importante fuente de ingresos para muchos países productores de madera, siendo ampliamente utilizado en la producción de pulpa y papel, construcción y carpintería, así como en la producción de aceites esenciales. Uno de los principales usos de la madera de eucalipto es como leña, alternativa poco sostenible debido a los impactos ambientales negativos de su combustión y su baja rentabilidad. Por ello, recientemente ha surgido la tendencia de utilizar esta madera en productos de mayor valor agregado, como la fabricación de tableros alistonados, mobiliario escolar, entre otros productos de carpintería e inclusive se han realizado proyectos de investigación con la finalidad de expandir aún más los posibles usos para los residuos de eucalipto, de tal manera que generen mayores beneficios económicos y ambientales.

Los tableros alistonados, también conocidos como tableros encolados lateralmente o EGP, por sus siglas en inglés (*Edge Glued Panels*), son productos de alto valor agregado que en su fabricación permiten la utilización de residuos de industrias de transformación primaria y secundaria. Se componen de piezas de madera delgadas y cortas unidas mediante encolado lateral, las cuales pueden presentar originalmente defectos leves, permitiendo la recuperación de madera mediante el saneamiento de los residuos, reduciendo el volumen de madera destinada a la combustión e incrementando el rendimiento de la materia prima (Danawade *et al.*, 2014). De esta manera, los tableros EGP se convierten en un producto respetuoso con el ambiente, por el mejor uso de los recursos naturales y que resulta más rentable para las empresas.

Según International Trade Center (2023), los principales productos maderables importados por Perú durante los últimos cinco años fueron los tableros de madera reconstituida en sus diferentes presentaciones. Este panorama hace evidente la existencia de una demanda de tableros que actualmente no es abastecida por la industria nacional, en donde la producción de tableros EGP constituye una oportunidad de negocio para las empresas peruanas.

Para la manufactura de tableros EGP se requiere cumplir con requisitos técnicos mínimos que están normalizados, esencialmente los referentes a la resistencia al cizallamiento de la línea de

cola de las juntas laterales, la cual es influenciada por las características de la madera, el tipo de adhesivo empleado y la tecnología utilizada para su fabricación.

En esta investigación se estudió la viabilidad técnica del uso de residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, provenientes de una empresa de transformación secundaria, evaluando para ello la resistencia al cizallamiento de juntas encoladas, con tres adhesivos y tres niveles de extendido (gramaje), a fin de establecer el potencial de esta especie para la producción de tableros EGP.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo principal

Evaluar la calidad de juntas encoladas con residuos de madera de transformación secundaria de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden proveniente de plantaciones, para la fabricación de tableros EGP.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en su anatomía, propiedades físicas y químicas.
- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los adhesivos Acetato de polivinilo (PVA) tipo D3, PVA tipo D4 y Emulsión polimérica de isocianato (EPI).
- Evaluar la influencia de los adhesivos PVA tipo D3, PVA tipo D4 y EPI en la resistencia de juntas encoladas de residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.
- Evaluar la influencia de tres gramajes (120, 150 y 180 g/m²) en la resistencia de juntas encoladas de residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

- Analizar las interacciones entre las variables relacionadas a los adhesivos y niveles de extendido, con la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de las juntas encoladas de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Especie en estudio

El *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, conocido comúnmente como “*rose gum*” (eucalipto rosado) o “*flooded gum*”, es un árbol nativo de la costa este de Australia y es una de las principales especies forestales en los estados de Queensland y New South Wales. Su distribución se desarrolla de forma continua y principal en áreas donde predomina el clima subtropical húmedo (Teson, 2011).

En su ambiente nativo, puede alcanzar una altura de 43 a 55 m y un diámetro de 122 a 183 cm. Su fuste es de forma cilíndrica, color claro, recto y alto, llegando a alcanzar hasta dos tercios de la altura total del árbol. La corteza es delgada, caduca y se desprende en fajas. La especie presenta madera con albura y duramen diferenciados, siendo la albura de un color rosado claro y delgada, variando de 2,0 a 2,5 cm de espesor, mientras que el duramen es de color rojo claro a oscuro. La madera tiene poco brillo, grano recto a inclinado, textura fina a media y es suave al corte con hoja de sierra (Juízo, 2015; Meskimen y Francis, 1990).

El género *Eucalyptus* presenta porosidad difusa, los vasos son solitarios, poco numerosos y se hallan siempre rodeados por traqueidas, con presencia de parénquima axial vasicéntrico. Este género presenta una compleja anatomía, lo cual resulta en un amplio rango de especies con densidades que varían desde 400 kg/m³ hasta más de 1000 kg/m³ (Monteoliva *et al.*, 2015).

La madera de eucalipto en general es poco estable, lo que puede ocasionar problemas durante su procesamiento; sin embargo, este problema puede ser manejado con técnicas adecuadas que disminuyen los efectos producidos por las tensiones de crecimiento. Dentro del género, *E. grandis* resalta por ser considerada una madera de excelente trabajabilidad, buena durabilidad natural que puede ser torneada, lijada y proporciona una buena línea de cola, cualidades que

hacen viable su uso en carpintería y fabricación de mobiliario (Juízo, 2015; Rocha, 2000).

2.2. Plantaciones forestales en el Perú

Más del 50% del territorio peruano es ocupado por bosques naturales, siendo el segundo país de mayor extensión forestal en América Latina con una superficie de 68 733 265 ha, las cuales conforman la fuente de madera más importante para el mercado nacional (Held Pawlowski *et al.*, 2015; Servicio Nacional y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2018). En lo que respecta a las plantaciones forestales, aunque actualmente es difícil definir cuál es la extensión real que abarcan dentro del territorio nacional, se puede asegurar que la proporción de área que ocupan en relación con el área total del país es bastante baja comparada con los países vecinos de Chile o Brasil (Guariguata *et al.*, 2017).

A pesar de poseer una gran extensión de bosques tropicales, actualmente Perú cuenta con una balanza comercial deficitaria en el rubro de productos forestales (International Trade Center, 2023). Actualmente, los aportes del sector de plantaciones forestales contribuyen en pequeña magnitud al desarrollo nacional; sin embargo, el gobierno peruano ha decidido apostar por este sector, reconociendo que las plantaciones forestales son una gran oportunidad de negocio ya que generan empleo y contribuyen a la recuperación de áreas degradadas.

Las plantaciones forestales pueden ser instaladas con propósitos de restauración, protección o producción. Estas últimas se caracterizan por poseer condiciones favorables para la producción de madera, pudiendo utilizarse especies nativas o exóticas de rápido crecimiento. Sin embargo, en Perú las plantaciones son consideradas de baja productividad como consecuencia de un deficiente manejo silvicultural, el uso de semillas de baja calidad genética, la escasa aplicación de técnicas de mejoramiento de suelos y la falta de criterios sólidos para la selección de sitios (Tolmos, 2019; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019).

Guariguata *et al.* (2017), indican que en la Costa las especies predominantemente usadas para las plantaciones son el algarrobo (*Prosopis pallida*) y la tara (*Caesalpinia spinosa*); en la Sierra son el eucalipto (*Eucalyptus* spp.), el pino (*Pinus* spp.) y en menor medida ciprés (*Cupressus* sp.), así como algunas especies nativas como el quinal (*Polylepis* spp.); mientras que en la

Selva las especies más utilizadas son árboles nativos como la bolaina (*Guazuma crinita*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*), tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), entre otros.

2.3. Residuos de la transformación de la madera

Las industrias forestales de transformación primaria de la madera producen entre un 45 y 55 % de residuos al terminar el proceso de aserrío (FAO, 1991). Estos valores pueden variar de acuerdo con la especie forestal, la calidad de la troza y el tipo de tecnología empleada. Por otro lado, cuando la madera aserrada ingresa a los procesos de transformación secundaria, el rendimiento de la madera decrece aún más, ya que pueden generarse residuos desde un 25 %, en la producción de muebles (Villar, 2011), hasta más del 70 % en la producción de pisos (Vidal *et al.*, 2009).

Los residuos generados en los procesos de transformación secundaria son consecuencia de factores comunes en la mayoría de las industrias nacionales dedicadas a este rubro. En Perú, las trozas son aserradas de forma que rindan lo máximo posible, sin respetar una estandarización de anchos, largos y espesores, limitando el abastecimiento de materia prima con características y dimensiones idóneas para la manufactura de otros productos maderables de mayor valor agregado. Asimismo, la maquinaria y equipos utilizados en estas industrias son, en su mayoría, máquinas hechas elaboradas con escasos conocimientos técnicos que, conjuntamente a un pobre mantenimiento y falta de personal capacitado en el manejo adecuado, contribuye a que la cantidad de residuos sea superior a lo técnicamente aceptable (Tenssera, 2008).

Al finalizar el proceso productivo, los residuos son en su mayoría destinados a su consumo como biomasa para combustible, actividad que retorna a la atmósfera el CO₂ acumulado en la madera durante años generando contaminación ambiental. Asimismo, la acumulación de residuos dentro de una fábrica es perjudicial para la salud de los trabajadores de la empresa y los pobladores aledaños a ésta, significando además un uso inadecuado de los espacios de la fábrica (Franco, 2018).

Por este motivo, es necesario buscar una alternativa más viable, en términos económicos y ambientales, para los residuos obtenidos durante los procesos de transformación de la madera,

siendo su uso como materia prima para la fabricación de productos de mayor valor agregado (PMVA) una excelente opción. Los PMVA son productos secundarios de madera que, mediante un reprocesamiento, son transformados en otro producto de mayor valor en el mercado. Dentro de este conjunto de productos se encuentran las puertas de madera, molduras, pisos de madera y los tableros EGP (Almeida, 2015).

2.4. Tableros encolados lateralmente

Los tableros EGP son obtenidos mediante el encolado lateral de listones de madera que, pueden o no, estar unidos por sus extremos con uniones tipo “*finger joints*” (Lopes, 2008).

Su ámbito de utilización es amplio debido a la superioridad de la madera sobre otros materiales y su capacidad de alcanzar diversos requerimientos gracias a su estabilidad dimensional y estructura física (Dilik *et al.*, 2012). Estos tableros son recomendados como una alternativa ante otros tableros de la industria, particularmente para su uso en muebles y decoración, pudiendo ser utilizados en puertas y ventanas de uso en interior y siendo considerados como productos de alto valor agregado. (Lopes, 2008)

Para su producción se pueden utilizar piezas delgadas y cortas con presencia de defectos pequeños o leves, características comunes de las piezas que se obtienen como residuos del aserrío u otros procesos en las industrias de transformación secundaria de la madera. De tal manera que los rendimientos se incrementan por medio del aprovechamiento de materiales que antes eran desechados o quemados como biomasa. (Danawade *et al.*, 2014)

Para garantizar la calidad de un producto y su buen desempeño en servicio, se elaboran normas técnicas que establecen los requisitos mínimos que debe cumplir cada producto, así como los métodos de ensayo para la evaluación de los parámetros correspondientes. En tal sentido, el Comité Europeo de Normalización aprobó la norma UNE-EN 13353 (Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR], 2023) que establece los requisitos que deben cumplir los tableros de madera maciza monocapa y multicapa, para su uso en ambiente seco, húmedo y exterior y según las clases de servicio definidas en la norma UNE-EN 1995-1-1. Otra norma aprobada por el comité es la UNE-EN 13354 (AENOR, 2009), que describe el

procedimiento para la evaluación de la calidad del encolado de tableros de madera maciza, incluyendo también los pretratamientos a aplicar según el ambiente de uso previsto.

La norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2023), incluye dentro de sus requisitos la calidad del encolado, la cual debe evaluarse según el método de ensayo de esfuerzo cortante descrito en la norma UNE-EN 13354 (AENOR, 2009). La misma norma establece que, para los resultados obtenidos de ese ensayo, el quinto percentil inferior de la resistencia al cortante, calculado según la norma UNE-EN 326-1, no debe ser menor a 2,5 MPa y que el porcentaje medio de fallo por madera debe ser mayor del 40 %, excepto si la densidad es mayor a 0,60 g/m³.

2.5. Factores que afectan el encolado de la madera

En el encolado de la madera existen muchos factores que influyen en la calidad final del producto, principalmente las propiedades de la madera, las propiedades del adhesivo empleado y las condiciones de encolado (Iwakiri *et al.*, 2015).

2.5.1. Propiedades de la madera

Cada especie posee características particulares que, debido a su origen biológico, son en su mayoría inalterables; a diferencia de las propiedades relacionadas al adhesivo y al proceso de encolado, las cuales sí pueden ajustarse de tal manera que sean más compatibles con las características de la madera (Prata, 2010).

Las propiedades de la madera con mayor influencia en el encolado son la anatomía (porosidad, diámetro tangencial y frecuencia de poros), las propiedades físicas (densidad, variación dimensional y contenido de humedad) y las propiedades químicas (contenido de cenizas, extractivos totales y pH).

a. Propiedades anatómicas

La anatomía de la madera está relacionada con su estructura, la cual se refiere a las dimensiones de los elementos celulares, las dimensiones, disposición y frecuencia de las

cavidades celulares, entre otros. Estas características influyen en la calidad del encolado por su relación con la porosidad y la permeabilidad. (Iwakiri, 2005)

Según Bila (2014), la porosidad es entendida como la dispersión de los vasos en la sección transversal de la madera, mientras que la permeabilidad es la medida de la capacidad de circulación de un fluido a través de los vasos, sin alterar la estructura interna de la madera.

Estas propiedades afectan la calidad del encolado de manera que, mientras mayor sea la porosidad, mayor será la penetrabilidad del adhesivo dentro de la estructura interna de la madera lo cual, en exceso, puede resultar en una línea de cola muy débil. Por otro lado, si la madera es poco porosa, la penetrabilidad del adhesivo será menor, obteniendo como resultado una línea de cola muy espesa, superficial y de baja resistencia.

Prata (2010), indica que la porosidad tiene una relación inversa con la densidad. Las maderas más densas poseen menos poros o poros de menor tamaño, lo cual disminuye su permeabilidad; en contraparte, las maderas menos densas poseen una mayor cantidad de poros o poros de mayor tamaño, lo cual incrementa su permeabilidad.

