TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

SEMILLERO DE INVESTIGACION SIMARUBA

ADSCRITO AL GRUPO DE INVESTIGACION PROPROBOS

EVALUACIÓN DE LAS LÍNEAS DE COLA A TOPE LATERAL Y FINGER JOINT EN MADERA DE *ACACIA MANGIUM* WILLD. PROVENIENTES DE PUERTO GAITÁN META

SERGIO ENRIQUE SORACÁ CASTAÑO

JIMMY ALEXANDER SOLER GUEVARA

DIRECTOR INVESTIGADOR PROPROBOS Ph.D., MSc, I. Forestal, **CESAR AUGUSTO POLANCO TAPIA**

EVALUADOR. Esp. I. Forestal, **UBAINER ACERO ALMARIO**

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA FORESTAL

Marzo 2024

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLA....3
INDICE DE FIGURAS....4
INDICE DE ECUACIÓNES....5
RESUMEN....6
1. INTRODUCCIÓN....7
2. JUSTIFICACIÓN....9
3. OBJETIVOS....10
3.1 OBJETIVO GENERAL....10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....10
4. ELEMENTOS CONCEPTUALES Y TEÓRICOS....11
4.1 DESCRIPCIÓN DE *Acacia mangium* Willd.....11
4.1.1 TAXONOMÍA....11
4.1.2 DESCRIPCION BOTÁNICA.....11
4.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA.....12
4.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA ECOFIOSIOLÓGICA.....13
4.2 *Acacia mangium*, Willd. EN COLOMBIA.....13
4.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA *Acacia mangium*, Willd. EN COLOMBIA.....14
4.4 MADERA LAMINADA ENCOLADA....14
4.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE)....15
4.4.2 MADERA LAMINADA ENCOLADA EN COLOMBIA.....16
4.5 FINGER JOINT....17
4.6 PRUEBA DE FLEXION ESTATICA....17
4.6.1 RESISTENCIA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL (RLP)....18
4.6.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E).....18
4.6.3 MÓDULO DE RUPTURA (MOR)....18
4.7 MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS DE MADERA....19
4.8 ADHESIVOS.....23
4.8.1 PVA 3030 (Akzo Nobel)- Interquim....24
4.8.2 CARPINCOL PROFESIONAL (Mr -60 Afix)....24
5. METODOLOGÍA....25

5.1 FASE 1. OBTENCIÓN DE LA MADERA, ACONDICIONAMIENTO Y TRATAMIENTOS EMPLEADOS. 26
5.2 FASE 2. ENSAYOS DE FLEXIÓN Y CÁLCULO DE RESISTENCIA (PROPIEDADES MECANICAS). 29
5.3 FASE 3: PROCESAMIENTO DE DATOS 31
5.3.1 MODULO DE RUPTURA Rmax 32
5.3.2 RESISTENCIA EN EL LIMITE PROPORCIONAL (RLP) 33
5.3.3 MODULO DE ESLASTICIDAD (E) 33
5.3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS 34
6 RESULTADOS 35
6.1 CATEGORIZACIÓN DE LOS RESULTADOS 44
7 DISCUSIÓN. 45
8 CONCLUSIÓNES 50
9 RECOMENDACIONES 51
10 REFERENCIAS 52

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Taxonomía de Acacia mangium Willd. 11
Tabla 2 Propiedades físicas de la Acacia mangium Willd. en Colombia. 14
Tabla 3 Ventajas y desventajas de la madera laminada encolada (MLE). 16
Tabla 4 Numero de tratamientos, código, unidades iniciales y dimensiones de las piezas. 28
Tabla 5 Luz de los tratamientos. 30
Tabla 6 Dimensiones, peso y densidad de las probetas por cada tratamiento. 35
Tabla 7 Dimensiones, peso y densidad de las probetas testigo. 36
Tabla 8 Tipos de fallas y defectos en la madera presentes en las probetas de los diferentes tratamientos. 37
Tabla 9 Valores promedio para RLP, RMAX, E en Kgf/cm^2 con desviación estándar y coeficiente de variación. 38
Tabla 10 Prueba de Kruskal – Wallis. 39
Tabla 11 Prueba de Wilcoxón. 40
Tabla 12 Valores promedio para RLP, RMAX, E en Kgf/cm^2 con desviación estándar y coeficiente de variación de los datos con la depuración de outliers. 40
Tabla 13 Resultados de ANOVA para las variables (RLP, Rmax, E). 41
Tabla 14 Prueba Post hoc Tukey. 42

Tabla 15 Resultados prueba de Bartlett. 44
Tabla 16 Categorización de los resultados obtenidos. 44
Tabla 17 Comparación de las propiedades de los adhesivos PVA 3030 y CARPINCOL. 45
Tabla 18 Comparación de datos para las variables E, RLP y Rmax.....47

INDICE DE FIGURAS

Imagen 1. Individuo de *Acacia mangium* Willd. fuente:(Soracá, 2023). 12
Imagen 2. CARPINCOL PROFESIONAL.....24
Imagen 3 Mapa mental de la metodología propuesta para el presente estudio.....25
Imagen 4. Municipio de obtención de material, fuente: (IGAC, 1982). 26
Imagen 5 Dimensiones empleadas en el Finger Joint Vertical-Horizontal.....27
Imagen 6. Tratamiento PVA. 28
Imagen 7. Tratamiento Carpincol. 28
Imagen 8. Tratamiento *Finger Joint* vertical. 28
Imagen 9. Tratamiento *Finger Joint* Horizontal. 28
Imagen 10. Tratamiento Testigos. 28
Imagen 11. Almacenamiento del material. 28
Imagen 12 Maquina universal Mohr & FederHaff A.G. 29
Imagen 13: Ensayo de flexión estática para el tratamiento de *Finger Joint* vertical.. 30
Imagen 14 Grafica de la curva de flexión estática de la deformación en (mm) y la carga en (kgf), arrojada por la máquina de ensayos. 32
Imagen 15 Grafica de la curva de flexión estática de la deformación en (mm) y la carga en (kgf), procesado después de aplicar la ecuación 1 y 2. 32
Imagen 16 Defectos y fallas en madera sometida a prueba A) Desprendimiento por adhesivo; B) Ruptura en sentido de la fibra; C, D) Ruptura por diente unión *Finger Joint*; E) Ruptura por diente y desprendimiento de adhesivo; F) Desprendimiento de adhesivo en *Finger Joint* vertical; G) Nudo presente en la madera.....38
Imagen 17 Prueba de Tukey para RLP. 43
Imagen 18 Prueba de Tukey para MOE (E).....43
Imagen 19 Prueba de Tukey para RMAX.....43
Imagen 20 Disposición de uniones Finger Joint A) Vertical; B) Horizontal.....49

INDICE DE ECUACIÓNES.

Ecuación 1: Media aritmética. 20
Ecuación 2: Desviación estándar (Sx). 20
Ecuación 3: coeficiente de variación 21
Ecuación 4: Deformación corregida. 31
Ecuación 5: Fuerza aplicada corregida. 31
Ecuación 6: Módulo de rotura (Rmax). 32
Ecuación 7: Esfuerzo en el límite proporcional (RLP). 33
Ecuación 8: Módulo de elasticidad (E). 33

RESUMEN

La investigación aborda la evaluación del desempeño de la madera de *Acacia mangium* Willd. mediante cinco tipos de tratamientos: unión *Finger Joint* vertical, unión *Finger Joint* horizontal, ensamblaje de piezas con adhesivo PVA, ensamblaje de piezas con adhesivo Carpincol y una pieza sólida de madera como referencia. Los tratamientos, obtenidos previamente elaborados, fueron sometidos a pruebas de flexión estática para obtener datos de deformación frente a carga. La estadística descriptiva se empleó para analizar los datos, los cuales fueron normalizados mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se llevó a cabo un ajuste del coeficiente de variación en los datos con la finalidad de estar en los rangos permitiros por la NSR-10 y un análisis de varianza de un factor ANOVA para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Dado que se encontraron diferencias, se realizó una prueba post hoc de Tukey para visualizar las disparidades entre tratamientos y una prueba de Bartlett para verificar la homocedasticidad. Los resultados indican que el tratamiento *Finger Joint* vertical (FV) fue consistentemente el más efectivo, seguido por PVA en algunas variables. En contraste, el adhesivo Carpincol demostró ser el adhesivo menos resistente y el *Finger Joint* horizontal, el tratamiento con los valores más bajos para las tres (3) variables de importancia (RLP, Rmax, E). Finalmente se realizó una clasificación de los resultados teniendo en cuenta la efectividad del tratamiento y su comportamiento frente a la prueba de flexión estática. Es relevante destacar que esta clasificación se fundamenta en los resultados específicos de las pruebas de flexión estática y las causas de fallo identificadas durante la inspección cualitativa.

1. INTRODUCCIÓN

La *Acacia mangium* Willd. es una especie forestal latifoliada introducida en Colombia en el año 1990, que contribuye no solo a la recuperación de suelos, fijación de nitrógeno, absorción de preservantes y captura de CO2, también es un cultivo maderablemente amplio con un progresivo posicionamiento en el mercado del país (CO2CERO, 2022). De acuerdo con (FEDEMADERAS, 2023), en la actualidad, a la luz de la Norma Sismo Resistente NSR-10, la especie demostró que sus propiedades pueden ser iguales o superiores a las utilizadas en el país en el sector de la construcción, sumado a esto tiene crecimientos relativamente rápidos como lo explica (Polanco C. , 2019), donde menciona que se cuenta con registros de ciclos de corta inferiores a los 12 años según (AWANG; TAYLOR, 1993; BEADLE et al., 2007; DUPONNOISS; Bâ,1999; KIM et al., 2008; RAO et al.,2012).

En Colombia el GLULAM, MLE o madera laminada encolada es un producto que se utiliza cada vez más siendo un elemento industrial empleado en el sector de la construcción, está compuesto por la unión de láminas de madera dimensionadas adheridas desde los extremos lo que permite obtener dimensiones longitudinales grandes y útiles para la creación de elementos estructurales de una gran resistencia y flexibilidad; adicionalmente, permite sustituir el uso de piezas de madera sólida en grandes dimensiones que solo se pueden conseguir en el aprovechamiento de bosques longevos (APAEWS, 2010).

Pese a que la madera de *Acacia mangium* Willd. a primera vista no parece ser una buena opción como elemento estructural, ya que presenta un alto número de defectos en el crecimiento de la madera como pudrición rápida, nudos, o desviaciones en el grano, la laminación de esta madera es una alternativa óptima para generar un elemento estructurante resistente de grandes tamaños (Arbeláez Alzate & Gómez Chica, 2011)

Las uniones *Finger Joint* son un ensamble realizado en dirección longitudinal, al unir los dientes mediante presión, junto a un proceso de pegado, la continuidad entre las piezas utilizadas confiere una notable resistencia a las fuerzas de flexión, (WEINIG, 2023).

La continuidad entre las piezas unidas confiere a este tipo de ensamble una notable resistencia a la flexión. Esta característica hace que las uniones *Finger Joint* tengan un rendimiento alto, siendo elementos que se utilizan en el sector de la construcción. En condiciones óptimas de producción y aseguramiento de la calidad, las piezas ensambladas mediante *Finger Joint*

pueden alcanzar una capacidad de carga prácticamente equiparable o superior a la de piezas de madera sin ninguna unión (WEINIG, 2023).

Con base en lo anterior, la investigación realizada pretende generar más información en cuanto a las características estructurales de la madera de la *Acacia mangium* Willd., teniendo en cuenta la anatomía de la madera, el tipo de unión tipo *Finger Joint* y el encolado utilizado, sometiendo la madera a pruebas de flexión lo que permite generar resultados acordes al objeto de estudio.

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, se ha establecido un precedente en el ámbito estructural de la madera, uno de ellos es el estudio titulado "Reporte de la obtención de MLE en Colombia con énfasis en dos empresas nacionales" desarrollado por (Polanco & Garcia, 2017) en donde señalan que en el país existen ocho (8) empresas dedicadas a la fabricación de madera laminada y encolada, brindando una solución a la problemática general de la madera como elemento estructurante, generar piezas de gran tamaño y resistentes, ya que la madera proveniente de plantaciones o de bosque natural, no tiene dimensiones aptas para el sector de la construcción y presentan un gran número de defectos.

Considerando lo anterior, la industria de la madera en Colombia presenta una excelente oportunidad de crecimiento en el campo de la madera encolada y laminada. Esta técnica permite la elaboración de piezas de gran tamaño a partir de piezas pequeñas y libres de defectos o con su adecuada gestión; por ende, es necesario desarrollar e innovar productos derivados de la ingeniería MLE, donde las pequeñas piezas de madera empleadas cumplan con los requisitos estructurales.

El presente documento busca evaluar las líneas de cola en MLE con *Finger Joint* empleando piezas de *Acacia mangium* Willd. Inicialmente esta especie se comenzó a sembrar con la finalidad de recuperar suelos afectados por el uso minero, posteriormente se utilizó por su rápido crecimiento y sus características físico-mecánicas siendo una madera con potencial y de buena calidad para la ebanistería y la construcción. (Díaz, G. P,2013).