García, Guindeo, Peraza y De Palacios (2003), indican que el proceso de duraminización se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas. En especies latifoliadas, durante este proceso aparecen las tilosis, que son expansiones vasculares procedentes de las células de parénquima, las cuales penetran en los vasos próximos, obturándolos en mayor o menor grado. Por su parte, la albura tiene sus elementos conductores generalmente libres de obturaciones. Algunas especies también pueden poseer gomas que, al igual que la tilosis, impiden la circulación libre de los fluidos a través de los vasos del xilema. Maderas que presentan una o más obturaciones pueden tener problemas durante su encolado, ya que estas limitan la capacidad de penetración del adhesivo.

La edad del árbol influye en el encolado por la presencia de los llamados leño juvenil y leño tardío. El primero se caracteriza por ser de menor densidad y mayor porosidad, razón por la cual presenta mayor facilidad de encolado en comparación al segundo, que es de mayor densidad y menor porosidad. Así mismo, el leño juvenil presenta menor resistencia mecánica

y alta inestabilidad dimensional, lo que puede afectar la calidad del producto final (Iwakiri, 2005).

b. Propiedades físicas

Según Iwakiri (2005), la densidad y el contenido de humedad de la madera son las propiedades físicas más importantes en relación a la influencia que tienen dentro del proceso de encolado.

La densidad de la madera presenta una relación inversa con la porosidad y la penetración de los adhesivos. En maderas de baja densidad, el adhesivo penetrará con mayor facilidad generando una línea de cola muy débil, mientras que en maderas de alta densidad la penetrabilidad será reducida. Otro efecto relacionado a la densidad es el referido a los cambios volumétricos, las especies de alta densidad presentarán mayor variación volumétrica cuando haya cambios en el contenido de humedad, provocando tensiones que afectan la resistencia de la línea de cola (Marra, 1992).

Selbo (1975), indica que los efectos del contenido de humedad en la madera también se relacionan con su capacidad para absorber el agua contenida en el adhesivo. Una pieza de madera con mayor contenido de humedad tendrá un ritmo de absorción del agua más lento y, por lo tanto, el tiempo para el fraguado de la cola será mayor, lo cual afecta la productividad del proceso de fabricación.

c. Propiedades químicas

El pH es la medida de la concentración de iones de hidrogeno en una solución. El conocimiento del pH de la madera o, específicamente, de la solución acuosa al interior de la madera húmeda, es de gran importancia ya que puede alterar la capacidad de adhesión de un adhesivo (Fengel y Wegener, 1989). Iwakiri (2005) indica que el pH puede favorecer el preendurecimiento del adhesivo, reduciendo su capacidad de fluidez, humectación y penetración; asimismo, puede inhibir las reacciones químicas que generan el endurecimiento del adhesivo, perjudicando la resistencia y nivel de cohesión de la línea de cola resultante.

Los extractivos son componentes menores que no forman parte de la pared celular de las células xilemáticas y, tal como indica su nombre, pueden ser extraídos con agua, solventes orgánicos neutros o volatilizadores con vapor. La composición y cantidad de extractivos puede variar debido a factores como la especie, la edad del árbol, la región de ocurrencia, entre otros. En latifoliadas, se estima que de 2 a 4 % de la madera seca se encuentra constituida por extractivos (Otero, 1988). Iwakiri (2005) indica que el contenido de extractivos totales tiene efectos relacionados con la reducción de la higroscopicidad y de la permeabilidad de la madera.

Las cenizas o sustancias inorgánicas, están constituidas principalmente de sulfatos, fosfatos, oxalatos, carbonatos y silicatos de calcio, potasio y magnesio. En la madera puede encontrarse un gran número de estos elementos, pero en cantidades muy pequeñas, resultando un contenido total de cenizas en la madera inferior al 1% (Otero, 1988). El contenido de cenizas no afecta directamente el proceso de adhesión; sin embargo, puede afectar el pH o la trabajabilidad de la madera debido a la presencia de minerales que producen un desgaste excesivo de los elementos de corte (Iwakiri, 2005).

2.5.2. Propiedades de los adhesivos

Un adhesivo es una sustancia con la capacidad de unir materiales mediante el contacto entre sus superficies (Fiorelli, 2002), mientras que la adhesión se refiere a la interacción existente entre las superficies del adhesivo y el sustrato (Frihart, 2005).

Según Frihart (2005), para explicar la adhesión hay teorías que se enfatizan en dos aspectos principales: los mecánicos y los químicos, aunque ambos aspectos se relacionan entre sí y no pueden ser tratados como entidades totalmente distintas. Las teorías que se enfocan en los aspectos mecánicos, indican que el adhesivo proporciona resistencia cuando ingresa a los poros del sustrato, un ejemplo del enlace mecánico es el velcro. Por otra parte, hay teorías que indican que la adhesión depende principalmente de las interacciones químicas por sobre los aspectos mecánicos y que estas interacciones toman lugar a un nivel molecular, lo cual requiere un contacto íntimo entre el adhesivo y el sustrato.

Según su origen, los adhesivos pueden ser naturales (albumina, caseína, almidón, entre otros) o sintéticos. Los adhesivos sintéticos por su parte se dividen en termoplásticos y termofijos. Frihart (2005), indica que los adhesivos termoplásticos tienen como característica principal su cura reversible, ya que son derretidos o ablandados cuando la temperatura aumenta y se vuelven a endurecer cuando se enfrían. Mientras que los adhesivos termofijos son aquellos que endurecen mediante reacciones químicas activadas por la temperatura o catalizadores lo que les confiere alta resistencia al calor y la humedad. Dentro del grupo de adhesivos termoplásticos, los más conocidos son los formados a partir del polivinil acetato, mientras que dentro de los termofijos se encuentran los adhesivos a base de formaldehído, poliuretanos y epoxis (Fiorelli, 2002).

Las propiedades físicas y químicas de los adhesivos empleados en la manufactura de tableros EGP influyen directamente en la calidad del encolado de la madera, las propiedades que destacan son el contenido de sólidos, la viscosidad y el pH.

El contenido de sólidos es la cantidad de material no volátil que se encuentra en un adhesivo y determina la capacidad de adhesión que este posee (Blanco, 2014). Respecto a esta propiedad, Bila (2014) señala que un mayor contenido de sólidos es beneficioso para el encolado, ya que es indicativo de la presencia de más componentes formando ligaciones adhesivas a la madera. Bandel (1991) citado por Endo, Trianoski e Iwakiri (2017), indica que la cantidad de sólidos presentes en el adhesivo se relaciona con la velocidad de formación de la línea de cola, es decir, cuanto mayor sea la cantidad de agua en el adhesivo (menor contenido de sólidos), más lenta será la formación de la línea de cola debido a que se requiere un mayor tiempo para la evaporación del agua.

La viscosidad se define como la resistencia al flujo libre entre las capas de un material o la amplitud que caracteriza la existencia de fricción entre moléculas de un fluido. Esta propiedad tiene influencia en la penetración del adhesivo dentro de la madera, cuanto menor sea la viscosidad, mayor será la penetración y absorción del adhesivo por la madera; en caso contrario, cuanto mayor sea la viscosidad, menor será la penetración del adhesivo en la estructura capilar de la madera, obteniendo como resultado en ambos casos una línea de cola de baja resistencia (Iwakiri, 2005). En algunas situaciones la baja viscosidad se ve asociada con un elevado contenido de agua y por lo tanto un menor contenido de sólidos.

Con respecto al pH, adhesivos ácidos pueden generar decoloraciones de la madera por un contacto prolongado con hierro, adicionalmente, si su valor es menor a 3, existe la posibilidad de degradación de la madera. Así mismo, el pH tiene influencia sobre la velocidad o grado de reacción de las moléculas del adhesivo (Marra, 1992). Otro inconveniente del pH es que un valor muy bajo genera la formación de espuma en el adhesivo perjudicando la aplicación (Iwakiri, 2005).

El gramaje o cantidad de cola a esparcir por área, no es una propiedad del adhesivo; sin embargo, es un factor importante dentro del proceso de producción de tableros EGP, ya que este tiene influencia en la resistencia mecánica del tablero, sea en el caso de que el gramaje usado se encuentre por debajo o por encima de lo recomendado (Iwakiri, 2005). En el primer caso, se obtendrá una menor resistencia de la línea de cola debido al insuficiente nivel de adherencia; mientras que gramajes muy elevados aumentan el tiempo de prensado y promueven el desperdicio por derrame del adhesivo en exceso, trayendo como consecuencia perjuicios económicos. (Iwakiri *et al.*, 2014). Lopes (2008) considera un nivel de extendido adecuado en el rango de 180 a 220 g/m².

2.6. Adhesivos utilizados en la producción de tableros EGP

Los adhesivos en base a acetato de polivinilo (PVA) y emulsión polimérica de isocianato (EPI) son los más usados en la producción de tableros EGP y mobiliario, por el hecho de presentar bajo costo y alta productividad en el caso del PVA y una elevada resistencia en la línea de cola en el caso del EPI (De Conti, 2011).

2.6.1. Acetato de polivinilo – PVA

El PVA, producido a través de la polimerización de monómeros de acetato de vinilo, es un polímero que, a lo largo de los años, ha ganado gran aceptación como materia prima para la industria de adhesivos. Los productos encolados con adhesivo PVA presentan alta resistencia mecánica en ambiente seco, pero con limitaciones de uso en ambientes con altos valores de temperatura y humedad (Pizzi, 1983). Se caracteriza por ser de bajo costo, inodoro, de fácil manejo, de secado rápido, poco abrasivo y flexible (Frihart y Hunt, 2010).

Iwakiri (2005), en relación con las propiedades básicas del adhesivo PVA, menciona que el contenido de sólidos promedio varía entre 51 y 55 %, pH ente 4,0 y 5,0 y un rango de viscosidad que va de 6000 a 8000 cP.

La norma UNE-EN 204 (AENOR, 2016), presenta una clasificación de adhesivos para madera de uso no estructural, como el PVA, según clases de durabilidad D1 a D4, divididas en base a la resistencia en seco y en húmedo de la línea de cola cuando es sometida a condiciones específicas.

Tabla 1: Clasificación de adhesivos termoplásticos para madera para usos no estructurales

Clase de durabilidad	Condiciones climáticas y campos de aplicación
D1	Uso interior, en el que el contenido de humedad de la madera no excede el 15%.
D2	Uso interior, con exposiciones cortas ocasionales a agua corriente o condensada y/o a la humedad alta ocasional, de modo que el contenido de humedad de la madera no excede el 18%.
D3	Uso interior, con exposiciones cortas frecuentes a agua corriente o condensada y/o alta exposición a alta humedad. Uso exterior no expuesto a la meteorología.
D4	Uso interior, con exposiciones largas frecuentes a agua corriente o condensada. Uso exterior expuesto a la meteorología, pero con la protección de un recubrimiento superficial adecuado.

Fuente: Elaborado en base a la norma UNE-EN 204 (AENOR, 2016)

2.6.2. Emulsión polimérica de isocianato - EPI

El adhesivo EPI es obtenido de la emulsificación en agua del polímero difenilmetano-diisocianato (MDI) (Conner, 2001). Se caracteriza por su resistencia a altas temperaturas, al agua y a solventes, tiene buena estabilidad, tiempo de curado corto y es flexible, pero de mayor costo en comparación al PVA (Frihart y Hunt, 2010). Este adhesivo requiere ser mezclado con un endurecedor antes de ser aplicado, lo cual precisa de un mayor nivel de entrenamiento por parte de los operarios durante el proceso de fabricación, para evitar que la cola empiece a fraguar antes de realizar las juntas.

Según Akzo Nobel Perú S.A.C. (2010), las características del adhesivo EPI 1911 son: contenido de sólidos entre 42 y 46 %, pH entre 7,0 y 8,5 y viscosidad media situada entre 8000 y 15000 cP.

2.7. Factores que influyen en el proceso de prensado

Lopes (2008) señala que, además de las propiedades de la madera y del adhesivo, existen otros factores que influyen en la formación adecuada de un tablero EGP, tales como el nivel de capacitación de los operarios y las máquinas empleadas en la fabricación.

Para un buen encolado, la superficie de los sustratos debe estar limpia, libre de aserrín y cualquier otro contaminante; así mismo, la superficie a encolar debe ser maquinada previamente a la aplicación del adhesivo para que se genere una mejor adhesión (Pizzi, 1982). Por su parte, Martins (2011) señala que la previa preparación de la superficie también sirve para propiciar un adecuado contacto entre los sustratos.

El tiempo de montaje se refiere al intervalo de tiempo que transcurre entre la aplicación del adhesivo sobre la superficie y la aplicación de presión para la unión de las piezas. Durante el montaje, el tiempo abierto se refiere al tiempo entre la aplicación del adhesivo y la unión de las piezas, mientras que el tiempo cerrado es el que transcurre entre la unión de las piezas y la aplicación de la presión (Lopes, 2008). Los tiempos de montaje, así como el tiempo de prensado, deben estar dentro de los límites indicados en la ficha técnica de cada adhesivo con el fin asegurar un buen encolado.

Prata (2010) indica que, con el objetivo de aproximar lo máximo posible los sustratos y así puedan desarrollarse las fuerzas que generan la adhesión entre las moléculas, es necesario aplicar presión sobre las superficies que serán encoladas, tanto en encolado en caliente como en frío. Costa (2006) menciona que la presión influye en la capacidad de penetración del adhesivo en la madera, siendo que presiones muy altas generan un movimiento excesivo del adhesivo produciendo el derrame fuera del área de la junta, mientras que presiones muy bajas no contribuyen a una buena penetración del adhesivo. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la densidad de la madera, pues según Marra (1992), maderas de alta densidad requieren de presiones más alta en comparación a maderas de menor densidad.

Costa (2006), menciona que la temperatura de encolado también es importante para la calidad de la junta, debido a que esta controla el tiempo de curado y por lo tanto la viscosidad, la cual determina la capacidad penetración del adhesivo.

2.8. Ensayos realizados sobre encolado lateral de tableros EGP

Lopes *et al.* (2013), en su investigación sobre la resistencia de la línea de cola de tableros EGP de *Pinus tadea* elaborados con adhesivos PVA, EPI y Poliuretano (PU) con diferente orientación de encolado, determinaron que el adhesivo PU obtuvo los valores medios de resistencia al cizallamiento más altos en condición húmeda (4,09 MPa), difiriendo significativamente del adhesivo PVA (1,91 MPa) y EPI (2,91 MPa), mientras que en condición seca no hubo diferencia significativa entre los tres adhesivos con valores promedio de 8,67 MPa a 9,12 MPa. Adicionalmente se observó que el encolado en orientación radial obtuvo valores más altos de resistencia al cizallamiento con respecto a la orientación tangencial.

Martins *et al.* (2013), estudiaron el comportamiento del encolado en madera de *Eucalyptus benthamii* para la fabricación de tableros EGP. Los adhesivos utilizados fueron PVAc y PUR, aplicados sobre superficies lijadas y cepilladas, a presiones de 0,7 y 1,0 MPa. Los tratamientos realizados alcanzaron el valor mínimo de resistencia al cizallamiento y el porcentaje mínimo de fallo de la madera establecido por la norma ASTM D 5751. Del mismo modo, los resultados mostraron que la línea de cola obtenida por el adhesivo PVAc no fue influenciado por la presión ni por la superficie de encolado.

Fonte y Trianoski (2015), estudiaron el efecto del gramaje en la calidad de encolado lateral de *Tectona grandis* con adhesivo PVA. Luego de realizar los ensayos con base en la norma UNE-EN 13354, se concluyó que *T. grandis* es una especie adecuada para la producción de tableros EGP, superando en condición seca el valor mínimo de resistencia a la cizalladura de 2,5 MPa exigida por la norma sin presentar diferencia significativa entre los gramajes evaluados (100, 140, 180 y 220 g/m²).

Bianche *et al.* (2017), realizaron ensayos de cizallamiento en la línea de cola de juntas de *Eucalyptus sp.* con diferentes adhesivos y diferentes gramajes. En este estudio, el adhesivo PVA presentó uno de los valores más altos de resistencia promedio en condición seca (6,32 MPa). Por otro lado, en condición húmeda el adhesivo PVA presentó valores bajos de resistencia al cizallamiento (2,28 MPa), concluyendo que no debe ser usado en ambientes con alta humedad relativa o en contacto directo con el agua. Tanto en condición seca como en condición húmeda, los diferentes gramajes (150, 200 y 250 g/m²) no presentaron diferencia significativa para los valores promedio de resistencia al cizallamiento para el adhesivo PVA.

Endo *et al.* (2017), evaluaron los efectos de cuatro adhesivos PVA y diferentes sistemas de prensado en la producción de tableros EGP de *Pinus tadea*. El primer sistema de prensado fue en frío con un tiempo de 45 minutos y el segundo fue un prensado en caliente por 3 minutos, del mismo modo se realizaron tres pretratamientos: seco, inmersión e inmersión con un periodo de climatización. En este estudio se llegó a la conclusión de que no existía diferencia estadística significativa a partir de la interacción de los adhesivos con los sistemas de prensado, obteniendo valores muy bajos de resistencia al cizallamiento en condición húmeda (de 0,66 MPa a 2,14 MPa), pero valores superiores a 3,28 MPa en inmersión con un periodo de climatización y valores sobre 5,03 MPa en condición seca.

Campelo *et al.* (2017), elaboraron tableros EGP de *Genipa americana* con los adhesivos PVA y EPI con un gramaje de 180 g/m² y tres horas de prensado, para el adhesivo EPI se aplicó adicionalmente un gramaje de 220 g/m². Los ensayos para evaluar la resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas fueron realizados siguiendo las normas UNE-EN 13353 y UNE-EN 13354. Los resultados del estudio indicaron que el adhesivo PVA presenta menor resistencia al cizallamiento en comparación al adhesivo EPI obteniendo valores de 2,81 MPa

y 6,43 MPa respectivamente. Adicionalmente, se concluyó que el gramaje no tuvo influencia significativa en la calidad de encolado.

III. METODOLOGÍA

3.1. Materiales

En este estudio se emplearon residuos de madera de transformación secundaria de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, proveniente de plantaciones de 16 años, ubicadas en el distrito de Satipo, provincia Satipo, departamento de Junín.

Para el encolado de las juntas laterales se utilizaron los adhesivos mono componentes PVA D3, PVA D4 y el adhesivo bi componente EPI, denominados comercialmente como PVA 3339, AQUENCE DL 246 y sistema EPI 1911 con componente HARDENER 1999, respectivamente. Los adhesivos PVA D3 y EPI fueron adquiridos en la empresa Akzo Nobel Perú S.A.C., mientras que el adhesivo PVA D4 fue suministrado por la empresa HENKEL Peruana S.A.

3.2. Identificación y selección de los residuos

Los residuos fueron obtenidos en la empresa Postes Wise S.A.C., localizada en el distrito de Chaclacayo, provincia de Lima, departamento de Lima.



Figura 1: Residuos de madera generados en la empresa Postes Wise S.A.C.

La identificación de la madera de *Eucalyptus grandis* se realizó visualmente, en base a las características organolépticas y macroscópicas, usando como herramientas de apoyo una cuchilla y una lupa 10x.

Para este estudio se seleccionaron sólo los residuos con dimensiones similares o superiores a 20 mm en el espesor, 50 mm en el ancho y 300 mm en el largo. Se descartaron los residuos con presencia de nudos, perforaciones de insectos, trizado, gomas o pudrición. La orientación de corte no fue un criterio para la selección.



Figura 2: Identificación y selección de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

3.3. Preparación de los residuos

Los residuos seleccionados fueron recortados en la empresa Postes Wise S.A.C. en listones de 20 mm de espesor, 50 mm de ancho y 300 mm de largo. Conjuntamente, se habilitaron las probetas y muestras de aserrín para las evaluaciones anatómicas, físicas y químicas. Este proceso se realizó según lo indicado en las normas técnicas establecidas para cada ensayo.



Figura 3: Proceso de preparación de listones de 20mm x 50mm x 300mm a partir de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

3.4. Descripción anatómica de los residuos

Las características anatómicas fueron observadas y descritas en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la UNALM, de acuerdo con los procedimientos normados por el Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 1991) y el Boletín de la International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989).

Las características organolépticas y macroscópicas se evaluaron visualmente con apoyo de una cuchilla y una lupa 10x, considerando como patrón las muestras de *Eucalyptus grandis* de la xiloteca que el laboratorio posee.

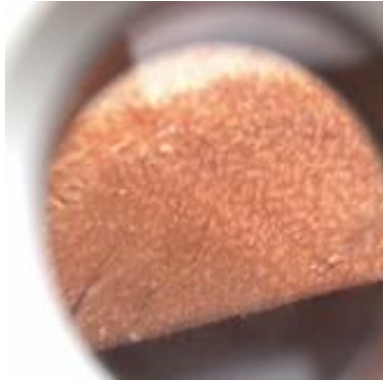


Figura 4: Sección transversal de residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden con aumento **10x**

Para la descripción microscópica se obtuvieron láminas histológicas de cubos de madera de aproximadamente 2 cm de lado, las cuales fueron fotografiadas con un microscopio Leica modelo DM750 y una cámara Leica ICC50 W/E. Finalmente el diámetro tangencial y la frecuencia de poros se midieron usando el programa LAS EZ v. 3.4.

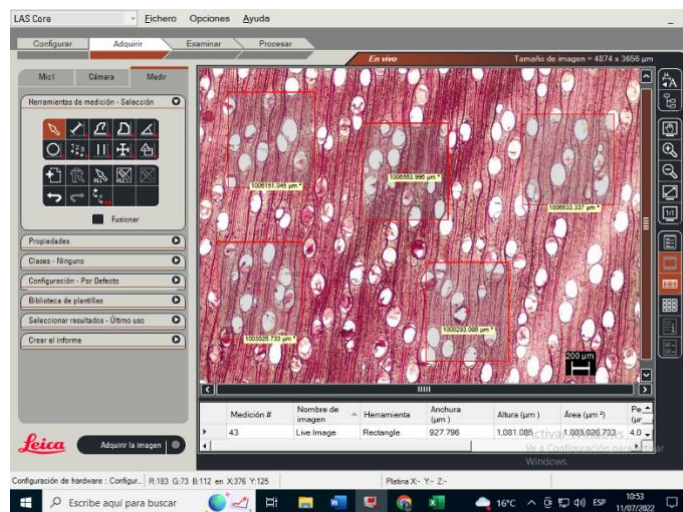


Figura 5: Determinación de la frecuencia de poros de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el programa LAS EZ v. 3.4.

3.5. Evaluación de las propiedades físicas de los residuos

La evaluación de las propiedades físicas de los residuos se realizó en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la UNALM y consistió en determinar el contenido de humedad, densidad básica, densidad aparente y la variación dimensional.

La evaluación del contenido de humedad de los residuos se efectuó aplicando el método gravimétrico en estufa, de acuerdo con lo descrito en la NTP 251.010 (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2014a) realizando 15 repeticiones.

La densidad básica y densidad aparente de los residuos se determinaron en base a lo indicado en la NTP 251.011 (INACAL, 2014b), utilizando 15 probetas para cada prueba. Las probetas de madera fueron saturadas mediante el método de inmersión en agua a temperatura ambiente durante un periodo de 45 días. Al finalizar este periodo se verificó con una balanza que las probetas tuvieran un peso que indique un contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (30 %).

Para determinar la variación dimensional de la especie en estudio, se siguieron los procedimientos establecidos en la NTP 251.012 (INACAL, 2015), usando 15 probetas para la determinación de las contracciones radial, tangencial, longitudinal y volumétrica, así como el coeficiente de anisotropía.



Figura 6: Determinación de las propiedades físicas de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

3.6. Evaluación de las propiedades químicas de los residuos

La caracterización química de los residuos se realizó en el Laboratorio de Pulpa y Papel de la UNALM, utilizando partículas que fueron obtenidas luego de someter el aserrín de la especie en estudio al paso de tamices de malla 40 y 60, preparados de acuerdo con lo indicado en las normas TAPPI T 257 sp-12 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry [TAPPI], 2012) y TAPPI T 264 cm-07 (TAPPI, 2007). Se evaluaron las siguientes propiedades: contenido de extractivos totales, pH y contenido de cenizas de los residuos, siguiendo los procedimientos indicados en la norma técnica TAPPI T 204 cm-17 (TAPPI, 2017), TAPPI T 252 om-16 (TAPPI, 2016b) y TAPPI T 211 om-16 (TAPPI, 2016a), respectivamente. Para cada una de estas propiedades se realizaron 3 repeticiones.



Figura 7: Contenido de cenizas obtenido de muestras de aserrín de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden



Figura 8: Solución agua destilada-aserrín para la determinación del pH de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

3.7. Determinación de las propiedades de los adhesivos

La determinación de las propiedades de los adhesivos se realizó en el Laboratorio de Pulpa y Papel de la UNALM. Las propiedades que se evaluaron fueron la viscosidad, el contenido de sólidos y el pH de los adhesivos PVA D3, PVA D4 y EPI.

La determinación de la viscosidad se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM D 1084 (ASTM, 1998), utilizando un viscosímetro Brookfield. Los adhesivos fueron acondicionados a una temperatura de 25 °C, haciendo uso de un agitador o Spindle número 6, a velocidad de rotación de 20 rpm, realizándose 5 repeticiones para los adhesivos PVA D3 y EPI y 3 repeticiones para el adhesivo PVA D4. El contenido de sólidos se determinó de acuerdo a la norma UNE-EN 827 (AENOR, 2006) y el pH en base a la norma UNE-EN 1245 (AENOR, 2011).



Figura 9: Determinación de la viscosidad de un adhesivo

3.8. Fabricación de juntas encoladas

Las juntas encoladas se elaboraron con los listones de 20 mm x 50 mm x 300 mm previamente preparados, utilizando los adhesivos PVA D3, PVA D4 y EPI con gramajes 120, 150 y 180 g/m².

Antes del encolado, se verificó el contenido de humedad de los listones, usando un higrómetro de pines GANN HT 75. Los adhesivos se aplicaron con una espátula en un canto, el cual fue previamente cepillado, calculando primeramente la cantidad de adhesivo necesario para el área del canto a encolar, de acuerdo con el gramaje previsto para cada caso.

El proceso de encolado y prensado se realizó, dentro de las 24 horas posteriores al cepillado de los cantos, en las instalaciones la empresa Postes Wise S.A.C., para lo cual se usó una prensa fría, siguiendo los parámetros indicados en la Tabla 2.

Tabla 2: Parámetros del proceso de prensado

Adhesivos	PVA D3	PVA D4	EPI
Tiempo de prensado efectivo	5 min	1 h	1 h
Presión específica	0,8 MPa	0,8 MPa	0,8 MPa
Tiempo de ensamble	Abierto: 4 min Cerrado: 7 min	Abierto: 5 min Cerrado: 15 min	Abierto: 4 min Cerrado: 5 min



Figura 10: Proceso de encolado y prensado de juntas laterales

3.9. Preparación de las probetas para ensayos de cizallamiento

Las probetas para los ensayos de cizallamiento de la línea de cola fueron elaboradas de acuerdo con lo indicado en las normas UNE-EN 13353 (AENOR, 2023) y UNE-EN 13354 (AENOR, 2009), luego de un tiempo de fraguado de 14 días posterior al proceso de prensado.

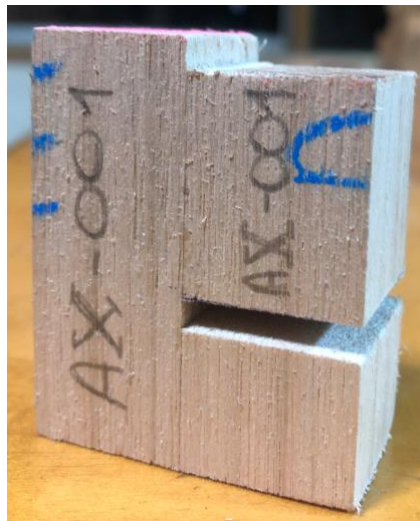


Figura 11: Probeta para ensayo de resistencia al cizallamiento de la línea de cola de tableros de madera maciza monocapa

3.10. Ensayos de cizallamiento en la línea de cola

Los ensayos para determinar la resistencia al cizallamiento en la línea de cola fueron realizados en base a señalado en la norma UNE-EN 13354 (AENOR, 2009), en el laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la UNALM.