En Colombia la especie *Acacia mangium* Willd. se encuentra entre las diez (10) especies forestal comerciales con mayor área plantada por núcleo productivo. (MADR, 2023) con uso principal maderable para fines comerciales para elaborar piezas mobiliarias, pero se ha visto un gran potencial para su uso con fines estructurales, cumpliendo los parámetros de la normativa NSR- 10 así lo indica FEDEMADERAS en el 2023.

Con este trabajo se busca ampliar la información sobre las características estructurales de las especies maderables de Colombia, centrándose específicamente en la madera de *Acacia mangium* Willd., a través de ensayos de flexión que pongan a prueba la resistencia de las uniones *Finger Joint* y diferentes tipos de adhesivos con madera de *Acacia mangium* Willd, (PVA 3030, Carpincol).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las líneas de cola a tope lateral y *Finger Joint* en madera de *Acacia mangium* Willd. provenientes de Puerto Gaitán Meta, con dos tipos de adhesivos de uso frecuente en Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la resistencia mecánica de líneas de cola en uniones de *Finger Joint* en forma horizontal, vertical y en líneas de cola lateral con dos tipos de adhesivos PVA y Carpincol en madera de *Acacia mangium* Willd.
- Analizar la resistencia del adhesivo PVA y Carpincol utilizados para la unión laterales en madera de *Acacia mangium* Willd.
- Identificar mediante comparación, el tratamiento más resistente con base en la prueba de flexión estática.

4. ELEMENTOS CONCEPTUALES Y TEÓRICOS

Se presentan los elementos teóricos y conceptuales fundamentales que son base para el desarrollo y comprensión de la presente investigación. Este apartado se enfoca en establecer el contexto teórico, que permita contextualizar y analizar los aspectos clave ofreciendo una sólida fundamentación conceptual que guiará la interpretación de los resultados obtenidos.

4.1 DESCRIPCIÓN DE *Acacia mangium* Willd.

Se realiza una descripción de la especie Acacia mangium Willd. abordando aspectos cruciales como su taxonomía, características botánicas, y propiedades de la madera.

4.1.1 TAXONOMÍA

La **Tabla 1** proporciona información de la *Acacia mangium* Willd. que incluye tanto su denominación científica como términos vernáculos, ofreciendo una visión integral de esta especie dentro del contexto de la familia FABACEAE.

Tabla 1 Taxonomía de Acacia mangium Willd.

Nombre científico	***Acacia mangium* Willd.**
Familia	FABACEAE
Sinónimo	*Rancosperma mangium* (Willd.) Pedly
Nombre vernáculo	Acacia, Acacio

Fuente: Bernal et al 2017.

4.1.2 DESCRIPCION BOTÁNICA.

Acacia mangium Willd. es un árbol que puede alcanzar 30 m de altura y diámetros de 60 cm aproximadamente (Unillanos, 2019) aunque. López, et al. (2014) reportan que la especie puede tener altura de hasta 20 m y diámetros cercanos a 90 cm. Presentan un fuste recto que puede suponer más de la mitad de la altura del árbol. El tallo presenta surcos longitudinales y su la corteza en los individuos jóvenes es lisa, a partir de los 2 -3 años, la corteza es rugosa y dura (**Imagen 1**).

Las hojas jóvenes están compuestas por numerosos foliolos similares a los de *Albizia*, *Leucaena*, pero al trascurrir unas semanas el pedúnculo foliar y el eje principal de cada hoja compuesta se aplana y se trasforma en filodio simples y con venas paralelas, el largo de las hojas logra hasta 25 cm y 10 cm de ancho. Presenta inflorescencia en espiga con flores de color blanco y crema, presenta fragancia suave y dulce, posterior a la fecundación esta se convierte en una vaina verde que se oscurece hasta color marrón negruzco. (Urban, P. 2012). Las

semillas son negras y brillantes de ovadas a oblongas con un tamaño de 3-5 mm a 2-3 mm, las semillas están unidas por un funículo plegado de color naranja rojizo. (Krisnawati et al, 2011).



Imagen 1. Individuo de *Acacia mangium* Willd. fuente**:(Soracá, 2023).**

4.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA.

López et al, (2014) describe la madera de la *Acacia mangium* Willd. liviana y blanda, de coloración amarilla con una textura moderadamente fina y uniforme, de grano ondulado a recto, con lustre medio, con una porosidad difusa sin patrón de disposición específico, en estado solitario y de forma ovalada, en los cuales se encuentra contenido gomoso, otros autores como ITTO,(s.f) indica que la madera pude tener una densidad de 0,58 $g.cm^{-3}$. Sierra, (2010) menciona que la madera puede ser medianamente dura con densidad específica entre 0,50 $g.cm^{3}$ a 0,60 g.cm-3 también se ha encontrado que esta madera de plantaciones normalmente su densidad varía entre 0,40 $g.cm^{-3}$ y 0,45 $g.cm^{-3}$ (López et al, 2013). Presenta una albura de color amarillo pálido a pardo claro y su volumen ocupa más del 10% del volumen total, mientras que el duramen es de color oliva pardo- grisáceo a rosado. (Arbeláez et al, 2011).

4.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA ECOFIOSIOLÓGICA.

El desarrollo de la especie es mejor en climas cálidos con temperaturas medias anuales de 27°C y una altitud por debajo de los 300 m.s.n.m en zonas con precipitaciones comprendidas entre 1500 y 3000 mm (Unillanos, 2019) La especie *Acacia mangium* Willd. tiene la capacidad para adaptarse a diferentes tipos de suelo, pero crece muy bien en suelos erosionados que tengan un pH entre 3.5 a 6. No es recomendable los suelos salinos para la especie debido a que sus foliolos presentan clorosis y finalmente genera muerte del individuo (Díaz, G. P,2013). Es una especie con una alta adaptabilidad y tasa de regeneración en sitios abandonados. Al ser una especie de la familia FABACEAE tiene una relación simbiótica con microorganismos, bacterias nodulares que permiten la fijación de nitrógeno. Bacterias del género *Rhizobium y Bradyrhizobium* la cual desata un efecto benéfico en el crecimiento ectomicorrizico y asociaciones con otras especies. (Caguasango Eraso, S, 2017).

4.2 *Acacia mangium*, Willd. EN COLOMBIA.

En Colombia la *Acacia mangium* Willd. es una es de las especies con mayor área sembrada con las zonas de aptitud forestal, con fines de reforestación comercial. Según el boletín forestal de septiembre del 2023 en el eje cafetero se sembraron 7.810 ha, en la Orinoquía 48.491ha en el Caribe 8.434 ha y en otros lugares 3.006 ha, para un total de 67.741 ha reforestadas con fines comerciales siendo la especie más usada para este fin y su núcleo productivo se encuentra en la Orinoquía (MADR, 2023).

Aunque en Colombia la *Acacia mangium* Willd. es una de las especies más plantadas en el territorio, esta ha sido de gran controversia en cuanto al uso de su madera; pese a que se ha implementado en programas de rehabilitación y restauración, se menciona que al ser introducida puede convertirse en una especie invasora que puede provocar perturbaciones en las dinámicas ecosistémicas locales (Abella et al., 2023). Por otra parte, hay quienes defienden su uso, considerándola una aliada en la recuperación de suelos afectados por actividad minera y destacando su potencial maderero, como sucedió en el departamento de Antioquia a mediados de los años noventa, en el Bajo Cauca Antioqueño, en el Sur de Córdoba, el Magdalena Medio y los Llanos Orientales.

A pesar de que la especie no ha demostrado rendimientos óptimos en lugares donde se cultiva, algunos autores sugieren que este resultado se atribuye a la falta de comprensión de la relación agua-suelo-planta, así como al desconocimiento de los requerimientos nutricionales y la

distribución altitudinal específica de la especie. Es importante destacar que juzgar la viabilidad de una especie basándose únicamente en algunos resultados desfavorables seria improcedente. De acuerdo con Mateus (2012), la especie en cuestión posee notables características que la convierten en una opción prometedora para el uso industrial, lo que podría impulsar significativamente la utilización sostenible de la madera en Colombia. Por lo tanto, es esencial considerar de manera integral los factores involucrados en el cultivo de esta especie, con el fin de aprovechar plenamente su potencial beneficioso.

4.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA *Acacia mangium*, Willd. EN COLOMBIA

Las propiedades físicas (**Tabla 2**) son de gran importancia para poder establecer un aproximado de los usos potenciales de la madera de una especie, estas propiedades físicas son: contenido de humedad, contracción volumétrica, densidad, dureza entre otras, estas características indican como proceder de manera efectiva ante los posibles procesos de transformación de la madera (Arbeláez et. al,2011).

Tabla 2 Propiedades físicas de la Acacia mangium Willd. en Colombia.

Localidad	**Cáceres**	**Cáceres**	**Puerto libertador**	**Puerto libertador**	**Ayapel**	**Ayapel**	**Caucasia**	**Puerto libertador**
Edad (años)	10	10	10	13	10	13	3	6
Contenido de humedad seco al aire (%)	13.66	13.85	14.46	16.22	13.71	14.18	14.84	12.32
Densidad básica (g/cm^{-3})	0.51	0.51	0.52	0.53	0.52	0.52	0.4	0.49
Densidad seca al aire al 12% (g/cm^{-3})	0.64	0.64	0.66	0.66	0.65	0.65	0.5	0.58
Contracción volumétrica total %	12.78	12.89	11.02	10.09	11.72	11.92	10.18	10.59
Relación T/R	1.77	1.81	1.8	1.75	1.85	1.69	2.97	1.87

Fuente: (Arbeláez et. al,2011).

4.4 MADERA LAMINADA ENCOLADA

La madera laminada unida con adhesivo o encolada también conocida como (MLE) es un material que se conforma a partir de la unión de varias piezas de madera cuidadosamente seleccionadas, se unen por medio del grano de manera paralela al eje longitudinal del miembro (Stark *et al*., 2010; Demkoff, 2003). La madera laminada encolada es un material que presenta ventajas ante la madera maciza convencional ya que esta ofrece piezas de diferentes tamaños,

formas, espesores, un mejor aislamiento térmico, estabilidad frente a agentes químicos, siendo un elemento de rápido ensamblaje y ejecución (Urban, 2012).

La madera y los adhesivos se han destacado como una de las materias primas que permiten a la MLE considerarse a nivel internacional como material de aplicación estructural de buena calidad, para su fabricación se usa madera de reforestación, pero también se emplea maderas nativas como lo menciona (Azambuja, 2006). Otro factor importante para las MLE son los adhesivos sintéticos de carácter estructural, ya que estos deben garantizar que soporten el esfuerzo entre las láminas, siendo un factor importante en la industria de productos forestales (Frihart & Hunt, 2010).

Promover el uso de la madera bajo la técnica de MLE como producto estructural, ayuda a disminuir los cambios del uso del suelo como lo menciona López Et al. (2013); además de ello, la MLE puede obtenerse de especies reforestadas lo cual contribuye a mejorar en el plano económico las plantaciones forestales y aumentar el retorno de los productos obtenidos (Azambuja, 2006), ya que estos procesos coaccionan a que se genere una mayor calidad en la productividad y competitividad de los productos dependiendo a su adecuada destinación según la técnica de transformación (Giraldo, 2007).

4.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE)

La Madera Laminada Encolada (MLE) se posiciona como un elemento innovador en los sectores industrial y de la construcción, destacándose por su versatilidad, la cual supera las limitaciones presentes en la madera maciza, al tiempo que proporciona piezas con una resistencia notable. Las ventajas de la MLE se manifiestan claramente en su capacidad para resistir deformaciones y ofrecer una estabilidad estructural excepcional. No obstante, como ocurre con cualquier tecnología, también enfrenta desafíos y desventajas que resulta crucial considerar. En la **Tabla 3** se detallan siete ventajas al hacer uso de la MLE y las cuatro desventajas de este producto.

Tabla 3 Ventajas y desventajas de la madera laminada encolada (MLE).

Ventajas	Desventajas
No tiene restricción en dimensiones, ya que se pueden fabricar elementos de cualquier ancho, alto o largo.	Requiere cuidados específicos en el proceso de fabricación, controlando variables como la humedad, temperatura, entre otras.
Al ser uniones de piezas de madera, permite eliminar defectos tales como nudos y desviación de grano que pueden afectan la capacidad mecánica de la madera.	Presenta un mayor costo operativo al fabricarse elementos pequeños.
Puede clasificarse o fabricar láminas según los requerimientos de esfuerzo, usando elementos de mayor calidad que resistan una mayor fuerza aplicada.	Disponibilidad limitada, pocas industrias las fabrican.
Las láminas al presentar dimensiones no mayores a 45 mm permiten un secado rápido y con menos imperfecciones que la madera aserrada.	Presentan mayor costo de adquisición en comparación a la madera aserrada.
Al ser un elemento traspuesto presenta mayor resistencia al fuego.	
Son elementos livianos y simples de trasportar para obras.	
Buen aislante acústico y eléctrico.	

Fuente: (Arbeláez et. al,2011).

4.4.2 MADERA LAMINADA ENCOLADA EN COLOMBIA.

Para Colombia el uso y fabricación de MLE puede ser un factor que impulse a la reforestación y uso de maderas de manera que se prevenga y disminuyan las dinámicas de cambio del uso del suelo forestal como se ha presentado a través de los años, según el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial (MAVDT) en el 2010 evaluó que el 73.3% de la deforestación en Colombia es consecuencia de la expansión agrícola, ganadera y la colonización. En la actualidad las razones de deforestación han seguido la misma tendencia, donde solo la ganadería es el factor que más contribuye a la deforestación con un 60 % (Gonzáles, 2023).