Las probetas para el ensayo de cizallamiento fueron llevadas a una cámara de climatización para su acondicionamiento a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $65 \pm 5 \%$. Antes de realizar los ensayos, las probetas se sometieron a dos pretratamientos, de acuerdo con el uso previsto, los cuales son descritos en la Tabla 3.

Tabla 3: Pretratamientos según el uso previsto en ambiente seco y ambiente húmedo

Pretratamiento	Descripción
SWP/1 Ambiente seco	24 h en agua fría (20 ± 3) °C
SWP/2 Ambiente húmedo	6 h en agua hirviendo, enfriamiento al menos durante 1 h en agua (20 ± 3) °C

Fuente: Adaptado de la Norma UNE-EN 13354 (AENOR, 2009)

Para el modelo experimental de este estudio, el cual se describe en la Tabla 4, se realizaron 10 repeticiones para cada combinación de adhesivo, gramaje y pretratamiento correspondiente.

Tabla 4: Diseño experimental

Tratamiento	Adhesivo	Gramaje (g/m²)	Pretratamientos
1	PVA D3	120	AS/AH
2	PVA D3	150	AS/AH
3	PVA D3	180	AS/AH
4	PVA D4	120	AS/AH
5	PVA D4	150	AS/AH
6	PVA D4	180	AS/AH
7	EPI	120	AS/AH
8	EPI	150	AS/AH
9	EPI	180	AS/AH

AS: para uso en ambiente seco; AH: para uso en ambiente húmedo

Los resultados obtenidos fueron comparados con los requisitos establecidos en la norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2023), para lo cual se determinó el 5° percentil inferior de la resistencia al cizallamiento de las probetas ensayadas y el porcentaje de falla de la madera, según los procedimientos descritos en las normas UNE-EN 326-1 (AENOR, 1995) y UNE-EN 314-1 (AENOR, 2007) respectivamente.

3.11. Análisis estadístico

Para las características anatómicas de la especie en estudio, se determinó el valor promedio y el rango, mientras que, en el caso de las características físicas y químicas, se calcularon el promedio y el coeficiente de variación.

Para las propiedades de los adhesivos se determinó el valor promedio y el coeficiente de variación.

Para los resultados de resistencia al cizallamiento en la línea de cola, se calculó el valor promedio, el 5° percentil inferior y el coeficiente de variación, mientras que para los valores de porcentaje de falla se calculó el valor promedio.

En el caso de los pretratamientos, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a un diseño factorial 3 x 3 (factores: tipo de adhesivo y gramaje) y una prueba Tukey con un nivel de confianza de 95 %. Ambas pruebas estadísticas se realizaron mediante el programa estadístico R v. 4.2.0.

Se realizó un análisis de correlación para determinar el nivel de relación existente entre la resistencia al cizallamiento con la densidad básica y el contenido de humedad, con el fin de evaluar la influencia de estas propiedades físicas sobre la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de las probetas sometidas al pretratamiento para uso en ambiente seco.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción anatómica de los residuos

Las características anatómicas de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden determinadas se describen a continuación:

- Latifoliada
- No hay diferencia notoria entre albura y duramen
- Grano recto a entrecruzado
- Textura media
- Brillo Medio
- Veta ausente
- Anillos de crecimiento no visibles
- Porosidad difusa
- Poros solitarios de forma oval
- Parénquima apotraqueal difuso
- Frecuencia de poros (n° poros/mm²): Promedio 10,80; mínimo: 7; máximo 13

- Diámetro tangencial de poros (μm): Promedio: 135,06; mínimo: 87,57; máximo: 155,49.



Figura 12: Vista tangencial (A) y vista radial (B) de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

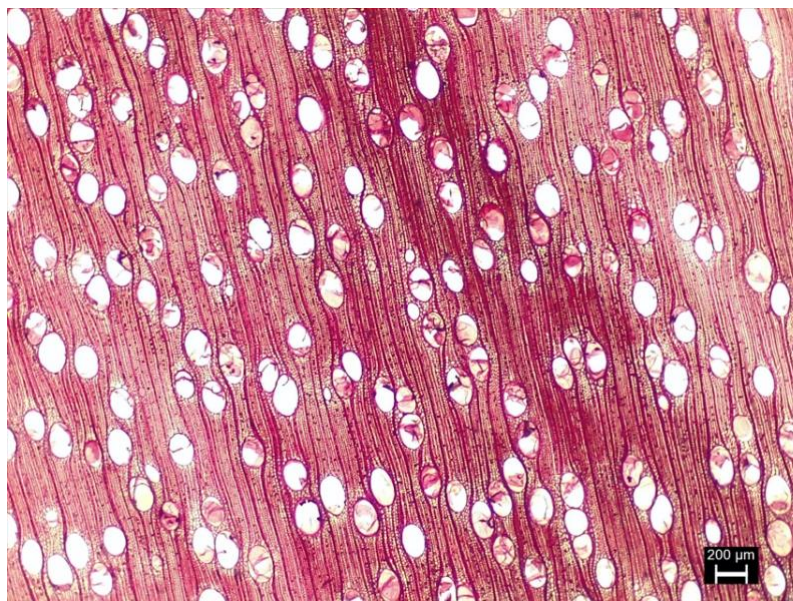


Figura 13: Vista microscópica de la sección transversal de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (aumento 100x)

Los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden presentan grano recto a entrecruzado, lo que se asemeja a lo indicado por Silvestre y Torres (2003) e International Tropical Timber Organization (ITTO, 2023). Albuquerque y Latorraca (2000), señalan que la dirección del grano influye principalmente en la porosidad que se genera en los distintos planos de corte, siendo que una madera de grano ligeramente inclinado formará una línea de cola más fuerte, con relación a una madera de grano recto.

Se observó una porosidad difusa y poros solitarios, lo cual coincide con lo encontrado por Mendoza y Rava (2009) y Verocay Da Silva (2022) en sus estudios acerca de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Se determinó un diámetro tangencial de poros promedio de 135,06 μm , y una frecuencia promedio de 10,80 poros/ mm^2 . Según los valores obtenidos, la especie en estudio se encuentra dentro de la Categoría III (100-200 μm) para el diámetro tangencial y la Categoría II (5-20 poros/ mm^2) para la frecuencia de poros establecidas por la IAWA (1989).

El promedio tangencial de poros determinado es cercano a los promedios de 130,17 μm y 132,39 μm obtenidos por Ramos (2011) y Verocay Da Silva (2022) respectivamente. Sin embargo, es superior a los promedios obtenidos por Silvestre y Torres (2003), Mendoza y Rava (2009) y Monteoliva *et al.* (2015) de 96,82 μm , 104,40 μm y 115,46 μm .

La frecuencia de poros promedio obtenida en los ensayos se ubica dentro del rango de promedios de 8,34 a 14,43 poros/mm², obtenidos por Verocay Da Silva (2022), Mendoza y Rava (2009), Silvestre y Torres (2003) y Monteoliva *et al.* (2015).

La diferencia intraespecífica de las características anatómicas puede deberse a factores como la diferencia del lugar de crecimiento, como consecuencia de las diferentes condiciones ambientales que generan los gradientes de humedad y precipitación (Garzón y Salinas, 2017). Así como por la sección del fuste de la cual son extraídas las muestras utilizadas en cada estudio (Ramos *et al.*, 2011).

El tamaño, disposición y cantidad de poros en la madera se relacionan con la facilidad con la que el adhesivo penetra dentro de su estructura interna. Pereira *et al.* (2007) y Albino *et al.* (2012), determinaron en sus estudios en madera de eucalipto, que los parámetros anatómicos de principal influencia en la resistencia al cizallamiento y el porcentaje de falla en la madera son el diámetro y la frecuencia de poros.

Albino *et al.* (2012), indican que poros más grandes y en mayor cantidad facilitan un mayor ingreso del adhesivo, permitiendo una adhesión más fuerte y, por lo tanto, una mayor resistencia al cizallamiento de la junta encolada. Sin embargo, poros demasiado grandes pueden generar una línea de cola muy delgada y de baja resistencia.

4.2. Propiedades físicas de los residuos de madera

Los resultados del cálculo del contenido de humedad, densidad básica y densidad aparente de los residuos de madera se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados de contenido de humedad, densidad básica y aparente de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Propiedad física	Promedio	Mínimo	Máximo	C.V. *
Contenido de Humedad (%)	13,31	12,18	14,23	4,09
Densidad aparente CH=12% (g/cm ³)	0,62	0,50	0,70	9,88
Densidad básica (g/cm ³)	0,55	0,45	0,62	9,83

*C. V: Coeficiente de variación en %

4.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad promedio de los residuos de madera fue de 13,31 %. Este valor se ubica dentro del rango de 5 a 14 % (preferiblemente de 7 a 10%), recomendados para el adhesivo PVA 3339 (Akzo Nobel Perú S.A.C., 2016) y de 8 a 15 %, recomendados para el sistema EPI 1911 – HARDENER (Akzo Nobel Perú S.A.C., 2010). La ficha técnica del adhesivo AQUENCE DL 246W no recomienda un rango específico de humedad de la madera para su aplicación; sin embargo, Vick (1999) indica que en el rango de 6 a 14 % de contenido de humedad los adhesivos se unen satisfactoriamente.

La importancia del control del contenido de la humedad de la madera antes del encolado recae en su relación con la variación dimensional, la cual puede generar tensiones en la línea de cola (Marra, 1992). Así mismo, esta propiedad influye en la tasa de absorción del adhesivo por la madera y, por lo tanto, también en la velocidad del curado y solidificación del adhesivo (Iwakiri, 2005).

4.2.2. Densidad

La densidad básica media calculada en el presente estudio es cercana al valor obtenido por González *et al.* (2006) de 0,59 g/cm³ en individuos de *E. grandis* de 17 años. Así mismo, Rocha (2000), Anjos (2013) y Mendoza y Rava (2009), obtuvieron una densidad básica media

de 0,47 g/cm³ en individuos de 12 años; 0,43 g/cm³ en individuos de 11,5 años y 0,44 g/cm³ en individuos de 8 años, respectivamente. Con respecto a la densidad aparente (CH=12%), el valor calculado en este estudio es superior a 0,46 g/cm³ determinado por Arango y Tamayo (2008) en clones de 8 años. Las variaciones en los valores de densidad pueden atribuirse a la diferencia de edad entre los individuos que fueron objeto de estudio en cada caso.

La densidad es considerada como un indicador de otras propiedades de la madera, tales como la variación dimensional, trabajabilidad, resistencia mecánica, entre otros. Iwakiri (2005), señala que la densidad presenta una relación inversa con la porosidad, siendo que maderas de menor densidad presentan más espacios porosos y permiten una mayor penetración del adhesivo en su estructura interna. El mismo autor menciona que la densidad también se relaciona con la variación dimensional y que, con los cambios en el contenido de humedad, maderas de mayor densidad pueden presentar una mayor variación en sus dimensiones, generando más tensiones en la línea de cola.

4.2.3. Variación dimensional

Los resultados de la evaluación de las contracciones máximas tangencial (βT), radial (βR), longitudinal (βL) y volumétrica (βV), así como el coeficiente anisotrópico (T/R) de los residuos de madera se indican en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados de contracción máxima y coeficiente de anisotropía de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

	Promedio	Mínimo	Máximo	C.V. *
βT (%)	8,05	6,43	9,25	10,45
βR (%)	5,01	4,22	6,32	10,96
βL (%)	0,28	0,19	0,40	19,07
βV (%)	12,77	11,14	14,04	7,04
Coeficiente anisotrópico (T/R)	1,62	1,27	1,97	14,14

*C. V: Coeficiente de variación en %

Los valores promedio de contracción máxima tangencial, radial, longitudinal y volumétrica determinados fueron de 8,05 %, 5,01 %, 0,28 % y 12,77 % respectivamente.

Hoffmeyer (1995) citado por Calvo *et al.* (2007), menciona que, para fines prácticos, el hinchamiento y la contracción máxima en dirección tangencial puede considerarse igual al doble de la experimentada en la dirección radial, mientras que en la dirección longitudinal usualmente alcanza valores de hasta más de veinte veces menores.

Los resultados de contracción máxima obtenidos en cada plano de corte se encuentran dentro del rango de valores obtenidos por Silvestre y Torres (2003), Gonçalves *et al.* (2006) y Sánchez *et al.* (2005). Estos autores determinaron un rango valores de 7,79 % a 10,86 % para la contracción máxima tangencial, de 3,97 % a 6,86 % para la contracción máxima radial y de 12,64 % a 17,26 % para la contracción máxima volumétrica. Sánchez *et al.* (2005), indica una contracción máxima longitudinal de 0,28 %.

Respecto al coeficiente anisotrópico, Coronel (1994) citado por Calvo *et al.* (2007), menciona que maderas con coeficientes que se encuentren comprendidos entre 1,2 y 1,5 pueden considerarse maderas muy estables, mientras que en el rango de 1,6 a 1,9 se clasifican como normales y las que poseen coeficientes mayores a 2,0, son maderas que suelen presentar dificultades para determinados usos. Para este estudio, la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden se clasifica como normal con un coeficiente de anisotropía de 1,62, el cual se ubica entre el coeficiente anisotrópico de 1,58 obtenido por Gonçalves *et al.* (2006) y el 2,1 calculado por Sánchez *et al.* (2005) para la misma especie.

Prata (2010), indica que el contenido de humedad de la madera puede variar a causa de las condiciones climáticas en el lugar de uso final, en el cual tendrá que alcanzar el punto de equilibrio con el ambiente. En este sentido, si la variación del contenido de humedad fuese alta y la madera tiene un elevado coeficiente anisotrópico, se pueden generar deformaciones en el tablero, a pesar de haberse seguido las condiciones óptimas de fabricación.

4.3. Propiedades químicas de los residuos

Los resultados de la evaluación de las propiedades químicas de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden se exponen en la Tabla 7.

Tabla 7: Valores promedio de las propiedades químicas de los residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Especie	pH	Extractivos totales (%)	Cenizas (%)
<i>Eucalyptus grandis</i>	4,39 (0,23)	2,43 (5,45)	0,25 (6,82)

Los valores entre paréntesis representan el coeficiente de variación en %

El valor de pH promedio obtenido para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden fue de 4,39, el cual se encuentra dentro del rango de 3 a 6 indicado por Iwakiri (2005) para esta propiedad de la madera. Así mismo, Coello (2006) en su estudio sobre la albura y el duramen de individuos de siete años de tres especies de eucaliptos (*E. citriodora*, *E. robusta* y *E. saligna*), obtuvo un rango de valores de pH de 3,04 a 4,83. Según Costa (2006), una madera de pH ácido puede acelerar la polimerización de un adhesivo alcalino, reduciendo el humedecimiento, flujo y penetración de este. Lo contrario sucede con un adhesivo de pH ácido, donde se generaría una demora del proceso de curado.

El valor promedio de extractivos totales resultante en este estudio es de 2,43 %. Para la misma especie, Sarto y Sansígolo (2010) registraron un contenido de extractivos totales de 2,68 %, mientras que Leal *et al.* (2011) registraron un valor de 1,10 % para el mismo parámetro. Costa (2006) señala que la presencia, cantidad y tipo de extractivos en la madera afectan la adhesión, ya que la presencia de éstos en la superficie genera un pobre humedecimiento del adhesivo. Por su parte, Prata (2010) indica que maderas con un alto contenido de extractivos tienen una baja permeabilidad.

En esta investigación se determinó un contenido de cenizas promedio de 0,25 %. Este valor se encuentra entre el valor promedio de 0,17 % obtenido por Trugilho *et al.* (2003) en individuos

de *E. grandis* y *E. saligna*, y los valores promedio de 0,41 % y 0,45 % obtenidos por Rocha *et al.* (1986) y Leal *et al.* (2011) en sus estudios sobre la química de la madera de *E. grandis*. Iwakiri (2005) indica que el contenido de cenizas no tiene influencia directa en la calidad del encolado; sin embargo, puede alterar el pH de la madera.

4.4. Propiedades de los adhesivos

Los resultados de la evaluación de las propiedades químicas de los adhesivos utilizados en el presente estudio se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Valores promedio de las propiedades químicas de los adhesivos utilizados

Adhesivo	Viscosidad (cP)	Contenido de sólidos (%)	pH
PVA D3	11600 (9,47)	54,18 (0,14)	2,89 (0,80)
PVA D4	6083 (6,28)	47,50 (0,27)	3,69 (0,56)
EPI	12850 (5,26)	45,40 (0,10)	6,89 (0,52)

Los valores entre paréntesis representan el coeficiente de variación en %

La viscosidad promedio obtenida para los adhesivos PVA D3, PVA D4 y EPI fueron de 11600 cP, 6083 cP y 12850 cP, respectivamente. La viscosidad de los adhesivos PVA D3 y EPI, se encuentran dentro de los rangos indicados por el proveedor, los cuales son de 7000 a 16000 cP para el PVA D3 (Akzo Nobel Perú S.A.C., 2016) y de 8000 a 15000 cP para el EPI (Akzo Nobel Perú S.A.C., 2010).

Por otro lado, la viscosidad promedio determinada para el adhesivo PVA D4 fue de 6083 cP, valor que se encuentra muy por encima del rango de 2700 a 3300 cP indicado por Henkel Chile Ltda. (2013). Cabe mencionar que este adhesivo fue suministrado por un representante comercial de la marca en Perú y no directamente por el fabricante, lo cual podría significar que ha transcurrido un periodo de tiempo más prolongado desde su producción hasta el momento de su aplicación, a diferencia de los adhesivos PVA D3 y EPI, los cuales fueron

suministrados directamente por el fabricante. Al respecto, Iwakiri (2005) indica que la viscosidad puede ser un criterio de “edad”, ya que con el tiempo esta aumenta hasta el punto de no ser adecuado para su utilización.

Almeida (2013), Bila (2014) y Lau (2017) registraron una viscosidad de 5700, 3879 y 2818 cP para el adhesivo PVA D3, mientras que para el EPI registraron valores promedio de 10080, 6310 y 10693 cP. Lau (2017) obtuvo una viscosidad de 1587 cP para el adhesivo PVA D4.

La viscosidad determinada para el adhesivo PVA D4 fue aproximadamente la mitad de las obtenidas en el caso de los adhesivos PVA D3 y EPI. La viscosidad puede afectar la calidad del encolado debido a su influencia en el grado de penetración y absorción del adhesivo en la madera. Adhesivos de baja viscosidad forman una línea de cola delgada de bajo desempeño, mientras que adhesivos con viscosidad elevada forman una línea de cola muy espesa, lo que genera una ligación insuficiente en el sistema madera-adhesivo-madera (Iwakiri, 2005).

Con respecto al promedio de contenido de sólidos obtenido, el valor de 47,50 % calculado para el adhesivo PVA D4 coincide con el rango de 44 a 50 % indicado en su ficha técnica (Henkel Chile Ltda., 2013). Por su parte, el fabricante Akzo Nobel Perú S.A.C. no precisa el contenido de sólidos de los adhesivos PVA D3 y EPI en sus fichas técnicas; sin embargo, Canchucaja (2020) registró un contenido de sólidos de 49,89 % y 46,12 % para estos adhesivos, los cuales también fueron suministrados por Akzo Nobel Perú S.A.C.

Almeida (2013), Bila (2014) y Lau (2017) registraron un contenido de sólidos de 54,42 %, 48,52 % y 50,2 % para el adhesivo PVA D3, mientras que para el EPI registraron valores promedio de 57,82 %, 45,3 % y 49,6 %. Lau (2017) obtuvo un contenido de sólidos de 51,0 % para el adhesivo PVA D4.

Endo *et al.* (2017), indican que un mayor contenido de sólidos es beneficioso para el encolado, ya que tiene relación con un mayor número de componentes formando ligaciones adhesivas al sustrato. Así mismo, el porcentaje de sólidos se relaciona con la velocidad de formación de la línea de cola, de manera que un menor contenido de sólidos implica un mayor contenido de agua y, por lo tanto, un mayor tiempo de prensado debido al mayor tiempo requerido para la evaporación del agua.

El pH promedio obtenido fue de 2,89 y 3,69 para el PVA D3 y PVA D4 respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los rangos indicados por los fabricantes de 2 a 4 para el PVA D3 (Akzo Nobel Perú S.A.C., 2016), y de 3,6 a 4,1 para el PVA D4 (Henkel Chile Ltda., 2013). Además, para el adhesivo EPI se obtuvo un pH de 6,89, el cual es ligeramente inferior al rango de 7 a 8,5 indicado por el fabricante Akzo Nobel Perú S.A.C. (2010).

Almeida (2013), Bila (2014) y Lau (2017) registraron un pH promedio de 4,0, 3,72 y 2,80 para el adhesivo PVA D3, mientras que para el EPI registraron valores promedio de 6,5, 7,58 y 7,51. Lau (2017) obtuvo un pH promedio de 2,97 para el adhesivo PVA D4.

Iwakiri (2005), indica que los valores de pH del adhesivo no deben estar fuera del rango de 2,5 a 11, ya que esto puede resultar en la degradación de las fibras de la madera.

4.5. Resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas

En la Tabla 9 se presentan los valores promedio y 5° percentil inferior de la resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, así como los valores promedio del porcentaje de falla de madera determinados.

Tabla 9: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Pretratamiento	Adhesivo	Gramaje (g/m ²)	RC (MPa)	5° PI (MPa)	FM (%)	
AS	PVA D3	120	1,11 (39,92)	0,46	15,45	
		150	1,48 (26,81)	0,84	8,18	
		180	2,04 (13,08)	1,60	4,55	
	PVA D4	120	1,42 (34,88)	0,65	5,45	
		150	2,02 (21,32)	1,41	5,45	
		180	2,19 (23,99)	1,68	4,55	
	EPI	EPI	120	4,50 (27,38)	2,70	20,91
			150	4,12 (26,14)	2,59	27,27
			180	5,42 (17,39)	4,23	18,18
PVA D3		120	0,40 (15,82)	0,33	5,00	
		150	0,55 (17,57)	0,48	4,44	
		180	1,29 (18,77)	1,06	3,00	
AH	PVA D4	150	1,68 (9,01)	1,54	0	
		180	1,85 (9,66)	1,62	2,00	
		120	2,93 (25,73)	2,13	2,00	
	EPI	150	3,41 (20,50)	2,63	8,00	
		180	3,83 (19,42)	2,88	2,00	
		120	2,93 (25,73)	2,13	2,00	

AS: para uso en ambiente seco; AH: para uso en ambiente húmedo; RC: resistencia al cizallamiento; PI: percentil inferior; FM: falla de la madera. Los valores entre paréntesis son los coeficientes de variación en %.

No se registraron valores de resistencia al cizallamiento para las probetas encoladas con adhesivo PVA D3 y gramaje 180 g/m² que fueron sometidas a pretratamiento para uso en ambiente húmedo, debido a que estas se despegaron mientras se encontraban sumergidas en el agua hirviendo y no se pudo realizar el ensayo de esfuerzo cortante.

En la Tabla 9 se aprecia que las juntas encoladas con adhesivo EPI, con los tres gramajes estudiados, ensayadas luego del pretratamiento para uso en ambiente seco, así como las

probetas encoladas con adhesivo EPI, con gramaje 150 g/m² y 180 g/m², ensayadas después del pretratamiento para uso en ambiente húmedo, sí cumplen con el valor mínimo de 2,5 MPa para el 5° percentil inferior mencionado en la norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2023), por lo que pueden ser utilizadas en la manufactura de tableros EGP para uso no estructural en ambiente seco.

Asimismo, se observa que las juntas encoladas con los adhesivos PVA D3 y PVA D4, con los tres gramajes estudiados y ensayadas luego de los pretratamientos para uso en ambiente seco y húmedo, así como con el adhesivo EPI con gramaje 120 g/m², ensayadas luego del pretratamiento para uso en ambiente húmedo, no cumplen con el requisito mínimo mencionado en la norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2023).

Se obtuvo un rango de porcentajes de falla de madera promedio desde 0 hasta 27,27 %. La norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2023) indica que el porcentaje medio de falla de madera para tableros de madera maciza monocapa de uso no estructural debe ser mayor del 40 %, excepto si la densidad aparente es mayor a 0,60 g/cm³. En el presente estudio se determinó una densidad aparente de 0,62 g/cm³ para la especie utilizada, por lo que este parámetro no fue determinante en la evaluación de la calidad de las juntas encoladas.

En la Figura 14 se muestra, a un nivel de confianza (NC) del 95 %, el diagrama de cajas de los valores de resistencia al cizallamiento de las juntas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden encoladas con diferentes adhesivos y gramajes, agrupados de acuerdo al pretratamiento aplicado.

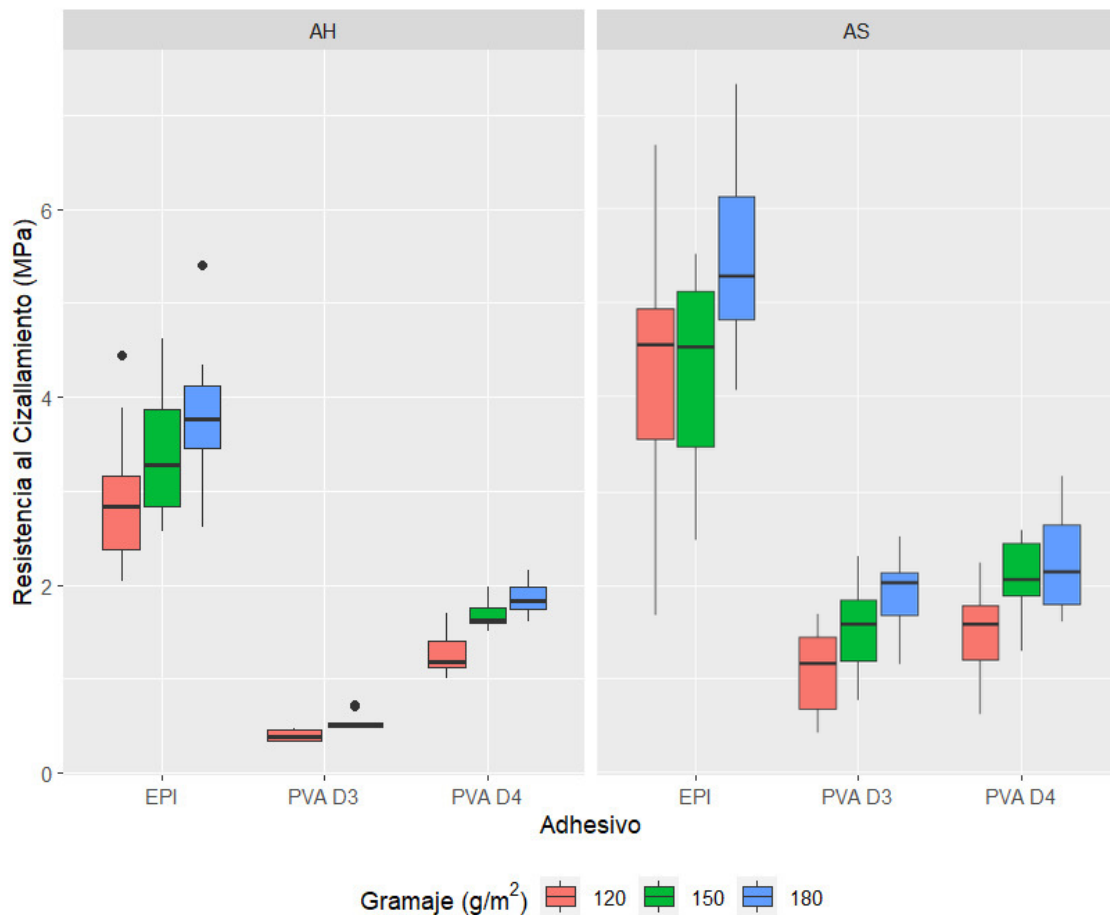


Figura 14: Diagrama de cajas (NC 95%) de la resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas de residuos de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Con respecto al efecto de los pretratamientos, en la Figura 14 se observa que los valores promedio de resistencia al cizallamiento obtenido, después del pretratamiento para uso en ambiente húmedo, son inferiores a los obtenidos después del tratamiento para uso en ambiente seco.