El análisis de Polanco (2007), revela que, en Colombia, la demanda anual de madera aserrada representa un significativo 71% del consumo total de madera en el país. De este porcentaje, el sector de la construcción se destaca como el principal consumidor, absorbiendo un 56.1%. Estos datos resaltan la importancia de la madera en el ámbito constructivo, pero también señalan la necesidad de explorar alternativas más sostenibles y menos contaminantes. En este

contexto, la madera laminada encolada (MLE) emerge como una opción prometedora para la sustitución de elementos convencionales en la construcción, esta técnica ofrece no solo un rendimiento estructural destacado, sino también ventajas medioambientales al reducir la dependencia de la madera aserrada convencional. La utilización de MLE puede contribuir a mitigar los impactos negativos asociados con la deforestación y promover prácticas constructivas más amigables con el entorno, posicionándose como una alternativa que merece una consideración más profunda en el panorama constructivo colombiano.

4.5 FINGER JOINT

El *Finger Joint* es un tipo de ensamblaje para la madera laminada y encolada (MLE), conocido por ser uno de los métodos más fuertes y recomendado tanto para aplicaciones estructurales como no estructurales. Esta técnica se destaca por presentar propiedades de ensamblaje, rectitud, estabilidad dimensional, y por permitir la fabricación de piezas de mayor tamaño con piezas pequeñas de buena calidad. (Habipi et al., 2015).

También denominada unión de dedos, esta técnica consiste en unir dos piezas de madera por el canto, entrelazando sus extremos y utilizando pegamento. El proceso implica el paso de las piezas de madera por una fresa que corta ranuras (dientes) en los extremos. Cada extremo se corta con un perfil de fresa diferente para asegurar que las piezas se unan entre sí. Posteriormente, se lleva a cabo el encolado y el fraguado de la unión, lo que proporciona una pieza más larga con mayor estabilidad y resistencia. (Habipi et al., 2015).

La resistencia de la madera alistonada depende de diversos factores relacionados con la madera, como la especie, densidad, defectos resultantes de los procesos a los que ha sido sometida, contenido de humedad, temperatura, geometría del *Finger Joint*, mecanizado, presión del montaje, tiempo de fraguado y tipo de adhesivo utilizado. Estos elementos influyen en la resistencia y durabilidad de la unión, así como en las propiedades finales de la madera ensamblada. (Habipi et al., 2015).

4.6 PRUEBA DE FLEXION ESTATICA

La evaluación de la madera con propósitos estructurales se basa principalmente en la prueba de flexión estática, debido a que esta prueba integra propiedades de compresión, tracción y cizallamiento, de manera que la flexión estática es considerada como la propiedad mecánica

principal (Ramírez, et al. 2001). Cuando a una pieza de madera se le aplican cargas lentas y la superficie de estas tiende a curvearse, está siendo sometida a flexión estática. Las maderas de uso estructural se destinan para soportar cargas o fuerzas altas que minimicen el efecto de curvado, la flexión estática genera tres (3) tipos de esfuerzo (Suirezs, et al. 2010), que son:

1: Esfuerzo de compresión: disminución de la distancia en la parte superior.

2: Esfuerzo de tracción: Aumento en la longitud de la parte inferior.

3: Esfuerzo de corte o cizalladura en el centro.

4.6.1 RESISTENCIA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL (RLP)

La resistencia en el límite proporcional (RLP) **Ecuación 7**, es la carga máxima unitaria que puede soportar un material sin que se produzcan deformaciones persistentes, siendo el mayor esfuerzo que puede tener un material sin que se produzca una deformación permanente al momento de retirar la carga aplicada (Sánchez & Roa, 2015). Esta deformación general que se produce en cualquier punto o sección de un material con características elásticas es proporcional a la fuerza que le es aplicada (Imaz, 2013).

4.6.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E).

El módulo de Young o módulo de elasticidad es la deformación que sufre un material, luego de una recuperación elástica causada por una fuerza, siendo un factor importante en el comportamiento mecánico de un material, El módulo de elasticidad (E) ilustra la relación entre la deformación elástica y el nivel de esfuerzo que la provoca, siendo un indicador de la rigidez del material. El módulo de elasticidad es una propiedad que depende de la energía entre enlaces atómicos y varía según el tipo del enlace que se forma, enlaces covalentes o iónicos tienden a dar propiedades de rigidez más altas (García & Monasterio, 2018).

El comportamiento lineal elástico frente a la deformación de un material aumenta proporcionalmente según la carga que se aplique y, al ser la carga reducida, la deformación sigue una trayectoria similar finalizando cuando no se aplica ninguna carga, ese tipo de comportamiento es clasificado como lineal elástico (García & Monasterio, 2018). El módulo de elasticidad está dado por la **Ecuación 8.**

4.6.3 MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

El módulo de ruptura describe la máxima capacidad de carga que un elemento puede soportar a la flexión antes de experimentar una falla. Esta propiedad se determina mediante el momento flector que provoca la ruptura y se obtiene a partir de ensayos de laboratorio en los que se aplica una carga creciente en el centro del material, soportado en los extremos, hasta que este falle o se fracture (López et al.2021).

Para determinar esta propiedad, es necesario superar el límite elástico de la madera. Una vez rebasado este límite, el material ya no puede regresar a su estado inicial, alcanzando el límite plástico. Posteriormente, la carga comienza a generar lugares de discontinuidad en la estructura de la madera, lo que conlleva a la ruptura de la pieza (López et al.2021) y es calculado a partir de la **Ecuación 6**

4.7 MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS DE MADERA

Un proceso industrial está sometido a un gran número de factores que imposibilita que dos productos sean exactamente iguales. (Rojas et al,2006). Además, considerando que la madera es una materia anisotrópica, es decir, sus propiedades varían en su magnitud en dirección radial, tangencial y axial, tanto sus propiedades físicas y mecánicas muestran variación. (Muñoz et al.2013). Por lo tanto, un producto fabricado en madera no es uniforme y presenta variabilidad. Esta variabilidad no es deseada, ya que en términos de calidad se busca que las características del producto sean similares o estén dentro de cierto limite predefinido.

El control estadístico es una herramienta beneficiosa para establecer límites predefinidos y lograr un estándar de calidad deseado. Además, proporciona información sobre los procesos de fabricación, que puede contribuir a la mejora en líneas de producción (Muñoz et al., 2013).

Al iniciar el proceso estadístico de datos, resulta crucial determinar si siguen una distribución normal o no. Esta evaluación es fundamental para seleccionar una prueba estadística apropiada, ya sea métrica o no métrica, lo cual requiere un sólido entendimiento de los fundamentos estadísticos.

Para determinar si los datos siguen una distribución métrica o no métrica, es necesario llevar a cabo pruebas estadísticas. La prueba de Shapiro-Wilk se destaca como una herramienta fundamental en esta etapa. Esta prueba evalúa la normalidad de los datos mediante el cálculo

estadísticos, cuya comparación con un valor crítico en una tabla de distribución normal permite establecer si se acepta o rechaza la hipótesis de normalidad (Ciro, 2023).

Al interpretar los resultados obtenidos, se focaliza en el valor de p asociado a la prueba. Si dicho valor es superior al nivel de significación preestablecido, como por ejemplo 0.05, se acepta la hipótesis de que la distribución de los datos se asemeja a una distribución normal. En cambio, si el valor de p es inferior al nivel de significación establecido, se rechaza la hipótesis de normalidad (Ciro, 2023)

La distribución normal también conocida como la distribución gaussiana, es un tipo de distribución de probabilidades continuas donde los datos se distribuyen simétricamente alrededor de la media. Esto implica que la mitad de los datos se encuentran encima de la media y la otra mitad por debajo. Su forma de campana muestra que la mediana, media y moda coinciden en el centro (Pérez, R,2010)

La distribución normal se caracteriza por dos parámetros la media (μ) y la desviación estándar (σ) la mediana representa el valor central de la distribución y se define matemáticamente como se muestra en la **Ecuación 1.**, la desviación estándar indica la dispersión de los datos alrededor de la media. A mayor sea la desviación estándar mayor será la dispersión de los datos, definida por la **Ecuación 2.** (Pérez, R,2010)

Ecuación 1: Media aritmética**.**

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_1}{n}$$

Donde

X=Cada uno de los datos de la serie.

N= número de datos.

$\mu =$ media aritmética.

Ecuación 2: Desviación estándar (Sx).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} = (x_i - \mu)^2}{n-1}}$$

Donde

σ = Desviación estándar.

μ = media aritmética.

X_1=Cada uno de los datos de la serie.

n= número de datos.

Partiendo de lo anterior se puede calcular el coeficiente de variación, una medida estadística que se utiliza para medir la variabilidad relativa de un conjunto de datos en relación con la media. Es ampliamente usada para comparar la variabilidad de diferentes conjuntos de datos y está definida por la **Ecuación 3.** (Pérez, R,2010)

Ecuación 3: coeficiente de variación

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{\mu}}$$

Donde:

C_v= coeficiente de variación.

σ = Desviación estándar.

μ = media aritmética.

Cuando los datos no siguen una distribución normal, se recurre a la transformación de los datos para ajustar los valores de una variable a una distribución normal. Este proceso permite una comparación equitativa, ya que elimina los sesgos originados por las diferencias en las escalas o magnitudes de las variables, facilitando así la interpretación y el análisis comparativo entre conjuntos de datos al colocar todas las variables en un mismo nivel de comparación. (Zenaida, H. M.2012).

La trasformación logarítmica en base 10, es uno de los procedimientos más utilizados en estadística, permite expansión y compresión de valores debido a que si se trasforma una variable en su logaritmo los valores entre 1 – 10 se expandieran y los más altos se comprimirán esta característica es útil al manejar datos que tienen una amplia gama de valores permitiendo una mejor comparación y análisis de estos, dándole reducción de escalas, estabilidad de varianza y brinda una linealización de las relaciones. (Zenaida, H. M.2012).

Para evaluar los tratamientos de madera se utilizan métodos estadísticos como el análisis de varianza de una vía (ANOVA), el cual se basa en un conjunto de técnicas estadísticas de amplia utilidad. Este método se utiliza cuando se necesita comparar dos (2) o más grupos de datos, en donde hay mediciones repetidas en más de dos (2) ocasiones o los sujetos pueden variar en una o más características que podrían afectar el resultado. En estos casos, es necesario realizar un ajuste a su efecto o realizar análisis simultáneos del efecto de dos (2) o más tratamientos diferentes (Dagnino, 2014).

El ANOVA se basa en la variabilidad total de los datos, que se puede dividir en dos (2) componentes: la variabilidad entre los grupos y la variabilidad dentro de los grupos. La hipótesis nula (H0) sugiere que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos, mientras que la hipótesis alternativa (H1) plantea que al menos dos (2) de las medias son significativamente diferentes usando un nivel de significancia del 95%. Al realizar ANOVA, se utiliza la estadística (F) para determinar la relación entre la variabilidad de los grupos y la variabilidad entre grupos. Este valor F se compara con un umbral para determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas, lo que define si se rechaza o no la hipótesis nula.

Para una mejor interpretación de los resultados, se deben realizar pruebas post hoc para identificar diferencias específicas entre los grupos. La prueba de Tukey es un test que contribuye significativamente al rigor metodológico en la obtención de análisis precisos.

La prueba de Tukey es un método para realizar comparaciones múltiples, calculando una única diferencia crítica que se utiliza para todas las comparaciones entre las medias. El valor de esta diferencia crítica dependerá del número de comparaciones realizadas (Falla, 2012). Esta prueba es especialmente valiosa cuando se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos dos medias son significativamente diferentes. La prueba de Tukey permite la identificación de qué pares de grupos que presentan diferencias entre sus medias y opera manejando el rango de diferencias entre las medias de cada par de grupos, realizando un ajuste en los intervalos de confianza para tener en cuenta la variabilidad global del conjunto de datos. Así se calcula un valor crítico conocido como distancia mínima significativa (DMS). Al realizar esta prueba, se mejora la validez y la confiabilidad de los resultados de investigación (Falla, 2012).

Para validar los resultados del análisis de varianza ANOVA, se emplea la prueba de Bartlett. Esta herramienta facilita la evaluación de la homogeneidad de las varianzas en distintos grupos (Falla, 2012). La prueba compara las varianzas observadas en cada grupo mediante un valor

crítico, el cual permite determinar si existen pruebas suficientes para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad. Es crucial considerar la sensibilidad de esta prueba al supuesto de normalidad en los datos. Se aplica la prueba de Bartlett la cual contribuye significativamente a la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos en estudios que emplean ANOVA.

Cuando los datos no siguen una distribución normal, se recurre a otro tipo de pruebas, entre las que destaca la prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba permite comparar múltiples grupos y determinar si al menos uno de ellos difiere significativamente de los demás, sin requerir que los datos cumplan con el supuesto de normalidad (Flores et al.2017).

Es fundamental considerar los valores de P al realizar la prueba de Kruskal-Wallis. Si el valor de P es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula en que las medianas de los grupos son iguales, lo que indica que al menos un grupo difiere significativamente de los demás en términos de la mediana. Por el contrario, si el valor de P es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay suficiente evidencia para afirmar que al menos un grupo difiere significativamente de los demás en términos de la mediana. (Flores et al.2017).

Es esencial destacar que la prueba de Kruskal-Wallis permite evaluar la hipótesis nula en general, identificando diferencias significativas. Por lo tanto, es necesario realizar pruebas adicionales para determinar dónde se encuentran estas diferencias entre los grupos. La prueba de Wilcoxon es una prueba de comparaciones múltiples que permite diferenciar específicamente donde difiere los datos en términos de la variable de la mediana (Flores et al.2017).

4.8 ADHESIVOS.

Un adhesivo es una sustancia que, al ser aplicada en la superficie de dos elementos, permite la unión de éstos y logra una resistencia a la separación. Esta resistencia se debe a un conjunto de interacciones químicas y físicas del adhesivo con los adherentes, denominándose así a los materiales que se pretenden unir (Ibarra López, 2018).

En la actualidad, los adhesivos orgánicos han sido desplazados por los sintéticos, lo que ha dado lugar a una gran variedad de productos, los adhesivos sintéticos se clasifican en termoestables y termoplásticos estos últimos se caracterizan porque, una vez fraguados, pueden recuperar su plasticidad mediante la acción del calor (Exersl. 2021). Además, como menciona López et al. en el 2013, al ser polímeros de cadena larga, tienen menor resistencia al

calor, la humedad y la carga estática, y son los más asequibles en el mercado. Los adhesivos se convierten en elementos clave para superar las limitaciones de resistencia inherentes a las maderas macizas, la finalidad de este proceso es dotar a la MLE de una estabilidad estructural superior (López et al, 2013).

4.8.1 PVA 3030 (Akzo Nobel)- Interquim

Es un pegamento sin formaldehido basado en agua, tiene un pH entre a 4.0 a 5.0, presenta una densidad de 1075 kg/m3 y su viscosidad oscila entre los 8000 a los 15000 MPa*s, para uso en prensa si se aplica 150g/m2 su tiempo debe ser mayor a 7 minutos, las prensas recomendadas para este tipo de pegamento son: prensas en caliente y en frio, prensas continuas y abrazaderas.

En cuanto al tiempo de conservación desde su fecha de fabricación es de 6 meses y sus aplicaciones van desde el uso doméstico al industrial, en el campo de la industria maderera se usa en enchapados, pegado de paneles de muebles, unión de piezas longitudinales, fabricación de puertas y escaleras, su masa de reacción es 2-metil-2H-isotiazol-3 ona- y 1,2 bensoisotiazol 3(2H)ona (AkzoNobel, s.f).

4.8.2 CARPINCOL PROFESIONAL (Mr -60 Afix)

Es un adhesivo que se recomienda para el ensamblaje y reparación en materiales con Tríplex, aglomerados, MDF y en general para uniones de madera, teniendo en cuenta que la humedad de las piezas no supere el 18% aunque su mejor resultado en secado se da al 15% de humedad. El pegamento tiene un alto rendimiento y viscosidad, es resiste a altas temperaturas y su tiempo de prensado oscila entre los 20 y 30 minutos, el CARPINCOL no se cristaliza y el tiempo de secado al tacto es de 20 minutos aproximadamente, la masa de reacción es 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona Y 2-metil-2H-isotiazol-3-ona (3:1), (Afix, s.f).



Imagen 2. CARPINCOL PROFESIONAL
Fuente: Autores 2024.

5. METODOLOGÍA

La investigación realizada se basa en la implementación de cuatro (4) fases detalladas en la **Imagen 3**, donde se describe la secuencia metodológica de los procesos involucrados en cada de las etapas de ejecución, con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos establecidos.

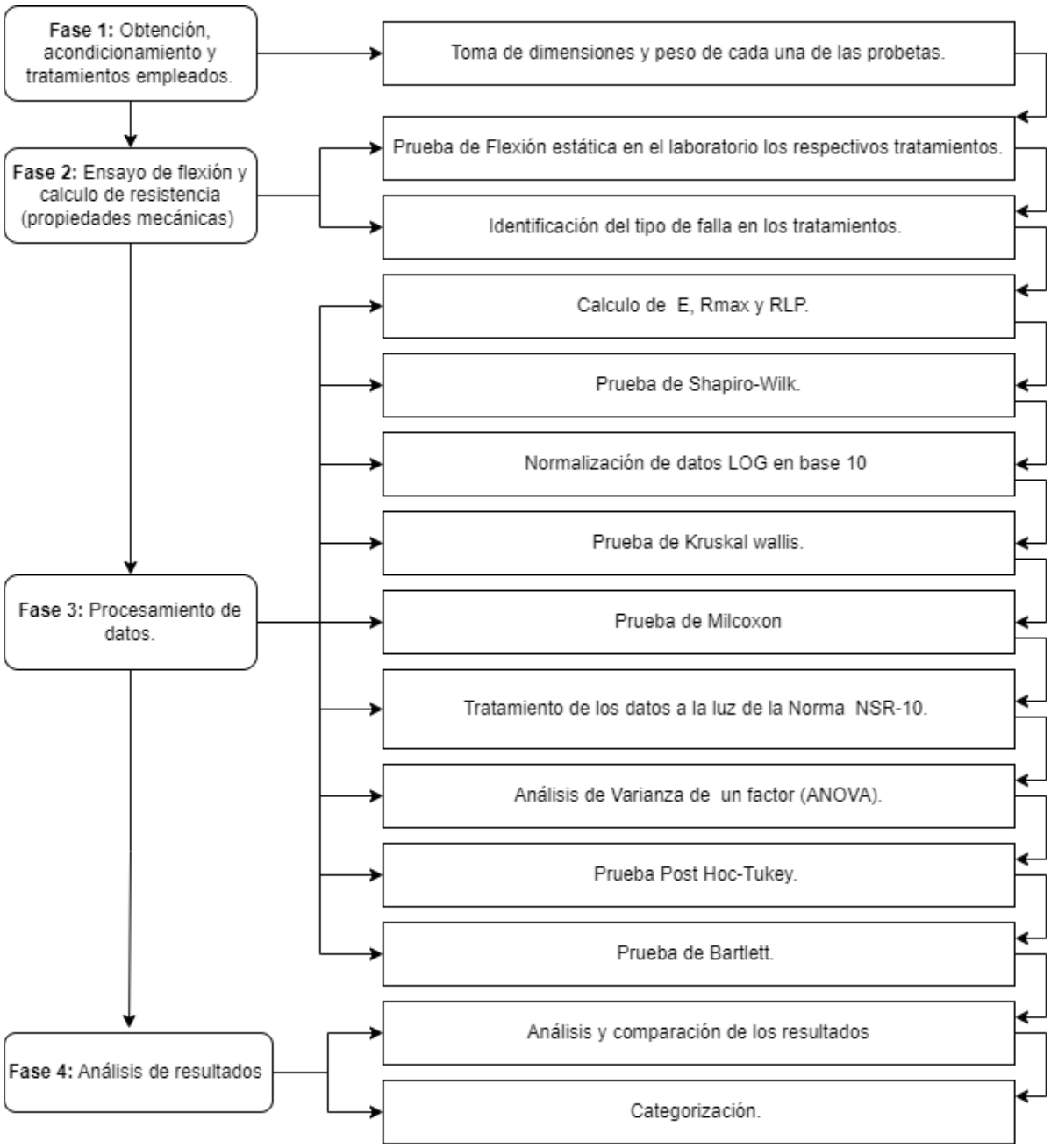


Imagen 3 Mapa mental de la metodología propuesta para el presente estudio.

Fuente: Autores 2024

5.1 FASE 1. OBTENCIÓN DE LA MADERA, ACONDICIONAMIENTO Y TRATAMIENTOS EMPLEADOS.

La madera empleada para la realización de las pruebas fue obtenida de la región de la Orinoquia, en el departamento del Meta, específicamente del municipio de Puerto Gaitán en Colombia **Imagen 4**. Estas se transportaron a Bogotá donde fueron recibidas y procesadas por una empresa al norte de la ciudad, quienes brindaron piezas dimensionadas de *Acacia mangium* Willd. sólidas y manufacturadas encoladas con uniones de tipo *Finger Joint* adheridas con PVA, y piezas adheridas a tope lateral con PVA 3030 y Capincol.

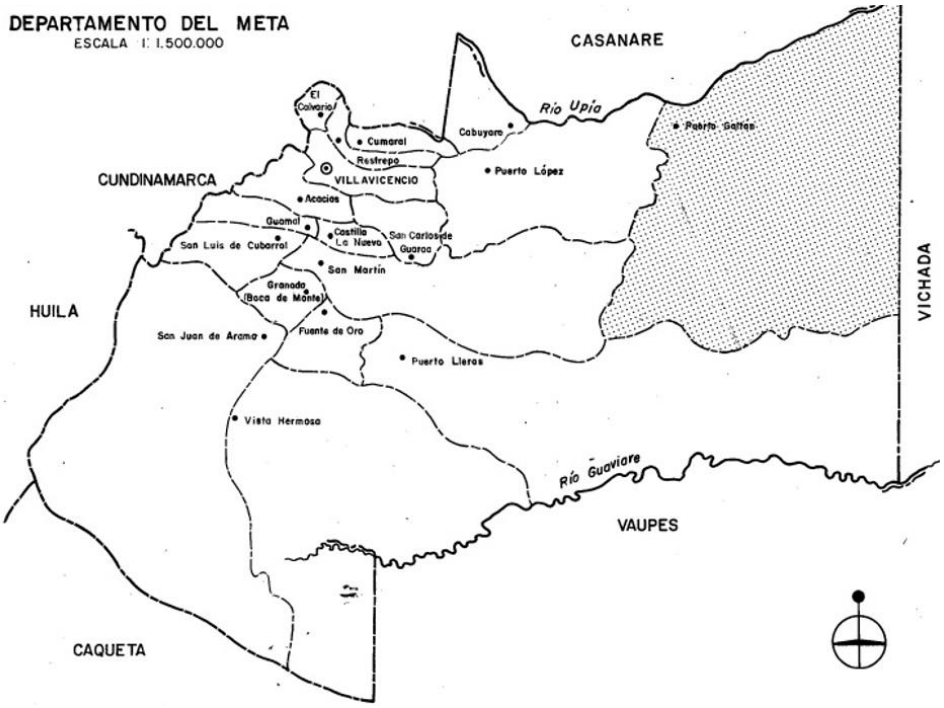


Imagen 4. Municipio de obtención de material, fuente: **(IGAC, 1982).**

Las características geométricas de los dientes de las uniones de *Finger Joint* para ambos tratamientos vertical y horizontal presenta: 0.8 mm en holgura. 4 mm en el paso del diente, 1 mm de ancho y 12 mm de largo **Imagen 5**

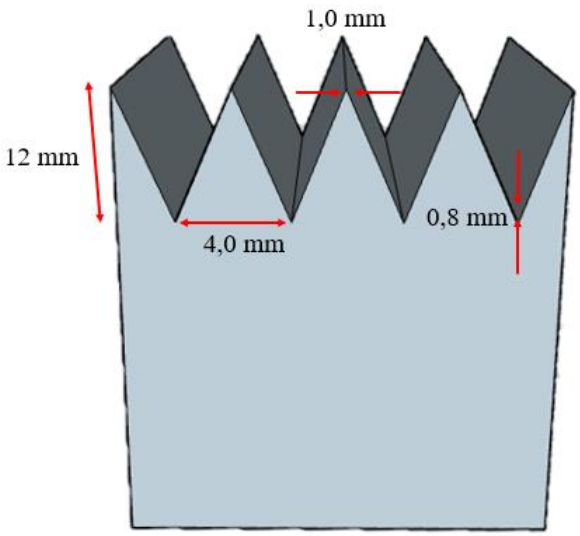


Imagen 5 Dimensiones empleadas en el Finger Joint Vertical-Horizontal

El acondicionamiento y almacenamiento del material empleado se realizó en el laboratorio de Tecnología de Maderas de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales en la universidad Distrital Francisco José de Caldas **Imagen 11,** este se realizó a condiciones ambientales normales con la finalidad de que la madera recibida se encontrará en un estado estable antes de la realización de las pruebas de flexión estática.

Se manejaron cinco (5) tratamientos para la determinación de la resistencia mecánica, un **Testigo**, uniones *Finger Joint* en disposición **Horizontal (FH)** y **Vertical (FV)** y se utilizaron dos adhesivos termoplásticos a base de polivinilo de acetato con diferentes marcas comerciales. utilizando piezas encoladas con **Carpincol** y **PVA 3030** en la madera de *Acacia mangium* Willd. En la **Imagen 6, 7, 8 , 9 y 10** se observa fotografías de cada uno de los tratamientos empleados en las pruebas de flexión.

Tratamientos	
	

Imagen 6. Tratamiento PVA.	**Imagen 7.** Tratamiento Carpincol.
	
Imagen 8. Tratamiento *Finger Joint* vertical.	**Imagen 9.** Tratamiento *Finger Joint* Horizontal.
	