Bila (2014), en su estudio sobre juntas encoladas con seis especies tropicales de la amazonia, observó el efecto de la humedad sobre la adhesión y señala que el pretratamiento de inmersión durante 24 horas en agua a temperatura ambiente reduce la adhesión y cohesión de los adhesivos, provocando que la línea de cola tenga una resistencia inferior en comparación a la resistencia obtenida en juntas que no son sometidas a ningún pretratamiento.

Fonte (2016) y Lau (2017), evaluaron la producción de tableros EGP con madera de *Cryptomeria japonica* y *Populus deltoides*, usando diferentes adhesivos y aplicando los pretratamientos para uso en ambiente seco y húmedo. Estos autores encontraron una influencia negativa de los pretratamientos sobre la resistencia al cizallamiento, en donde las juntas que fueron sometidas al pretratamiento para uso en ambiente húmedo obtuvieron una menor resistencia con respecto a las juntas sometidas al pretratamiento para uso en ambiente seco.

Clauß *et al.* (2011), evaluaron el efecto del incremento de la temperatura sobre la resistencia al cizallamiento de juntas encoladas con diferentes adhesivos. En ese estudio, la resistencia de las juntas encoladas con adhesivo PVA D3 sufrió una reducción drástica a partir de los 50°C, mientras que la resistencia del adhesivo EPI mantuvo un comportamiento estable hasta los 150°C y empezó a disminuir cuando fue sometido a temperaturas más altas. Estos autores indican que la variación de la temperatura está ligada al cambio en el contenido de humedad de la madera y la consecuente variación dimensional, la cual genera tensiones que merman la resistencia de la línea de cola.

Por su parte, Bomba *et al.* (2014), evaluaron mediante ensayos de tracción transversal el comportamiento de un adhesivo PVA D4 sometido los pretratamientos para uso en ambiente seco y ambiente húmedo. Encontraron que las probetas que no fueron sometidas a ningún pretratamiento soportaron cargas superiores a 10 MPa, mientras que las probetas sometidas a los pretratamientos solo soportaron cargas por debajo de 3 MPa.

En lo que respecta a los adhesivos, se observa que en ambos pretratamientos el adhesivo EPI obtuvo los promedios más altos de resistencia, seguido por el adhesivo PVA D4 y finalmente el adhesivo PVA D3.

Bila (2014), en su evaluación de la calidad de juntas encoladas de seis especies de madera tropicales de la amazonia y Canchucaja (2020), en su estudio sobre la viabilidad técnica del uso de residuos de madera para la producción de tableros EGP, observaron que luego del pretratamiento para uso en ambiente seco, las juntas encoladas con adhesivo EPI presentaron mayor resistencia que las juntas encoladas con PVA.

Forestry Product Laboratory (1999) citado por Prata (2010), estableció una clasificación de ambiente de uso para tableros de madera según el tipo de adhesivo aplicado, en la cual indica que los tableros de madera encolados con adhesivo EPI son aptos para el uso estructural en ambiente exterior, mientras que los tableros encolados con adhesivo PVA se limitan solo para el uso no estructural en interiores.

De los tres adhesivos estudiados, el adhesivo EPI obtuvo el contenido de sólidos más bajo y la viscosidad más alta, lo que podría significar una menor cantidad de elementos formando uniones (Bila, 2014) y una mayor dificultad de penetración dentro de la estructura interna de la madera (Iwakiri, 2005); sin embargo, obtuvo los valores de resistencia al cizallamiento más altos. Iwakiri (2005) menciona que, por su naturaleza termofija, este tipo de adhesivos sufren una transformación física y química irreversible formando uniones rígidas e insolubles. Así mismo, Vick y Okkonen (2000) indican que los grupos isocianatos (NCO) se enlazan a los OH libres de la madera produciendo una adhesión química de alta resistencia a la humedad y el calor.

En contra parte, el endurecimiento del PVA se genera mediante la evaporación del agua contenida en el adhesivo, tras la cual se forma una línea de cola sólida (Frihart, 2005). En ese sentido, se forma una adhesión mecánica de menor resistencia que la adhesión química obtenida con el adhesivo EPI. Así mismo, la naturaleza termoplástica del PVA hace que este adhesivo no tenga buen desempeño en ambientes con altos niveles de humedad y temperatura, debido a que se rehidratan con facilidad y no son recomendables para uso en exteriores (De Conti, 2011).

Adicionalmente, en relación al gramaje, se observa que juntas encoladas con un gramaje mayor generalmente obtuvieron una mayor resistencia al cizallamiento. Esto se asemeja a lo encontrado por Fonte (2016), quien evaluó el desempeño de juntas de *Cryptomeria japonica* encoladas con adhesivos PVA D3, PVA D4 y EPI y cinco gramajes (100, 120, 140, 160 y 180 g/m²), obteniendo altos coeficientes positivos de correlación entre el gramaje y la resistencia al cizallamiento

4.5.1. Con pretratamiento para uso en ambiente seco

Para el análisis de los valores de resistencia al cizallamiento obtenidos por las probetas sometidas al pretratamiento para uso en ambiente seco, se realizó una transformación box cox simplificada con exponente λ igual a 0,5 sobre la variable respuesta.

Para el estadístico W de Shapiro Wilk se obtuvo un valor de 0,98 (p-valor igual a 0,06) y un chi cuadrado de 3,68 (p-valor igual a 0,06). El ANOVA indicó que la influencia de la interacción entre las variables adhesivo y gramaje en la resistencia al cizallamiento no es significativa (F=2,26 y p-valor=0,07).

En la Tabla 10 se muestran, agrupados por adhesivos, los valores promedio y los coeficientes de variación de la resistencia de las juntas encoladas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente seco.

Tabla 10: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden con pretratamiento para uso en ambiente seco agrupados por adhesivo

Adhesivo	Resistencia al cizallamiento (MPa)	
	Promedio	C.V.*
PVA D3	1,54	34,50
PVA D4	1,87	30,70
EPI	4,68	25,50

*C. V: Coeficiente de variación en %

En la Tabla 10 se observa que el adhesivo que obtuvo el promedio más alto de resistencia fue el EPI (4,68 MPa), seguido por el adhesivo PVA D4 (1,87 MPa) y por último el adhesivo PVA D3 (1,54 MPa), entre los cuales existe diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey realizada. Así mismo, se observan coeficientes de variación superiores al 25%, lo cual

puede deberse a que se incluyen los valores obtenidos para los tres gramajes en estudio, los cuales influyen en la resistencia de la línea de cola, generando un rango de valores más amplio.

Aplicando el mismo pretratamiento, França *et al.* (2020) también observaron una resistencia superior del adhesivo EPI con respecto al PVA en juntas de madera de *Eucalyptus sp.* encoladas con diferentes adhesivos y planos de corte. Dichos autores determinaron una resistencia promedio de 5,90 MPa y 7,75 MPa para los adhesivos PVA y EPI, respectivamente. Además, el 5° percentil inferior determinado para cada adhesivo superó el mínimo de 2,5 MPa requerido por la norma UNE-EN 13353 (AENOR, 2023).

Por su parte, Trianoski *et al.* (2020), determinaron una resistencia promedio de 4,38 MPa y un 5° percentil inferior de 3,04 MPa en juntas encoladas de cinco especies de eucalipto, incluyendo individuos de *E. grandis* de siete años, aplicando adhesivo PVA D4 con diferentes gramajes y sometidas al mismo pretratamiento,

En la Tabla 11 se muestran, agrupados por gramaje, los valores promedio y coeficientes de variación de la resistencia de las juntas encoladas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente seco.

Tabla 11: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, con pretratamiento para uso en ambiente seco, por gramaje

Gramaje (g/m ²)	Resistencia al cizallamiento (MPa)	
	Promedio	C.V.*
120	2,34 a	74,30
150	2,54 a	52,90
180	3,22 b	53,00

*C. V: Coeficiente de variación en %

En cada columna, los promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, con un nivel de confianza de 95%, para la prueba Tukey.

En la Tabla 11 se observa que el gramaje que obtuvo el promedio más alto de resistencia al cizallamiento fue 180 g/m² (3,22 MPa), seguido por el gramaje 150 g/m² (2,54 MPa) y por último el gramaje 120 g/m² (2,34 MPa). Además, se observan coeficientes de variación elevados, lo cual puede atribuirse al hecho de que se incluyen los valores obtenidos para los tres adhesivos en estudio, los cuales tienen diferentes niveles de resistencia y generan un rango de valores más amplio.

Según la prueba Tukey realizada, no existe diferencia estadística significativa entre la resistencia al cizallamiento promedio obtenida con los gramajes 120 y 150 g/m². Sin embargo, estas son inferiores y si presentan diferencia estadística significativa con respecto a la resistencia promedio obtenida con el gramaje 180 g/m².

Iwakiri *et al.* (2019), evaluaron el uso de *E. camaldulensis* y *E. urophylla* para la producción de tableros EGP con adhesivos PVA y EPI, aplicando gramajes de 150 g/m² (6,58 MPa) y 180 g/m² (6,72 MPa). Así mismo, Trianoski *et al.* (2020), evaluaron la calidad de juntas de *E. grandis* encoladas con PVA D4 y gramajes de 150 g/m² (4,72 MPa) y 200 g/m² (4,10 MPa). En ninguno de estos estudios se observó una diferencia estadística significativa de los efectos del gramaje sobre la resistencia.

Los porcentajes de falla de la madera obtenidos para las juntas encoladas sometidas a este pretratamiento fueron desde 4,55 % hasta 27,27 %. Iwakiri *et al.* (2019), obtuvieron un rango de 6 a 18 % para el porcentaje de falla de juntas de *E. camaldulensis* y *E. urophylla*, mientras que Trianoski *et al.* (2020), registraron un porcentaje de falla de madera promedio de 3 % en juntas de *E. grandis*.

a. Correlación entre la resistencia al cizallamiento con la densidad básica y el contenido de humedad

Se estudió la correlación existente entre la resistencia al cizallamiento con la densidad básica (Figura 15) y con el contenido de humedad (Figura 16) de las probetas antes de ser sometidas a pre tratamiento para uso en ambiente seco.

En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis de correlación entre la resistencia al cizallamiento y la densidad básica, se observa que el coeficiente de Spearman (Rho) varia en un rango desde -0,31 hasta 0,46, pudiendo indicar una correlación de baja a moderada; sin embargo, los p-valor mayores a 0,05, indican que esta correlación no es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95 %.

Asimismo, en la Tabla 13 se muestran los resultados del análisis de correlación entre la resistencia al cizallamiento y el contenido de humedad, se observa que el coeficiente de correlación varia en un rango desde -0,55 hasta 0,12; sin embargo, la correlación no es estadísticamente significativa (p-valor < 0,05).

Tabla 12: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia al cizallamiento (RC) y la densidad básica (DB), de las probetas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente seco

Adhesivo	Gramaje (g/m²)	Rho	P-valor	Conclusión
PVA D3	120	-0,22	0,499	No existe relación entre RC y DB
	150	-0,23	0,459	No existe relación entre RC y DB
	180	-0,31	0,331	No existe relación entre RC y DB
PVA D4	120	0,18	0,554	No existe relación entre RC y DB
	150	0,46	0,134	No existe relación entre RC y DB
	180	-0,10	0,751	No existe relación entre RC y DB
EPI	120	0,09	0,765	No existe relación entre RC y DB
	150	-0,20	0,517	No existe relación entre RC y DB
	180	-0,13	0,700	No existe relación entre RC y DB

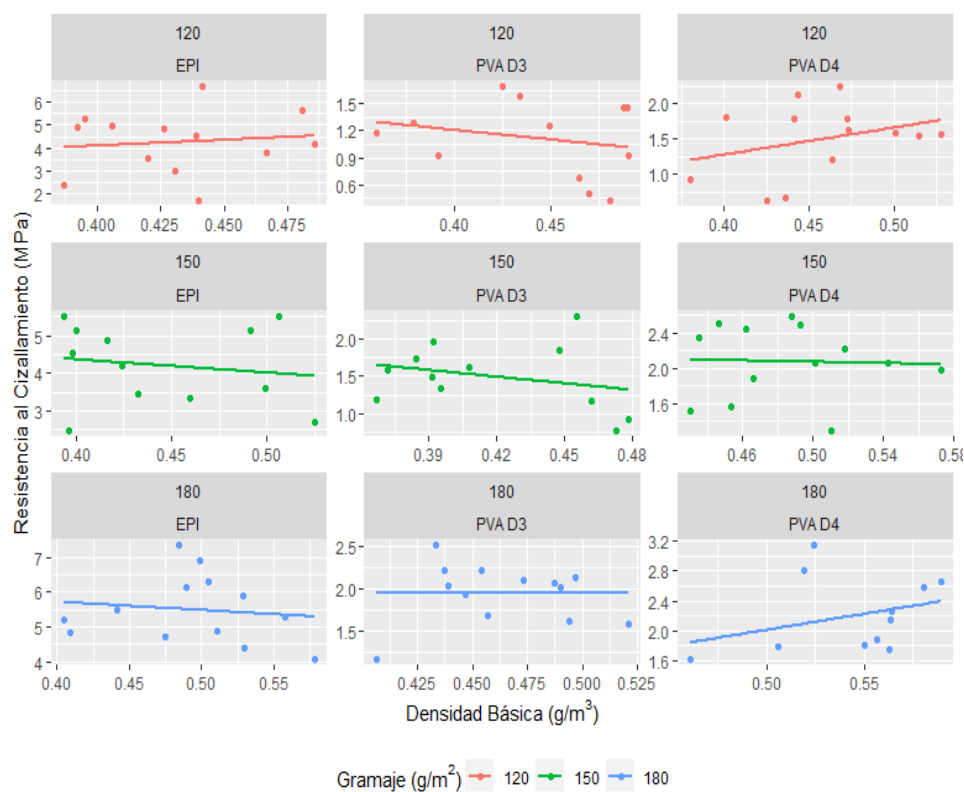


Figura 15: Gráfico de correlación (NC 95%) entre la resistencia al cizallamiento y la densidad básica

Tabla 13: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia al cizallamiento (RC) y el contenido de humedad (CH), de las probetas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente seco