Imagen 10. Tratamiento Testigos.	**Imagen 11.** Almacenamiento del material.
Fuente: Autores 2024	

A cada tratamiento se le asigno un código con carácter literal como se muestra en la **Tabla 4,** el número de unidades iniciales de cada uno de los tratamientos y los valores que describen dimensiones de base, altura, y longitud en milímetros (mm).

Tabla 4 Numero de tratamientos, código, unidades iniciales y dimensiones de las piezas.

Tratamiento	**Código**	**Unidades disponibles**	**Dimensiones (mm)**		
			Base (b)	**Altura (h)**	**Longitud (l)**
***Finger Joint* Vertical**	T1	27	18	35	548
***Finger Joint* Horizontal**	T2	27	70	18	420
PVA	T3	27	70	16	420
Carpincol	T4	27	70	16	420
Testigo	B	27	72	24	501

Tratamiento	Código	Unidades disponibles	Dimensiones (mm)		
			Base (b)	Altura (h)	Longitud (l)
Total		**135**			

Fuente: Autores 2024.

5.2 FASE 2. ENSAYOS DE FLEXIÓN Y CÁLCULO DE RESISTENCIA (PROPIEDADES MECANICAS).

Antes de hacer los ensayos de flexión de cada una de las probetas se realizó una inspección cualitativa para la identificación de defectos en las mismas, con la finalidad de recopilar más información de utilidad que pueda generar variación de los resultados de carga obtenidos en prueba de flexión estática.



Imagen 12 Maquina universal Mohr & FederHaff A.G

Fuente: (Autores, 2023).

Para realizar el ensayo correspondiente de flexión estática se usó la maquina universal Mohr & FederHaff A.G. (**Imagen 12**) perteneciente al Laboratorio de Tecnología de Madera de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales (FAMARENA) para cada uno de los tratamientos se tuvo en cuenta, la luz (distancia que hay entre los apoyos de la máquina universal) de diferentes dimensiones como se puede observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5 Luz de los tratamientos.

N	Tratamiento	Dimensiones			LUZ (cm)
		b	h	l	
27	*Finger Joint* Vertical	18	35	548	52
27	*Finger Joint* Horizontal	70	18	420	38
27	PVA	70	16	420	38
27	Carpincol	70	16	420	38
27	Testigo	24	72	501	45

Fuente: Autores 2024.

Para realizar el ensayo se aplicó una fuerza concentrada en la mitad de la distancia entro los puntos de apoyo (luz) como se puede observar en la (**Imagen 13**), posterior a ello se registraron los datos obtenidos de los valores máximos de carga antes de la ruptura, y el tipo de falla con su respectiva fotografía. Adicional mente se generó un registro de información forma gráfica y numérica directa proporcionados por la maquina universal de flexión estática a través del Software Saturn plus®.



Imagen 13: Ensayo de flexión estática para el tratamiento de *Finger Joint* vertical.

Fuente: Autores 2024.

Después de la prueba de flexión estática, se pudo identificar la causa de la falla a partir de la observación de cada una de las probetas falladas, la cual se debió a la madera, a la unión Finger Joint, a la presencia de nudos u otros defectos en la madera y se registra en una tabla de datos.

5.3 FASE 3: PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos recopilados comprenden la deformación (mm) y la fuerza aplicada (Kgf). La máquina universal de ensayos genera un gráfico donde el eje vertical representa la fuerza aplicada y el horizontal la deformación, como se muestra en la **Imagen 14**. Sin embargo, esta representación gráfica no permite calcular el módulo de rotura Rmax ($Kgf.cm^2$), el esfuerzo en el límite proporcional RLP ($Kgf.cm^2$) y el módulo de elasticidad E ($Kgf.cm^2$) debido a que la maquina universal no genera información desde el origen (0,0). Para abordar esta limitación, los datos de fuerza y deformación se procesaron utilizando la **Ecuación 4 y Ecuación 5**, las cuales permiten la obtención de la **Imagen 15.**

Ecuación 4: Deformación corregida.

$$Deformación\ corregida: D_x - D_1$$

Donde:

D_x: Primer dato de deformación.

D_1: primer dato de deformación para llevar deformación a 0

Ecuación 5: Fuerza aplicada corregida.

$$Fuerza\ aplicada\ corregida = F_x - F_1$$

Donde:

F_x: Primer dato de fuerza

F_1: Primer dato de Fuerza para llevar deformación a 0

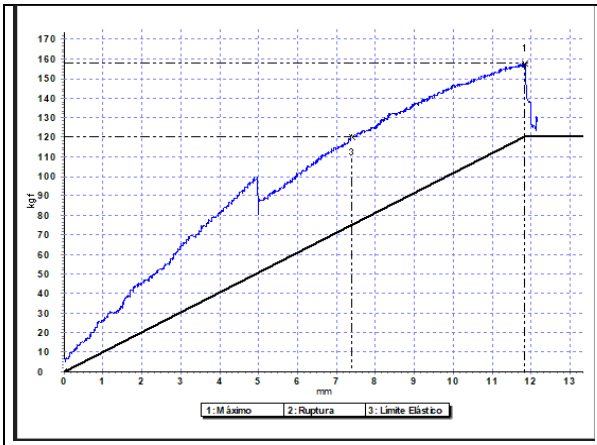


Imagen 14 Grafica de la curva de flexión estática de la deformación en (mm) y la carga en (kgf), arrojada por la máquina de ensayos.

Fuente: Autores 2024

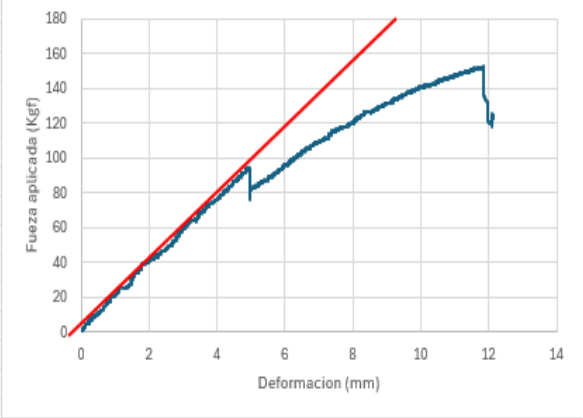


Imagen 15 Grafica de la curva de flexión estática de la deformación en (mm) y la carga en (kgf), procesado después de aplicar la ecuación 1 y 2.

Fuente: Autores 2024

5.3.1 MODULO DE RUPTURA Rmax

Para el cálculo del módulo de ruptura en cada una de las probetas es necesario conocer la carga máxima soportada y las dimensiones de la probeta, en la **Ecuación 6,** se establecen los parámetros para su determinación.

Ecuación 6: Módulo de rotura (Rmax).

$$Rmax = \frac{3 \times P \times L}{2b \times h^2}$$

Donde:

Rmax: Modulo de ruptura.

P: Carga máxima que soporto la probeta al momento de la ruptura (Kgf).

L: distancia entre apoyos, luz (mm).

b: Ancho de la probeta (mm).

h: Altura del elemento.

5.3.2 RESISTENCIA EN EL LIMITE PROPORCIONAL (RLP)

Para calcular los valores del esfuerzo en el límite proporcional, es fundamental determinar el P_{lp}, que representa la carga en el límite proporcional de cada probeta. Este valor se obtiene a partir del gráfico realizado (**Imagen 14**) trazando una línea recta con la pendiente de la curva de flexión estática de deformación (mm) vs. carga (kgf), como se ilustra en la **Imagen 15**. Al separarse la recta de la curva, se toma el dato correspondiente a la carga para obtener el P_{lp}.

Ecuación 7: Esfuerzo en el límite proporcional (RLP).

$$RLP = \frac{3\ x\ P_{ip} x\ L}{2x\ bx\ h^2}$$

Donde:

RLP: esfuerzo en el límite proporcional.

P_{lp}: Carga en el límite proporcional (Kgf).

b: Ancho de la probeta (mm).

h: Altura del elemento.

5.3.3 MODULO DE ESLASTICIDAD (E)

Para el cálculo del módulo de elasticidad se hace necesario conocer la deformación en el límite proporcional que se da en P_{lp} de cada una de las probetas.

Ecuación 8: Módulo de elasticidad (E).

$$E = \frac{p_{ip} \times L^3}{48\ x\ \lambda\ x\ I}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

Donde:

P_{lp}: Carga en el límite proporcional (Kgf).

L: Distancia entre apoyos, luz (mm).

I: Momento de inercia.

λ: Deformación en el límite proporcional donde se da la carga en el límite proporcional.

b: Es la base de la probeta.

h: Es la altura de la probeta.

5.3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS

La información recopilada fue procesada utilizando software especializado, Excel® y R Studio®. Posteriormente, se aplicó una normalización logarítmica en base 10 a los datos obtenidos. Sin embargo, no se logró obtener un resultado satisfactorio con esta normalización. Por lo tanto, se realizaron pruebas adicionales para evaluar la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk a través del software R Studio®.

Dado que los datos no presentaron normalidad, se llevó a cabo la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para identificar posibles diferencias significativas entre los tratamientos, utilizando un valor de significancia del 0.05. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Wilcoxon (prueba post hoc), la cual permite identificar diferencias significativas entre grupos utilizando la mediana como variable de interés

Como el propósito del estudio es seguir los lineamientos de la norma sismo resistente (NSR – 10) se procedió a depuración de outliers para garantizar la calidad y validez de los resultados ya obtenidos los valores se llevó a cabo un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%, donde se examinó la normalidad de los datos a través de la estadística descriptiva. Esto incluyó la obtención del promedio (**Ecuación 1**), la desviación estándar (**Ecuación 2**) y el coeficiente de variación (**Ecuación 3**) de las probetas utilizadas.

Esta evaluación permitió determinar si existían diferencias significativas en el objeto de estudio. Para profundizar en el análisis de las diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey, estableciendo intervalos de confianza que proporcionaron un criterio más sólido.

Adicionalmente, se utilizó la prueba de Bartlett para evaluar la homocedasticidad y asegurarse de que la variabilidad de los datos fuera constante en todas las condiciones del estudio. En conjunto, estas pruebas permitieron obtener una comprensión más completa y rigurosa de los resultados del análisis de varianza.

6 RESULTADOS

La **tabla 6 y 7** muestra el número de la probeta junto con sus dimensiones correspondientes de base (b), altura (h) y longitud (l) en milímetros(mm), así como su peso en gramos (g) y la densidad respectiva en kg/cm³ para cada uno de los tratamientos.

Tabla 6 Dimensiones, peso y densidad de las probetas por cada tratamiento.

Tratamiento	N.º probeta	Base	Altura	Longitud	Peso	Densidad	Tratamiento	N.º probeta	Base	Altura	Longitud	Peso	Densidad
***Finger Joint* Vertical**	1	1,88	3,42	55,10	225,30	0,64	***Finger Joint* Horizontal**	1	6,94	1,82	42,10	342,40	0,64
	2	1,86	3,43	55,10	213,20	0,61		2	6,97	1,83	42,20	342,20	0,64
	3	1,81	3,48	55,30	252,10	0,72		3	6,92	1,82	42,10	292,60	0,55
	4	1,86	3,46	55,50	253,80	0,71		4	6,96	1,87	42,00	337,00	0,62
	5	1,82	3,47	55,20	276,30	0,79		5	6,95	1,84	42,00	352,70	0,66
	6	1,84	3,51	55,30	224,70	0,63		6	6,96	1,85	42,10	316,70	0,58
	7	1,85	3,45	55,20	255,00	0,72		7	6,95	1,83	42,20	328,00	0,61
	8	1,83	3,46	55,10	232,30	0,67		8	6,95	1,84	42,10	369,70	0,69
	9	1,79	3,46	55,10	230,60	0,68		9	6,95	1,83	42,20	388,00	0,72
	10	1,79	3,46	55,10	230,60	0,68		10	6,95	1,83	42,20	369,70	0,69
	11	1,85	3,45	55,10	255,00	0,73		11	6,94	1,83	42,20	328,00	0,61
	12	1,82	3,46	55,10	232,30	0,67		12	6,95	1,83	42,10	388,00	0,72
	13	1,81	3,50	55,50	161,40	0,46		13	6,93	1,80	38,00	242,00	0,51
	14	1,79	3,46	55,50	139,40	0,41		14	7,03	1,80	38,00	214,10	0,45
	15	1,79	3,40	55,50	146,60	0,43		15	6,91	1,87	38,00	239,80	0,49
	16	1,82	3,46	55,00	245,50	0,71		16	6,94	1,82	42,00	335,30	0,63
	17	1,80	3,40	55,10	220,40	0,65		17	6,90	1,81	42,00	341,70	0,65
	18	1,81	3,44	55,30	180,90	0,53		18	6,98	1,82	41,90	345,10	0,65
	19	1,85	3,47	54,90	240,90	0,68		19	6,94	1,83	41,90	342,70	0,64
	20	1,81	3,48	54,90	216,00	0,62		20	6,93	1,84	41,90	339,50	0,64
	21	1,83	3,48	54,90	231,00	0,66		21	6,94	1,79	41,90	362,70	0,70
	22	1,80	3,43	55,20	200,70	0,59		22	6,88	1,62	41,80	300,30	0,64
	23	1,80	3,45	55,30	227,10	0,66		23	6,95	1,64	41,80	355,30	0,75
	24	1,81	3,38	55,20	198,60	0,59		24	6,94	1,62	41,80	265,60	0,57
	25	1,82	3,47	233,90	55,20	0,04		25	6,94	1,82	42,00	415,30	0,78
	26	1,82	3,43	225,60	55,20	0,04		26	6,93	1,83	42,00	346,50	0,65
	27	1,78	3,43	218,10	55,20	0,04		27	6,91	1,82	42,00	377,20	0,71
PVA	1	6,96	1,52	42,20	275,80	0,62	**Carpincol**	1	6,94	1,64	41,00	268,10	0,57
	2	6,43	1,64	42,00	319,00	0,72		2	6,94	1,64	42,10	271,80	0,57
	3	6,86	1,64	42,00	230,00	0,49		3	6,84	1,52	41,90	269,40	0,62
	4	6,90	1,60	41,80	232,40	0,50		4	6,98	1,69	42,00	300,20	0,61
	5	6,90	1,60	41,80	247,30	0,54		5	6,98	1,65	42,00	238,50	0,49
	6	6,90	1,60	41,80	298,40	0,65		6	7,01	1,65	42,00	319,40	0,66
	7	6,96	1,64	42,00	306,80	0,64		7	6,97	1,64	42,10	259,60	0,54
	8	6,95	1,63	42,00	248,10	0,52		8	6,94	1,64	42,00	264,80	0,55

Tratamiento	N.º probeta	Base	Altura	Longitud	Peso	Densidad	Tratamiento	N.º probeta	Base	Altura	Longitud	Peso	Densidad
	9	6,64	1,64	42,00	281,90	0,62		9	7,00	1,65	42,10	299,20	0,62
	10	6,96	1,64	42,10	259,60	0,54		10	6,59	1,64	42,00	306,80	0,68
	11	6,94	1,64	42,00	264,80	0,55		11	6,94	1,62	42,00	248,10	0,53
	12	6,99	1,65	42,10	299,20	0,62		12	6,96	1,64	42,00	281,90	0,59
	13	6,92	1,60	42,00	291,30	0,63		13	6,98	1,63	42,00	293,70	0,61
	14	6,88	1,61	42,00	270,80	0,58		14	6,75	1,62	42,00	126,20	0,27
	15	6,83	1,63	42,00	143,40	0,31		15	6,97	1,60	42,00	214,60	0,46
	16	6,96	1,68	42,00	264,30	0,54		16	6,86	1,65	41,70	219,20	0,46
	17	6,92	1,65	41,90	307,30	0,64		17	7,00	1,63	42,00	298,50	0,62
	18	6,75	1,62	42,00	252,90	0,55		18	6,94	1,67	41,80	251,00	0,52
	19	6,97	1,63	41,90	243,00	0,51		19	6,93	1,62	42,00	268,80	0,57
	20	6,94	1,03	41,80	320,70	1,07		20	6,97	1,65	42,00	234,30	0,49
	21	7,01	1,04	41,90	297,20	0,97		21	6,95	1,67	41,90	269,30	0,55
	22	6,96	1,85	42,00	354,30	0,66		22	6,93	1,60	42,00	214,10	0,46
	23	6,91	1,80	42,00	343,00	0,66		23	6,88	1,61	41,80	266,00	0,58
	24	6,92	1,80	42,00	342,50	0,65		24	6,91	1,61	42,00	228,10	0,49
	25	6,96	1,65	32,50	203,90	0,55		25	6,97	1,63	42,00	249,40	0,52
	26	6,96	1,63	33,20	201,70	0,54		26	7,00	1,63	42,00	266,90	0,56
	27	6,94	1,65	33,50	182,50	0,48		27	6,96	1,63	42,00	235,30	0,49

Fuente: Autores 2024

Tabla 7 Dimensiones, peso y densidad de las probetas testigo.

Tratamiento	N.º probeta	Base	Altura	Longitud	Peso	Densidad
Testigo	1	7,141	2,347	50,252	506,70	0,60
	2	7,378	2,415	50,023	675,10	0,76
	3	7,252	2,327	46,944	627,00	0,79
	4	7,044	2,098	50,2	529,60	0,71
	5	7,252	2,374	49.979	686,20	0,00
	6	7,253	2,332	49,984	590,50	0,70
	7	7,21	2,381	50,005	516,80	0,60
	8	7,214	2,457	50,004	572,10	0,65
	9	7,202	2,408	50,01	560,10	0,65
	10	7,316	2,383	49,97	554,30	0,64
	11	7,291	2,41	49,956	643,70	0,73
	12	7,083	2,24	50,069	482,90	0,61
	13	7,086	2,154	49,997	599,00	0,78
	14	7,051	2,186	50,213	515,10	0,67
	15	7,301	2,484	50,145	646,30	0,71
	16	7,443	2,355	50,252	590,50	0,67
	17	7,187	2,349	50,023	516,80	0,61
	18	7,026	2,206	49,944	572,10	0,74
	19	7,259	2,441	50,2	560,10	0,63
	20	7,332	2,667	49,979	554,30	0,57
	21	7,298	2,341	49,984	643,70	0,75

Tratamiento	N.º probeta	Base	Altura	Longitud	Peso	Densidad
	22	7,274	2,328	50,105	482,90	0,57
	23	7,068	2,053	50,004	599,00	0,83
	24	7,231	2,423	50,11	515,10	0,59
	25	7,232	2,398	49,97	646,30	0,75
	26	7,241	2,416	49,956	586,00	0,67
	27	7,256	2,417	50,217	589,20	0,67
	28	7,364	2,413	50,2614	592,40	0,66
	29	7,239	2,32	50,3058	595,60	0,70
	30	7,203	2,39	50,12	598,80	0,69

Fuente: Autores 2024

La **Tabla 8** informa el número de probetas por tratamiento que fallaron a causa de algunos defectos presentes en la madera, como pueden ser el encolado, los dientes del *Finger Joint* o las propiedades naturales de la misma madera (nudos, dirección del grano entre otros). adicionalmente se muestran algunas de las fallas presentadas **Imagen 16**, resultado de las pruebas de flexión estática realizadas.

Tabla 8 Tipos de fallas y defectos en la madera presentes en las probetas de los diferentes tratamientos.

Tratamientos	**Tipo de fallas y defectos en la madera.**			
	Dientes	Encolado	Nudos	Madera
Col	0	8	9	16
***Finger Joint* horizontal**	4	18	4	6
***Finger Joint* vertical**	14	10	3	9
PVA 3030	0	2	8	22
Total	18	38	24	53

Fuente: Autores 2024.

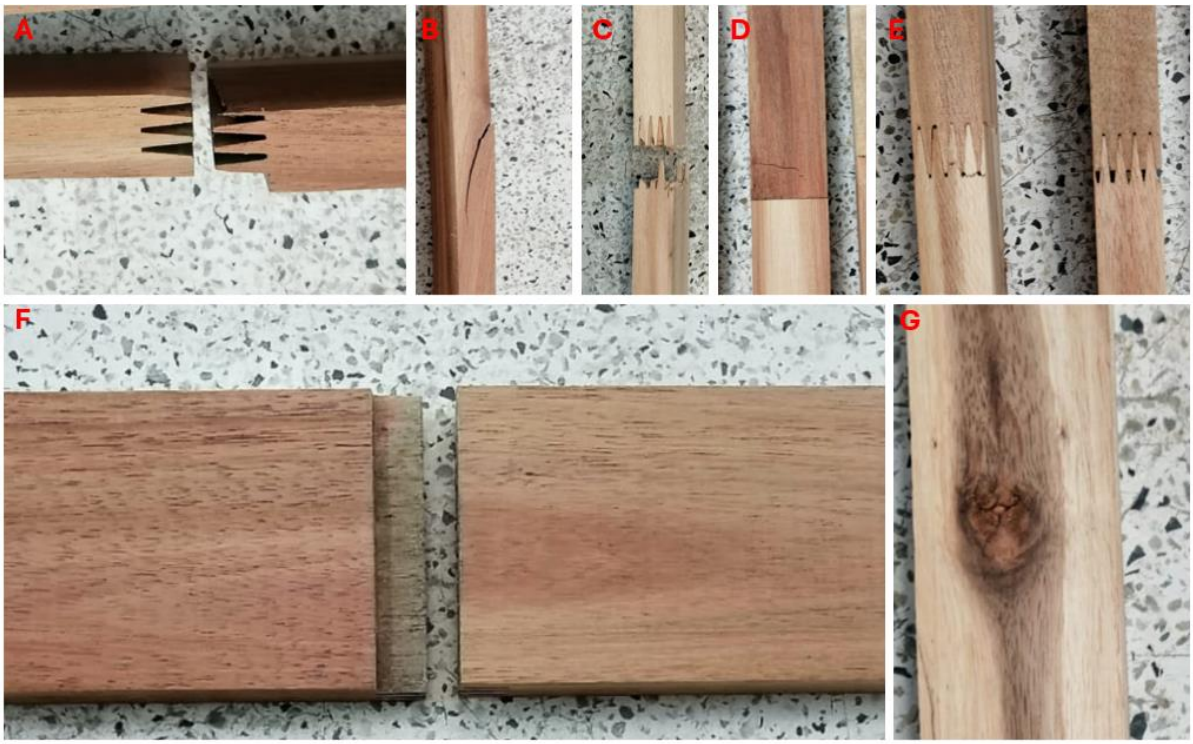


Imagen 16 Defectos y fallas en madera sometida a prueba A) Desprendimiento por adhesivo; B) Ruptura en sentido de la fibra; C, D) Ruptura por diente unión *Finger Joint*; E) Ruptura por diente y desprendimiento de adhesivo; F) Desprendimiento de adhesivo en *Finger Joint* vertical; G) Nudo presente en la madera

Fuente: Autores 2024.

A continuación, se da a conocer los resultados de las pruebas de flexión estática para cada uno de los tratamientos registrado los valores medios de resistencia RLP, RMAX y E junto con los valores de desviación estándar y coeficiente de variación estos coeficientes de variación tomando el total de los datos por tratamiento **Tabla 9.**

La **Tabla 9** describe el número de datos por tratamiento, nombre del tratamiento, el valor promedio, valor máximo, mínimo registrado, desviación estándar y el coeficiente de desviación del RLP, Rmax y E respectivamente

Tabla 9 Valores promedio para RLP, RMAX, E en Kgf/cm^2 con desviación estándar y coeficiente de variación.

n inicial	Tratamiento	Valores	RLP	RMAX	E
27	*Finger Joint* vertical (FV)	Promedio	113,35	435,34	88965,48
		Min	50,10	95,54	30998,19
		Max	200,23	611,05	264342,70
		Desvest	38,38	130,28	43290,41

		CV	0,339	0,299	0,487
27	*Finger Joint* horizontal (FH)	Promedio	123,56	268,06	78678,53
		Min	36,86	82,18	16472,02
		Max	515,64	1144,09	286293,60
		Desvest	91,30	190,51	48040,86
		CV	0,739	0,711	0,611
27	PVA	Promedio	285,51	749,94	120235,87
		Min	115,89	345,40	49464,34
		Max	706,03	2050,27	343418,96
		Desvest	163,06	360,92	66337,41
		CV	0,571	0,481	0,552
27	COL	Promedio	227,85	601,87	92913,99
		Min	122,05	346,59	58195,01
		Max	518,42	1047,52	135898,93
		Desvest	118,26	206,15	21195,40
		CV	0,519	0,343	0,228
27	Testigo	Promedio	80,21	1373,18	47775,15
		Min	51,13	893,88	30425,47
		Max	106,94	1841,02	72686,52
		Desvest	14,11	246,61	9688,65
		CV	0,176	0,180	0,203

Fuente: Autores 2024.

Se empleo la prueba de Kruskal Wallis con la finalidad de ver diferencias significativas en las variables de interés (RLP, Rmax y E), observando así que los valores P obtenidos para cada una de estas están por debajo de 0,05 lo que indica que hay diferencias significativas entre las variables. **Tabla 10.**

Tabla 10 Prueba de Kruskal – Wallis.

Kruskal-Wallis			
Variable	Chi-Scuared	Df	P
RLP	77,975	4	4,68E-13
Rmax	95,808	4	2,20E-16
E	59,502	4	3,69E-09

Fuente: Autores 2024.

La prueba de Wilcoxón se empleó como una prueba *post hoc* para discernir cuáles tratamientos exhiben diferencias significativas entre sus medias. A continuación, se presenta la **Tabla 11**

donde se indican las diferencias significativas entre tratamientos sobre las tres (3) variables de interés (RLP, Rmax y E).

Tabla 11 Prueba de Wilcoxón.

	Variable	FV	FH	PVA	COL	Testigo
FV	RLP	-	-	-	-	-
	Rmax	-	-	-	-	-
	E	-	-	-	-	-
FH	RLP	N. S	-	-	-	-
	Rmax	***	-	-	-	-
	E	N. S	-	-	-	-
PVA	RLP	***	***	-	-	-
	Rmax	***	***	-	-	-
	E	N. S	***	-	-	-
COL	RLP	***	***	N. S	-	-
	Rmax	***	***	N. S	-	-
	E	N. S	***	N. S	-	-
Testigo	RLP	***	***	***	***	-
	Rmax	***	***	***	***	-
	E	***	***	***	***	-

Fuente: Autores 2024.