Adhesivo	Gramaje (g/m ²)	Rho	P-valor	Conclusión
PVA D3	120	-0,55	0,067	No existe relación entre RC y CH
	150	-0,04	0,906	No existe relación entre RC y CH
	180	-0,29	0,366	No existe relación entre RC y CH
PVA D4	120	0,12	0,710	No existe relación entre RC y CH
	150	-0,37	0,237	No existe relación entre RC y CH
	180	-0,16	0,604	No existe relación entre RC y CH
EPI	120	-0,01	0,993	No existe relación entre RC y CH
	150	-0,16	0,604	No existe relación entre RC y CH
	180	-0,14	0,667	No existe relación entre RC y CH

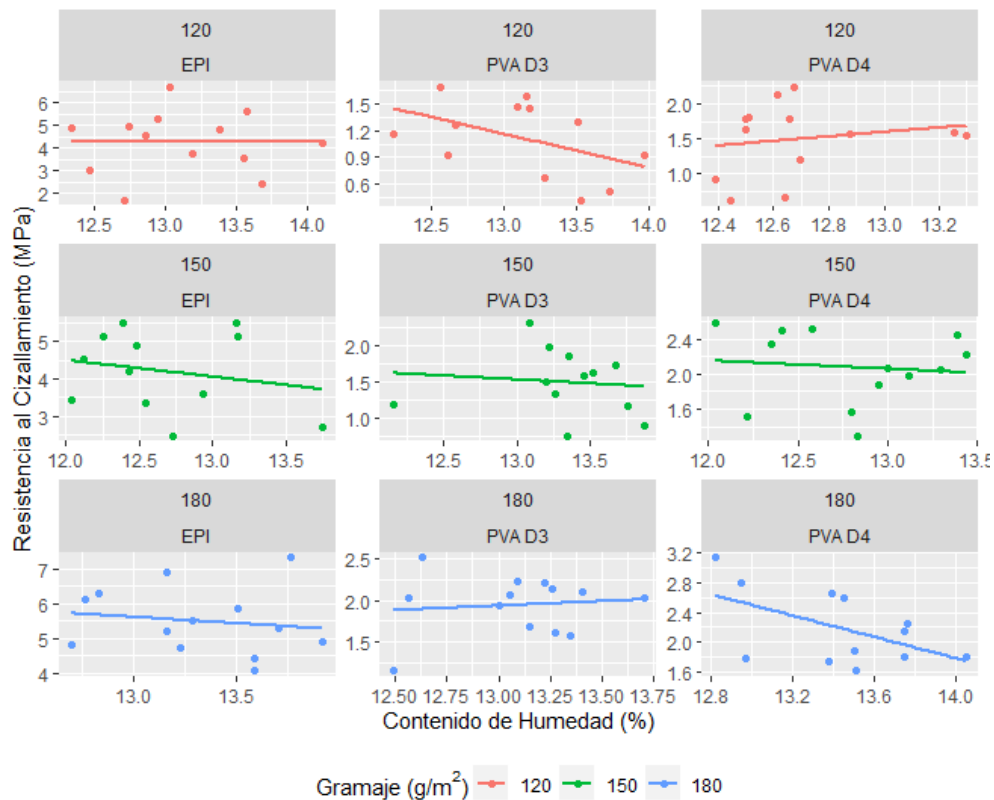


Figura 16: Gráfico de correlación (NC 95%) entre la resistencia al cizallamiento y el contenido de humedad

Canchucaja (2020), en su evaluación de la calidad de juntas encoladas con tres especies forestales tropicales, obtuvo una correlación negativa moderada entre la densidad básica y la resistencia de las juntas encoladas con PVA, mientras que la resistencia de las juntas encoladas con EPI mostró una correlación positiva de moderada a muy fuerte.

Bila (2014), estudiando la calidad de juntas encoladas de seis especies tropicales, encontró para el adhesivo PVA una fuerte correlación positiva entre la densidad aparente y la resistencia, mientras que para el adhesivo EPI determinó una correlación positiva de moderada a fuerte.

Canchucaja (2020), también evaluó la correlación entre la resistencia y el contenido de humedad, determinando una correlación negativa en juntas encoladas con adhesivo PVA y EPI; sin embargo, señala que individualmente cada especie estudiada presentó su propio nivel de correlación.

Con respecto a la densidad, Vick (199) indica que esta propiedad tiene una relación directa con la resistencia al cizallamiento, es decir, que el incremento de la densidad tiene que ver con una mayor resistencia al cizallamiento, al menos hasta los $0,8 \text{ g/cm}^3$, punto a partir del cual la resistencia empieza a disminuir. En la Tabla 12 se observa que, aunque no son significativos, los coeficientes de correlación son en su mayoría de signo negativo, lo cual sugiere una relación inversa entre ambas propiedades.

Por su parte, Selbo (1975) señala que un contenido de humedad de la madera demasiado bajo o uno muy alto, puede resultar en una baja resistencia al cizallamiento. En la Tabla 13, los coeficientes de correlación obtenidos para este estudio sugieren una correlación inversa muy baja; sin embargo, esta no es estadísticamente significativa.

4.5.2. Con pre tratamiento para uso en ambiente húmedo

Para el análisis de los valores de resistencia al cizallamiento obtenidos de las probetas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente húmedo, se realizó un cambio de base aplicando el logaritmo neperiano sobre la variable respuesta.

Para el estadístico W de Shapiro Wilk se obtuvo un valor de 0,98 (p-valor igual a 0,41) y un chi cuadrado de 1,60 (p-valor igual a 0,21). El ANOVA indicó que la influencia de la interacción entre las variables adhesivo y gramaje no es significativa en la resistencia al cizallamiento ($F=0,78$ y $p\text{-valor}=0,51$).

En la Tabla 14 se muestran, agrupados por adhesivos, los valores promedio y los coeficientes de variación de la resistencia de las juntas encoladas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente húmedo.

Tabla 14: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden con pretratamiento para uso en ambiente húmedo y por adhesivo

Adhesivo	Resistencia al cizallamiento (MPa)	
	Promedio	C.V.*
PVA D3	0,48	23,35
PVA D4	1,61	19,32
EPI	3,39	23,63

*C. V: Coeficiente de variación en %

En la Tabla 14 se observa que la resistencia de los adhesivos mantiene un comportamiento similar a lo observado en el tratamiento para uso en ambiente seco, siendo que el adhesivo EPI (3,39 MPa) obtuvo el promedio más alto de resistencia, seguido por el adhesivo PVA D4 (1,61 MPa) y por último el adhesivo PVA D3 (0,48 MPa), entre los cuales existe diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey realizada.

Canchucaja (2020), en su evaluación de la resistencia de juntas encoladas con tres especies tropicales, reportó que todas las probetas encoladas con PVA D3 se despegaron durante el pretratamiento para uso en ambiente húmedo. Por su parte, Almeida (2013) registró valores de resistencia desde 0,25 MPa hasta 0,90 MPa, en juntas elaboradas con especies tropicales encoladas con PVA D3, rango dentro del cual se encuentra la resistencia promedio obtenida para el mismo adhesivo en el presente estudio.

Trianoski *et al.* (2020) registraron un valor de resistencia promedio de 2,29 MPa para juntas de *E. grandis* encoladas con PVA D4; asimismo, Fonte (2016), obtuvo una resistencia promedio de 1,8 MPa en juntas de *Cryptomeria japonica* encoladas con el mismo adhesivo. En ambos estudios, la resistencia del adhesivo PVA D4 fue superior al promedio obtenido en esta investigación.

Con respecto al adhesivo EPI, el promedio obtenido se encuentra dentro de los rangos encontrados por Canchucaja (2020) (desde 3,12 MPa hasta 4,65 MPa) y por Almeida (2013) (desde 0,05 MPa hasta 5,23 MPa).

En la Tabla 15 se muestran, agrupados por gramaje, los valores promedio y coeficientes de variación de la resistencia de las juntas encoladas sometidas a pretratamiento para uso en ambiente húmedo.

Tabla 15: Resultados de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola de juntas encoladas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden con pretratamiento para uso en ambiente húmedo y por gramaje

Gramaje (g/m ²)	Resistencia al cizallamiento (MPa)	
	Promedio	C.V.*
120	1,62	71,17
150	1,94	66,10
180	2,84	40,23

*C. V: Coeficiente de variación en %

En la Tabla 15 se observa que el gramaje que obtuvo el promedio más alto de resistencia al cizallamiento fue 180 g/m² (2,84 MPa), seguido por el gramaje 150 g/m² (1,94 MPa) y por último el gramaje 120 g/m² (1,62 MPa). Asimismo, se determinó mediante una prueba de Tukey que existe diferencia estadística significativa entre la resistencia promedio obtenida por cada gramaje.

Almeida (2013), estudiando la resistencia de juntas encoladas con PVA D3 aplicando gramajes de 150 g/m² y 200 g/m², encontró resistencias muy bajas que no presentan diferencia estadística significativa entre sí.

Trianoski *et al.* (2020), evaluaron la calidad de juntas de *E. grandis* encoladas con PVA D4 y gramajes de 150 g/m² (2,32 MPa) y 200 g/m² (2,26 MPa), señalando que no existe diferencia estadística entre la resistencia promedio obtenida por cada gramaje.

Almeida (2013), usando adhesivo EPI, encontró que la resistencia promedio obtenida aplicando gramaje 200 g/m² fue superior a las juntas donde se aplicó gramaje 150 g/m². Esto coincide a lo encontrado por Fonte (2016), quien estudio la resistencia de juntas aplicando cinco gramajes diferentes (100, 120, 1460, 160 y 180 g/m²), obteniendo una tendencia creciente de la resistencia conforme al incremento del gramaje.

V. CONCLUSIONES

- Las juntas de madera de la especie *E. grandis* encoladas con adhesivo EPI, con los tres gramajes estudiados y ensayadas, luego del pretratamiento para uso en ambiente seco, y las probetas encoladas con adhesivo EPI, con gramaje 150 g/m² y 180 g/m², ensayadas después del pretratamiento para uso en ambiente húmedo, sí cumplen con el valor mínimo de 2,5 MPa para el 5° percentil inferior mencionado en la norma UNE-EN 13353.
- Las juntas de madera de la especie *E. grandis*, encoladas con los adhesivos PVA D3 y PVA D4, con los tres gramajes estudiados y ensayadas luego de los pretratamientos para uso en ambiente seco y húmedo, así como con el adhesivo EPI con gramaje 120 g/m², ensayadas luego del pretratamiento para uso en ambiente húmedo, no cumplen con el requisito mínimo estipulado en la norma UNE-EN 13353.
- Las juntas encoladas de la madera *E. grandis*, cumplen con el requisito de resistencia de falla en la madera para los ensayos de cizallamiento indicado en la norma UNE-EN 13353, ya que muestran una densidad aparente mayor a 0,60 g/cm³.
- Para uso no estructural seco, se propone el uso del adhesivo EPI para el encolado lateral, utilizando un gramaje de 120 g/m², a fin de reducir los costos de fabricación.
- Para uso no estructural húmedo, por fines económicos, se plantea el uso del adhesivo EPI para el encolado lateral, utilizando un gramaje de 150 g/m².

VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios sobre la elaboración de juntas encoladas aplicando diferentes niveles de presión específica.
- Realizar estudios sobre la elaboración de juntas encoladas con adhesivos de mayor resistencia a la humedad y altas temperaturas.
- Realizar estudios sobre la elaboración de empalmes finger joint para culminar con la evaluación de la calidad del encolado de tableros EGP con el uso de residuos de *E. grandis*.
- Realizar estudios sobre la factibilidad económica de la fabricación y comercialización de tableros EGP con el uso de residuos de *E. grandis*.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Akzo Nobel Perú S.A.C. (2010). Información del producto: EPI 1911 con HARDENER 1999. Versión 2010-04-30. Asia: Casco Adhesives.

Akzo Nobel Perú S.A.C. (2016). *Información del producto: PVAc 3339*. Versión 2016-05-10. Asia: Casco Adhesives.

Albino, V. C. S.; Mori, F. A.; Mendes, L. M. (2012). Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. *Ciência Florestal*, 22(4): 803-811.

Albuquerque, C. E. C. y Latorraca, J. V. (2000). Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. *Floresta e Ambiente*, 7(1): 158 – 166.

Almeida, V. C. (2013). *Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Almeida, C. C. F. (2015). *Avaliação da qualidade da colagem da madeira de Cupressus lusitanica Mill. para a produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panel - EGP)* (Tesis de maestría). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

American Society for Testing Materials (1998). *Annual Book of ASTM Standards: Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives* (ASTMD 1084-97). West Conshohocken: ASTM.

Anjos, R. A. M. dos (2013). *Estudo da qualidade da madeira serrada de três espécies de eucalipto* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Arango, B. y Tamayo, L. (2008). Densidad de la madera en clones de *Eucalyptus* por densitometría de rayos X. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (45): 87-99.

ARBORIZACIONES EIRL. (2018). *Informe Técnico: Capacitación y Extensión Forestal 2018*. Recuperado de: http://arborizaciones.com/pluginfile.php/251/mod_folder/content/0/Informe.Extensi%C3%B3n.Forestal-2018.ARBORIZACIONES.pdf?forcedownload=1

Asociación Española de Normalización y Certificación (1995). *Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte 1: Muestreo y despiece de probetas y expresión de resultados de ensayo* (UNE-EN 326-1). Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2006). *Adhesivos. Determinación del contenido en sólidos convencional y del contenido en sólidos a masa constante* (UNE-EN 827). Madrid, AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2007). *Tableros contrachapados. Calidad del encolado. Parte 1: Métodos de ensayo* (UNE-EN 314-1). Madrid, AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2009). *Tableros de madera maciza. Calidad de encolado. Método de ensayo* (UNE-EN 13354). Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2011). *Adhesivos. Determinación del pH* (UNE-EN 1245). Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2016). *Clasificación de adhesivos termoplásticos para madera de uso no estructural*. (UNE-EN 204). Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2023). *Tableros de madera maciza (SWP). Requisitos* (UNE-EN 13353). Madrid: AENOR.

- Bianche, J., Teixeira, A., Ladeira, J., Carneiro, A., Castro, R., y Della Lucia, R. (2017). Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus sp.* colado com diferentes adesivo e diferentes gramaturas. *Floresta e Ambiente*, 24(e00077114). doi: 10.1590/2179-8087.077114
- Bila, N. F. (2014). *Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da amazônia* (Tesis de maestria). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Blanco, M. E. (2014). *Formulación y caracterización de un adhesivo a partir de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) para su aplicación en cartón chip calibre 80, a escala laboratorio*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Bomba, J., Šedivka, P., Böhm, M. y Devera, M. (2014). Influence of Moisture Content on the Bond Strength and Water Resistance of Bonded Wood Joints. *BioResources*, 9(3): 5208-5218.
- Calvo, C. F., Cotrina, A. D., Cuffré, A. G., Ott, M., Piter, J. C. J., Stefani, P. M., Torran, E. A. y Vivian, A. (2007). Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera de *Eucalyptus grandis* de Argentina. *Madeira Arquitetura & Engenharia*, 8(20): 59-69.
- Campelo, S., Iwakiri, S., Trianoski, R., y Aguiar, O. R. (2017). Utilização da madeira de *Genipa americana* para produção de painéis de colagem lateral-EGP. *Floresta*, 47(1), 129-136.
- Canchucaja, J. C. (2020). *Viabilidad técnica para el uso de residuos de madera provenientes de procesos de transformación secundaria para la producción de paneles encolados lateralmente (EGP) en el Perú* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Clauß, S., Joscak, M. y Niemz, P. (2011). Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests. *Eur. J. Wood Prod. Zurich*, 69: 101-111,

- Coello, I. (2006). *Composición química de la madera de tres especies de eucalipto* (Tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia.
- Conner, A. H. (2001). Wood: adhesives. *Encyclopedia of materials: science and technology*. Amsterdam; New York: Elsevier Science.
- Costa, D. L. (2006). *Resistência de Composições Adesivas Expostas a Condições de Serviço Externo e Interno*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- Danawade, B., Malagi, R., Patil, B. y Hanampure, R. (2014). Effect of finger joint on flexural strength of teak wood. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(6): 4929-4937.
- De Conti, A. C. (2011). *Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de Eucalyptus sp.* (Tesis Doctoral). Universidad Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Dilik, T., Erdinler, S. y Kurtoglu, A. (2012). Edge Glued Wood Panel Technology and an Assessment on the Development of Edge Glued Wood Panel Industry. *American Journal of Applied Sciences*, 9(10):1625-1635.
- Endo, C.; Trianoski, R. e Iwakiri, S. (2017). Produção de EGP com diferentes adesivos PVA e sistemas de prensagem. *Floresta e Ambiente*, 24(e00147415). doi: 10.1590/2179-8087.147415
- Fengel, D. y Wegener, G. (1989). *Wood: Chemistry, Ultrastructure, reactions*. New York: Walter de Gruyter.
- Fiorelli, J. (2002). *Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira* (Tesis de Maestría). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fonte, A. y Trianoski, R. (2015). Efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem lateral da madeira de *Tectona grandis*. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 14(3): 224-233.

- Fonte, A. P. N. (2016). *Utilização da madeira de Cryptomeria japonica para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial* (Tesis de Maestría). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Food and Agricultural Organization. (1981). *El eucalipto en la repoblacion forestal*. Estudio FAO: MONTES 11. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/AC459S/AC459S00.htm>
- Food and Agricultural Organization. (1991). *Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales*. Estudio FAO: MONTES 93. Recuperado de <http://www.fao.org/3/T0269S/T0269S00.htm>
- França, M. C., Zen L. R., Juizo, C. G. F., Cremonez, V. G., Trianoski, R., Iwakiri, S. (2020). Production of Joints Of Eucalyptus Sp.to Obtain Edge Glued Panels. *Floresta e Ambiente*, 27(4): e20180004. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2018-0004>
- Frihart, C. R. (2005). Wood adhesion and adhesives. En Rowell, R. M. (Ed.), *Handbook of wood chemistry and wood composites* (pp. 215-278). Wisconsin, Madison: CRC Press.
- Frihart, C. y Hunt, C. (2010). Adhesives with wood materials: bond formation and performance. En: *Wood handbook: wood as an engineering material*: chapter 10. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. (p. 10.1-10.24). Madison: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Franco, V. C. (2018). *Utilização de resíduos madeireiros na confecção de móveis* (Monografía para obtener el grado de Bachiller). Universidad Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.
- García, L., Guindeo, A., Peraza, C. y De Palacios, P. (2003). *La Madera y su anatomía*. Madrid: Fundación Conde Del Valle Del Mar AITIM, Mundi Prensa.

- Garzón, F. C. y Salinas, L. V. (2017). Variabilidad Intraespecifica de los Rasgos Anatómicos de Tres Especies de Bosque Seco Tropical en un Gradiente de Temperatura y Precipitación en Colombia (Trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Gonçalez, J. C., Breda, L. de C. S., Barros, J. F. M., Macedo, D. G., Janin, G., Costa, A. F. da, y Vale, A. T. do. (2006). Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. *Ciência Florestal*, 16(3): 329–341. <https://doi.org/10.5902/198050981912>
- Guariguata M.; Arce, J.; Ammour, T. y Capella, J. (2017). *Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro*. Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR. doi: 10.17528/cifor/006461
- Held, C., Pawlowski, G., Paredes, A. y Calo, I. (2015). *Cadenas de valor en el sector forestal del Perú. Informe diagnóstico y desarrollo estratégico*. Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Analisis-Completo-Cadenas-de-Valor.pdf>
- Henkel Chile Ltda. (2013). *Información del producto: AQUENCE DL 246W*. Santiago: Henkel Chile Ltda.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (1991). *Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: I. Angiospermae. II. Gimnospermae*. Brasília: IBAMA.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2014a). *Madera, Método para determinar el contenido de humedad* (NTP 250.010: 2014). 2 ed. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2014b). *Madera, Método para determinar la densidad* (NTP 251.011:2014). 2 ed. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2015). *Madera, Método de determinación de la contracción*. (NTP 251.012: 2015). 3 ed. Lima: INACAL.

International Association of Wood Anatomists (1989). List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, 10(3): 219-332.

International Trade Center (2023). *Lista de los productos importados por Perú. Productos detallados en la siguiente categoría: 44 Madera, carbón vegetal y manufacturas de madera*. Recuperado de: https://www.trademap.org/Product_SelCountry_TS.aspx?nvpm=3%7c604%7c%7c%7c%7c44%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1%7c1

International Tropical Timber Organization (2023). *EUCALIPTO GRANDIS, ROSE GUM (Eucalyptus grandis)*. ITTO Lesser Used Species. <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/eucalipto-grandis-eucalyptus-grandis/?print=true>.

Iwakiri, S. (2005). *Painéis de madeira reconstituída*. Curitiba: Fupef.

Iwakiri, S., Matos, J., Prata, J., Trianoski, R., Parchen, C., Castro, V. e Iwakiri, V. (2014). Características de Vigas Laminadas Coladas Confeccionadas com Madeira de Teca (*Tectona grandis*). *Floresta e Ambiente*, 21(2): 269-275. doi: 10.4322/floram.2014.036

Iwakiri, S., Trianoski, R., França, R., Gonçalves, T., Loiola, P., Campelo, S. y Farias, S. (2015). Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* com diferentes adesivos. *Scientia Forestalis*, 43(105): 19-26.

Iwakiri, S., Trianoski, R., Stupp, Â.M., Cabral, B., Alvares, J. y Gayer, A. (2019). The use of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus urophylla* wood in the production of Edge Glued Panels. *Floresta*, 49(2): 317-324. DOI: 10.5380/rf.v49 i2.57795

- Juízo, C. G. F. (2015). *Aproveitamento de costaneiras em serraria de eucalipto para produção de painéis EGP* (Tesis de maestria). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Lau, P. C. (2017). *Produção de painéis de colagem lateral – EGP com madeira de Populus deltoides* (Tesis de maestria). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Leal, L. E., Juárez, V. y Terán, M. (2011). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. *Quebracho*, 19(1,2):75-83.
- Lopes, M. (2008). *Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente* (Tesis Doctoral). Universidad Federal de Paraná, Curitiba.
- Lopes, M., Muniz, G., Matos, J., Tanobe, V., Chinasso, C. y Rosso, S. (2013). Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. *CERNE*, 19(4): 613-619. doi: 1590/S0104-77602013000400011.
- Marra, F. S. (1992). *Technology of wood bonding: principles in practice*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Martins, S. A. (2011). *Adequação tecnológica da madeira de Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)*. (Tesis de Maestría). Universidade de Brasília, Brasília.
- Martins, S. A., Menezzi, C. H., Ferraz, J. M., y Souza, M. R. (2013). Bonding behavior of *Eucalyptus benthamii* wood to manufacture edge glued panels. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(1), 79-92.
- Mendoza, S. y Rava, A. (2009). *Estudio de la variación del plan leñoso de la madera de híbridos de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden y Eucalyptus globulus Labillardiere ssp. Globulus*. Tesis de grado. Universidad de la República, Uruguay.

- Meskimen, G. y Francis, J. K. (1990). *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden*. Rose gum eucalyptus. En: Burns, R. M.; Honkala, B. H., eds. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 305-312.
- Ministerio del Ambiente (2019). *Línea de base de especies forestales (Pinus sp. y Eucalyptus sp.) con fines de bioseguridad*. Recuperado de: https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/LB_-Forestales.pdf
- Monteoliva, S., Barotto, A. J. y Fernandez, M. (2015). Anatomía y densidad de la madera en *Eucalyptus*: variación interespecífica e implicancia en la resistencia al estrés abiótico. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114 (2): 209-217.
- Otero, M. L. (1988). Composição química dos materiais lignocelulósicos. En Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (Ed.), *Celulose e papel* (pp. 45-106). São Paulo, Brasil: IPT.
- Pereira, C. K., Akira, F., Marin, L. y Oliveira, A. (2007). Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. *CERNE*, 13(2): 123-129.
- Pizzi, A. (1983). *Wood adhesives: chemistry and technology*. New York. Marcell Dekker Inc.
- Prata, J. G. (2010). *Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Ramos, L. M. A. 2011. *Características anatômicas do lenho juvenil e adulto da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

- Ramos, L. M. A., Latorraca, J. V. F., Pastro, M. S., Teixeira, M. S., García, R. A. y Carvalho, A. M. (2011). Variacao radial dos caracteres anatomicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transicao entre lenho juvenil e adulto. *Scientia Forestalis*, 39 (92): 411-418.
- Rocha, B., Moraes, R. y Ferreira, O. (1986). Efeito da constitução química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. *Revista Árvore*, 10(2): 151-160.
- Rocha, M. P. (2000). *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunni Maiden como fontes de matéria prima para serrarias* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Sánchez, M., Zakowicz, N., Harrand, L., Cuffre, A., Torran, E. y Calvo, P. (2005). *Propiedades físico mecánicas de la madera de Eucalyptus grandis de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina*. Concordia: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Sarto, C., y Sansígolo, C. A. (2010). Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. *Acta Scientiarum. Technology*, 32(3): 227-235. doi: 10.4025/actascitechnol.v32i3.4237
- Selbo, M. (1975). Adhesive bonding of Wood. Technical bulletin. V. 1512. Washington. D.C.: Department of Agriculture.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2018). *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2016*. Perú: MINAGRI.
- Silvestre, M. y Torres, F. (2003). *Contribución al conocimiento tecnológico de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden y Eucalyptus urophylla S. T Blake proveniente de plantaciones forestales comerciales de 7 años de edad de las Choapas, Veracruz, Mex.* (Tesis de pregrado). Universidad Autonoma de Chapingo, Texcoco.

- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (2007). *Preparation of wood for chemical analysis* (TAPPI T 264 cm-07). Atlanta: TAPPI.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (2012). *Sampling and preparing wood for analysis* (TAPPI T 257 sp-12). Atlanta: TAPPI.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2016a). *Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C, Test Method* (TAPPI T 211 om-16). Atlanta: TAPPI.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2016b). *pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard* (TAPPI T 252 om-16). Atlanta: TAPPI.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (2017). *Solvent Extractives of Wood and Pulp* (TAPPI T 204 cm-17). Atlanta: TAPPI.
- Tenssera, M. A. (2008). *Aprovechamiento de desperdicios generados en el proceso de las actividades productivas forestales* (Trabajo académico de titulación). Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- Teson, N. (2011). *Balance hidrológico y flujo de nutrientes asociados al agua en plantaciones de Eucalyptus grandis, en Concordia (Entre Ríos)* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Tolmos, R. (2019). Plantaciones Forestales. *Agenda pendiente del sector forestal*. Encuentro Economico Region Cajamarca 2019. Banco Central de Reserva del Peru, Cajamarca.
- Trianoski, R., Iwakiri, S., y Bonduelle, G. M. (2020). Qualidade das juntas coladas de madeira de cinco espécies de *Eucalyptus* com adesivos acetato de polivinila e resorcina-formaldeído. *Madera y Bosques*, 26(3), e2632064. doi: 10.21829/myb.2020.2632064

- Trugilho, P. F., Lima, J. T. y Mori, F. (2003). Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *CERNE*, 9(1): 81-91.
- Selbo, M. (1975). *Adhesive bonding of Wood*. Technical bulletin. V. 1512. Washington. D.C.: Department of Agriculture.
- Verocay Da Silva, D. (2022). *Caracterización anatómica de la madera de Eucalyptus grandis W. Hill proveniente del este uruguayo*. Tesis de grado. Universidad de la República, Uruguay.
- Vick, C. B. (1999). Adhesive bonding of wood materials. En Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory (Ed.), *Wood handbook - Wood as an engineering material*. Madison: U.S. PRODUCTS LABORATORY.
- Vick, C. B. y Okkonen, E.A. (2000). Durability of one-part polyurethane bonds to wood improved by HMR coupling agent. *Forest Products Journal*, 50(10): 69-75.
- Vidal, M., Chuquicaja, C. y Melendez, C. (2009). Análisis de productividad y costos en la fabricación de pisos de Shihuahuaco (*Dipteryx* sp.). *Anales Científicos*, 70(2), 122-131.
- Villar, D. Y. (2011). *Rendimiento de madera en la producción de muebles y artesanía en el valle de Mantaro* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.