N.S: No hay diferencias significativas.
**: Diferencias al 95%.
***: Diferencias al 99%.

Se presentan en la **Tabla 12** los resultados de las pruebas de flexión estática RLP, RMAX y E, para cada uno de los tratamientos, incluyendo los valores promedio, mínimos, máximos de resistencia, así como los valores de desviación estándar y coeficiente de variación. Para asegurar que los coeficientes de variación solicitados en la NRS-10 sean cumplidos, se presentan los resultados obtenidos con la depuración de outliers, generando así datos con comportamiento normal.

Tabla 12 Valores promedio para RLP, RMAX, E en Kgf/cm^2 con desviación estándar y coeficiente de variación de los datos con la depuración de outliers.

n final	Tratamiento	Valores	RLP	RMAX	E
11	*Finger Joint* vertical (FV)	Promedio	120,73	499,42	91206,72
		Min	90,39	370,55	64147,87
		Max	144,29	607,62	120010,76
		Desvest	16,55	71,27	16175,54
		CV	0,137	0,143	0,177
10	*Finger Joint* horizontal (FH)	Promedio	113,42	220,26	68963,32
		Min	85,22	177,82	44898,06

		Max	137,39	256,60	84490,95
		Desvest	16,98	27,61	14973,27
		CV	0,150	0,125	0,217
7	PVA	Promedio	139,03	490,08	88576,37
		Min	115,89	394,61	72227,58
		Max	169,89	576,39	99466,16
		Desvest	21,22	73,54	9149,24
		CV	0,153	0,150	0,103
11	COL	Promedio	139,49	418,77	80627,50
		Min	122,05	346,59	58195,01
		Max	164,25	533,57	110778,05
		Desvest	13,70	64,92	15627,17
		CV	0,098	0,155	0,194
25	Testigo	Promedio	80,21	1373,64	47139,81
		Min	51,13	974,39	30425,47
		Max	106,60	1803,63	72686,52
		Desvest	12,49	217,24	9786,50
		CV	0,156	0,158	0,208

Fuente: Autores 2024.

Para los cinco (5) tratamientos evaluados y las tres (3) variables calculadas (RLP, RMAX, E), se llevó a cabo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. El valor de P obtenido (0,1539) sugiere que los datos presentan una distribución normal a un nivel de confianza del 95%. Con la normalidad de los datos verificada, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para determinar la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos para cada variable evaluada. En el caso de cada variable (RLP, RMAX y E), se obtuvieron valores de P inferiores a 0,05 (2e-16, 2e-16 y 3.24e-14, respectivamente). Por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95% o un 5% de significancia, indicando la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos para cada variable. Estos resultados respaldan la necesidad de realizar pruebas post hoc específicas y de verificar la homocedasticidad para obtener una comprensión más detallada de las diferencias entre tratamientos en cada variable, **Tabla 13.**

Tabla 13 Resultados de ANOVA para las variables (RLP, Rmax, E).

	Grados de libertad	**Suma de cuadrados**	**Media de cuadrados**	**F**	**P>F**
			RLP		
Tratamiento	4	38967	9742	42,09	2E-16
Residuales	59	13655	231		
			Rmax		

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	P>F
Tratamiento	4	14832659	3,71E+06	173	2E-16
Residuales	59	1264860	21438		
		MOE			
Tratamiento	4	21520000000	5,38E+09	32,13	3,24E-14
Residuales	59	9877000000	1,67E+08		

Fuente: Autores 2024

La prueba de Tukey se empleó como una evaluación *post hoc* para discernir cuáles tratamientos exhiben diferencias significativas entre sus medias. A continuación, se presenta la **Tabla 14** donde se indican las diferencias significativas entre tratamientos y un box plot, **Imagen 16,17** y **18** que muestran el comportamiento de las tres (3) variables de interés (RLP, E y Rmax).

Tabla 14 Prueba Post hoc Tukey.

	Variable	FV	FH	PVA	COL	Testigo
FV	RLP	-	-	-	-	-
	Rmax	-	-	-	-	-
	E	-	-	-	-	-
FH	RLP	N. S	-	-	-	-
	Rmax	**	-	-	-	-
	E	**	-	-	-	-
PVA	RLP	N. S	**	-	-	-
	Rmax	N. S	**	-	-	-
	E	N. S	N. S	-	-	-
COL	RLP	N. S	**	N. S	-	-
	Rmax	N. S	N. S	N. S	-	-
	E	N. S	N. S	N. S	-	-
Testigo	RLP	***	**	***	***	-
	Rmax	***	***	***	***	-
	E	***	***	***	***	-

Fuente: Autores 2024.

N.S: No hay diferencias significativas.
**: Diferencias al 95%.
***: Diferencias al 99%.

Para la variable RLP se encuentra que en particular se identificaron diferencias significativas al 95% hay diferencias entre FH-PVA, FH-COL, FH-Testigo, mientras que al 99% se presentaron diferencias entre PVA-Testigo, COL-Testigo, FV-Testigo y no se presentaron diferencias significativas entre FV-COL, FV-FH, FV-PVA y PVA-COL. Para la variable Rmax

se observó que hay diferencias significativas al 95% entre FV-FH, FH-PVA, al 99% hay diferencias entre FV-Testigo, FH-Testigo, PVA-Testigo, COL-Testigo, finalmente no se presentaron diferencias significativas entre FH-COL, FV-PVA, FV-COL y PVA-COL. En la variable E se indica la presencia de diferencias significativas al 95% entre FV-FH, al 99% se entronaron diferencias entre los tratamientos FV-Testigo, FH-Testigo, PVA-Testigo, COL-Testigo, mientras que para los tratamientos FH-PVA, FV-PVA, FV-COL, FH-COL, PVA-COL, no se presentaron diferencias significativas.

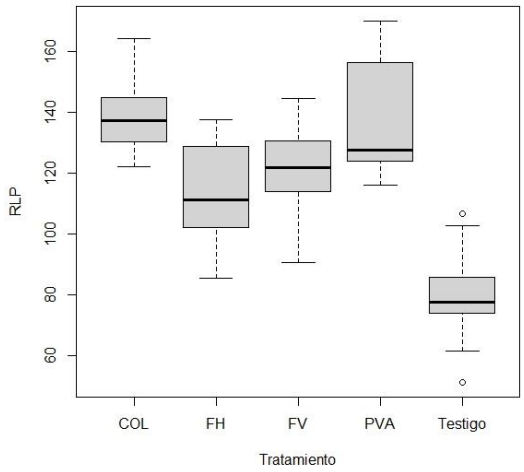


Imagen 17 Prueba de Tukey para RLP.

Fuente: Autores 2024.

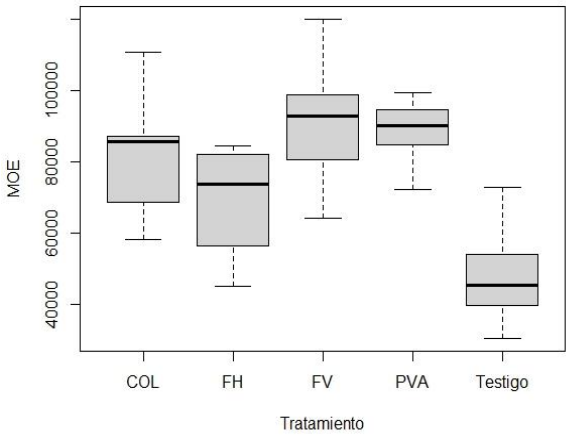


Imagen 18 Prueba de Tukey para MOE (E).

Fuente: Autores 2024.

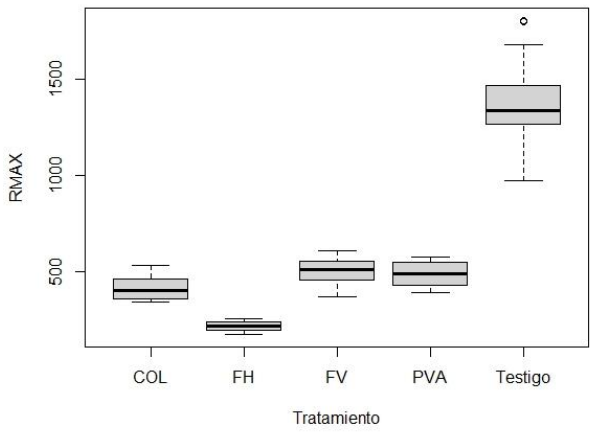


Imagen 19 Prueba de Tukey para RMAX.

Fuente: Autores 2024.

En la prueba ANOVA, se parte de la suposición de que las varianzas entre los grupos son aproximadamente iguales (homocedasticidad). Un valor p en la prueba de Bartlett, en este caso, 0.4398, como se muestra en la **tabla 15** indica la falta de evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad. Esta ausencia de evidencia para rechazar la homocedasticidad sugiere que la variabilidad entre los tratamientos es consistente. Este hallazgo refuerza la validez de los resultados obtenidos tanto del ANOVA como de la prueba de Tukey, ya que ambas pruebas presuponen homogeneidad de varianzas.

Tabla 15 Resultados prueba de Bartlett.

Prueba de Bartlett	
Bartlett's K-squared	37.576
Diferencia	4
P	0.4398

Fuente: Autores 2024.

6.1 CATEGORIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Se propone una clasificación de los resultados obtenidos basada en el comportamiento de las variables evaluadas. Esta clasificación se realizará mediante la asignación de calificaciones del 1 al 5, donde el valor 5 se otorgará al rendimiento más destacado. Posteriormente, asignaremos el valor 4 al segundo mejor rendimiento, y así sucesivamente, de manera iterativa. Esta metodología nos permitirá categorizar los resultados en función de su desempeño relativo en relación con cada una de las variables consideradas. Adicionalmente se presenta una tabla de categorización por rangos donde se clasifican en tres (3) bueno, medio, bajo en función del pendiente.

Tabla 16 Categorización de los resultados obtenidos.

Tratamiento	Puntaje	Categoría	Rango
FV	12	Bueno	>10
PVA	11	Medio	<10>5
COL	10	Bajo	<5
Testigo	7		
FH	5		

Fuente: Autores 2024.

Los tratamientos que obtuvieron una clasificación Buena fueron FV, PVA y COL, mientras que los que obtuvieron una clasificación Medio, fueron Testigo y FH.

7 DISCUSIÓN.

Al realizar una comparación de los resultados de la presente investigación con otros estudios que evalúan la madera *Acacia mangium* Willd. mediante pruebas de flexión estática con diferentes tipos de adhesivo y MLE (**Tabla 18**), se observa una disminución en los valores de E, RLP y RMAX en comparación con los obtenidos por López (2013). Esta disparidad podría atribuirse al uso de distintos adhesivos, tales como Adhesivos Termoestables, Fenol Resorcinol Formaldehído, Adhesivo de Poliuretano y Melamina Urea Formaldehído (EPI, PRF, PUR y MUF), respectivamente, en comparación con los Adhesivos Termoplásticos empleados en el presente estudio (PVA 3030 y Carpincol Profesional), ambos producidos a base de polivinilo de acetato. Frihart & Hunt, (2010) mencionan como los adhesivos termoplásticos son polímeros de cadena larga que se ablandan proporcionando un fujo fácil al calentarse, y endurece cuando se enfría, lo que resulta en una menor resistencia al calor, humedad y la carga estática a largo plazo, mientras que los adhesivos termoestables son unos excelentes adherentes estructurales, generan cambios químicos irreversibles, de manera que al calentarse no se ablanda y no fluye, generando así una alta resistencia a la humedad y otros productos químicos, de manera que ofrecen una resistencia alta a las cargas estáticas sin sufrir deformaciones rápidas, por lo que se puede suponer que el adhesivo empleado fue un factor determínate en la variación de los valores comparados de E, RLP y Rmax.

Al hacer la comparación de las propiedades de los adhesivos (**Tabla 17**) se encuentra.

Tabla 17 Comparación de las propiedades de los adhesivos PVA 3030 y CARPINCOL.

Propiedades	PVA 3030	COL
Viscosidad	8000 - 15,000 mPa·s	20,000-30,000 mPa·s
Densidad	1075 kg/m³	1097 kg/m³
Concentración de PVA	44,5-47,5%	47-50%
Tiempo de prensado	7 min	20 min
PH	4.0-5,0	4.0-5,0
Color	Blanco	Rosa
Masa de reaccion	2-metil-2H-isotiazol-3 ona- y 1,2 bensoisotiazol 3(2H)ona	5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona Y 2-metil-2H-isotiazol-3-ona (3:1)
Costo por kilo	$ 22.874	$ 31.900

La viscosidad del PVA 3030 es menor, como se observa en la (**Tabla 17**). Esto contribuye a que el pegamento pueda fluir de manera más fácil, otorgando una disgtribución homogénea

sobre la superficie en que se aplica y una mejor penetración del adhesivo en los poros de la madera. A mayor número de poros penetrados, se logra una mejor adhesión entre las piezas. Asimismo, al presentar una menor viscosidad, hay una mayor facilidad para la penetración en los poros pequeños de la madera. Como lo menciona Blomquist (1983), la penetración de adhesivos en la madera ha sido demostrada como un factor crucial para incrementar la resistencia de la unión encolada. Carmona et al. (1997). Por lo tanto, la menor viscosidad en el PVA 3030 es uno de los factores que beneficiaron ligeramente los resultados en RMAX y E en comparación con el CARPINCOl.

La densidad de los adhesivos también puede influir en la penetración de los poros de la madera, en la (**Tabla 17**) , se puede observar que la densidad de los dos adhesivos no varía en gran medida, sin embargo, un adhesivo menos denso puede facilitar la penetración en los poros en manera que pueda fluir e infiltrarse de una manera más profunda en la madera lo que resulta en una mejor adhesión.

Para los tiempos de prensado, el PVA 3030 presenta un valor menor que el CARPINCOL indicando que el tiempo de secado del adhesivo en la madera es más rápido, esta característica es importante porque puede reducir los tiempos de producción de las piezas de madera encoladas.

En cuanto a la composición química, la masa de reacción de cada uno de los pegamentos presenta propiedades antimicrobianas y fungicidas (Fishersci, 2024; ECHA, 2015). A pesar de que las propiedades antimicrobianas no están relacionadas con la resistencia a flexión, los compuestos que presentan actividad antimicrobiana son más estables y duraderos debido a la resistencia que genera el adhesivo a la degradación por este tipo de agentes.

Al examinar la concentración de polivinilo de acetato en cada adhesivo por kilogramo, se aprecia una similitud en el rango entre ellos, aunque CARPINCOL exhibe una leve elevación en comparación. Sin embargo, debido a que ambos adhesivos se encuentran dentro de un rango similar, difieren poco en los resultados promedio de las características estructurales de Rmax, RLP y E (**Tabla 18**).

Cuando evaluamos los costos y la disponibilidad de los adhesivos utilizados, se hace evidente que el adhesivo PVA 3030 presenta un costo menor en comparación con el adhesivo CARPINCOL. A pesar de esta diferencia, es crucial tener en cuenta que el PVA 3030 es menos frecuente en el mercado colombiano en contraste con el CARPINCOL.

A pesar de que el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) prohíbe el uso de adhesivos tipo PVA para elementos estructurales, incluso en uniones tipo Finger Joint, y la norma ICONTEC NTC 2500 regula la calidad de los adhesivos que se pueden utilizar para MLE, los resultados de resistencia de los elementos sometidos a prueba son notables. Resulta interesante señalar que Polanco (2019) logra valores positivos de resistencia mediante la selección cuidadosa de materiales, la minimización de defectos en la madera mediante un mayor control en la metodología de encolado y los procesos de producción. Además, destaca la efectividad de los adhesivos tipo MUF y EPI para la fabricación de MLE, respaldando la explicación de por qué los valores de resistencia en las pruebas realizadas por López (2013) son más elevadosg.**1** Comparación de datos para las variables E, RLP y Rmax.

Tabla 18 Comparación de datos para las variables E, RLP y Rmax.

Fuente	**Tratamiento**	**Propiedad mecánica**		
		E	**RLP**	**Rmax**
Soracá & Soler (2023)	FV	91.206,73	120,73	499,42
	FH	68.963,32	113,42	220,26
	PVA	88.576,37	139,03	490,08
	Col	80.627,50	139,49	418,77
	Testigo	47.139,81	80,21	1.373,64
Polanco (2019)	Noroccidente de Colombia	162.135,48	820,87	1.263,43
	Oriente de Colombia	135.622,76	774,99	1.135,97
Sierra (2010); citado por Polanco (2019)	Noroccidente de Colombia	120.326,96	871,86	1.182,88
Arbeláez et al (2011)	FH	98.810,87	218,32	229,13
López & Polanco (2013).	EPI-350	106254,824	645,71	998,91
	MUF-350	115636,248	693,91	1156,75
	PRF-350	110843,564	603,9	995,4
	PUR-350	97689,176	502,4	946,93
Komariah (2015)	EPI-280 (3 láminas)	134093,18	-	727,9
	EPI-280 (5 láminas)	88817,612	-	486,6
	Madera maciza	121652,596	-	543,8

La resistencia para cada uno de los tratamientos utilizados por los autores e investigadores **Tabla 18**, tienen diferencias notables en cuanto a su valor de E, RLP y Rmax, esto se debe a que las dimensiones de las maderas utilizadas para cada una de las pruebas de flexión no son

iguales, además se evalúan diferentes tipos de encolado. Cuando se realiza una prueba de flexión estática la resistencia se relaciona con la sección transversal de la propia pieza, a esta sección se aplica una fuerza o carga, de manera que se produzca una deformación, la cual según la geometría de la pieza se puede determinar su resistencia o rigidez puede ser mayor o menor, de manera que, si las dimensiones de las muestras de madera son diferentes en ancho espesor y longitud, puede generar un cambio en las tensiones generadas afectando así las deformaciones producidas resultando en mayor o menor proporción las deflexiones entre vigas largas y cortas, o delgadas y gruesas como sugiere Komariah (2015).

Uno de los factores que puede influir en las variaciones resultantes de pruebas de flexión vistas en la **Tabla 18** es el origen geográfico de las piezas de la madera, por ejemplo, las maderas utilizadas en la presente investigación tienen procedencia de Puerto Gaitán Meta municipio ubicado en la zona central del país, donde se presentan suelos conformados por arcillas aluviales con diferentes grados de evolución con texturas variables, altamente influenciadas por sedimentación de los ríos (Londoño, 2000) y unas condiciones climáticas de temperatura media de 22°C a 34°C, altura de 149 m.s.n.m y precipitaciones entre los 2300 mm por año (Weather Spark, 2024), mientras que las pruebas realizadas por Polanco (2019) o Sierra (2010). fueron con maderas provenientes del Noroccidente de Colombia en el departamento de Córdoba donde los suelos son fértiles por la deposición de sedimentos, con suelos arcillosos y arenosos de orden Inceptisol (IGAC, 2009) y unas condiciones climáticas variables desde los 18°C a 28°C , altura entre los 0 a 3950 m.s.n,m con precipitaciones entre los 1000 a 3000 mm (Gobernación de Córdoba, 2012), o las pruebas realizadas Komariah (2015), con maderas provenientes de indonesia en Bogor al oeste de java, con suelos ricos en material volcánico con buena fertilidad, temperaturas entre los 21 y 32 °C altura media de 265 m.s.n.m y precipitación del mes más lluvioso de 275mm (Weather Spark, 2024). La madera puede presentar variaciones en las propiedades físicas y mecánicas entre árboles de la misma especie (Suirezs, 2009) estas variaciones genéticas se encuentran ligadas a la amplitud de la distribución geográfica y las variaciones en las características ambientales (Alía, et al. 2003), Gómez, Correa & Castruita (2021), mencionan que, para la formación de madera, se deben satisfacer de manera eficiente condiciones de soporte y transporte de agua, pero la formación de estos componentes es en gran medida una función de las condiciones climáticas y las variaciones de estas, idea que se fortalece con lo mencionado por Giménez, Moglia & Hernández, (2005) quienes mencionan que la proporción de albura y duramen es variable de un árbol a otro y dentro de una especie dependiendo de la edad, sitio, clima, suelo. Se puede decir entonces que si lo que se busca es

obtener mayores valores de resistencia a la deformación y capacidad de carga las condiciones climáticas son un factor fundamental ya que la formación de la madera tardía (elemento que proporciona características más resistentes en una especie forestal) es un proceso controlado por el clima como ya se ha demostrado anteriormente (Camarero, Guerrero, & Gutiérrez, 1997), lo que puede explicar las variaciones en las propiedades mecánicas presentadas.

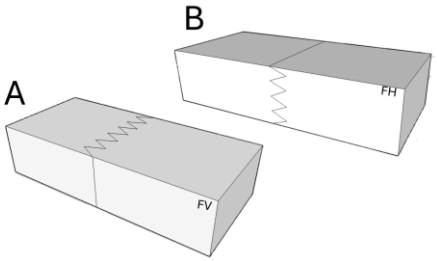


Imagen 20 Disposición de uniones Finger Joint A) Vertical; B) Horizontal.

Fuente: (Soracá, 2024)

En cuanto a las uniones de tipo *Finger Joint* evaluadas se puede ver que estas tienen dos (2) disposiciones, horizontal y vertical (**Imagen 20**), al realizar una comparación de las uniones empleadas en la presente investigación con las piezas de madera utilizadas por (Arbeláez, 2011) se encuentra que esta última obtuvo valores mayores para cada una de las propiedades estructurales, utilizando vigas laminadas rectas 6 cm x 15 cm x 300 cm de ancho, altura y longitud, las cuales están conformadas por 5 lamelas de 3 cm de espesor cada una, unidas con adhesivo MUF, mientras que para la investigación actual se utilizaron adhesivos a base de Polivinilo de acetato PVA y las dimensiones empleadas por cada pieza de madera sometida a prueba son menores, pese a esto las pruebas realizadas con *Finger Joint* vertical demostraron tener una capacidad de deformación elástica un poco más bajo al obtenido por Arbeláez (2011) y una resistencia a cargas elevadas superior, indicando así un mejor comportamiento en condiciones donde se esperan aplicar una fuerza significativa, esto es un resultado positivo ya que la madera demuestra un buen comportamiento de resistencia aunque se utilice un adhesivo con usos típicos para muebles, puertas lisas, laminados plásticos, sistemas de suelo y pared penalizados en viviendas prefabricadas, uso general en el hogar y en talleres. (Frihart & Hunt, 2010).

Un factor importante para tener en cuenta cuando se emplean maderas como elementos estructurales es el estado de esta misma y los defectos que se puedan presentar. Después de realizar una inspección detallada de cada una de las piezas de madera, tras la prueba de flexión

estática, se pudieron identificar de manera cualitativa las posibles causas de ruptura, como se muestra en la **Tabla 8**, Para los tratamientos de *Finger Joint* vertical, *Finger Joint* horizontal, PVA y COL, se observó que las causas más recurrentes de fallo en las pruebas de flexión se debieron a condiciones normales de la madera. Esto incluye la ruptura de las fibras bajo la presión aplicada o la ruptura en dirección del grano, siendo esta última responsable del 49% de los fallos. Además, la presencia de nudos en la madera fue significativa en cuanto al porcentaje de fallos, ya que el 22% de las probetas presentaron ruptura por esta razón se debe tener en cuenta que la posición de los nudos y tamaños afectan la resistencia mecánica de la madera como lo mencionan Nagai,Murata & Nakano, (2009) citado por (Polanco, 2019).

En segundo lugar, la causa más común de fallo entre los tratamientos de *Finger Joint* vertical y horizontal fue el desprendimiento del adhesivo utilizado, lo que indica que el 35% de los individuos mostraron deficiencias en la línea de cola. Además, el 17% de las maderas sometidas a presión fallaron debido a la ruptura en los dientes de unión en el *Finger Joint.*

Los resultados de la inspección cualitativa revelan que las condiciones normales de la madera y la presencia de nudos son las principales causas de fallo en las pruebas de flexión, seguidas por problemas relacionados con la adherencia del adhesivo y la integridad de los dientes de unión en el *Finger Joint.*

Al analizar la **Tabla 12**, se destaca que los tratamientos de *Finger Joint* vertical y horizontal muestran diferencias en cuanto a los valores obtenidos para el módulo de elasticidad (E), módulo de ruptura (RLP) y resistencia al límite proporcional (Rmax). Es evidente que el tratamiento de *Finger Joint* vertical presenta valores superiores en comparación con el tratamiento horizontal. Este hallazgo concuerda con la literatura existente, la cual sugiere que se espera que el perfil vertical sea aproximadamente un 9% más resistente que el perfil horizontal. Esta superioridad se atribuye a la mayor área de encolado que ofrece el perfil vertical (Batista et al.,2002). Al observar los valores de la tabla 14, se aprecia que los valores de Rmax y E presentan diferencias significativas al 95%, mientras que los valores de RLP no muestran diferencias significativas.

8 CONCLUSIÓNES

Se evaluó la resistencia mecánica de las líneas de cola y uniones tipo *Finger Joint* mediante la determinación de valores promedio de RLP, RMAX y E. Adicionalmente, se constató que la mayoría de las probetas experimentaron fallas en la madera en lugar de la unión, respaldando

la teoría de que el diseño de *Finger Joint* contribuye significativamente a la resistencia. En los tratamientos de *Finger Joint* vertical y horizontal, se observó un mayor número de fallos atribuibles al adhesivo en comparación con los tratamientos de PVA y CARPINCOL. Los defectos predominantes asociados con las fallas fueron la presencia de nudos y problemas en el encolado.

La resistencia mecánica de los tratamientos empleados en la investigación fue consignada en las tablas de resultados, donde se muestran los valores promedio obtenidos mediante procesamiento estadístico para las variables objetivo RLP, Rmax y E.

Según la clasificación de resultados propuestos, el tratamiento de *Finger Joint* vertical obtuvo la mejor resistencia mecánica. Los tratamientos que demostraron una resistencia mecánica regular son el PVA, Carpincol y el testigo, y por último, el tratamiento con la resistencia mecánica baja en comparación con los otros tratamientos es el *Finger Joint* horizontal.

Se concluye que a pesar de que los adhesivos empleados en la investigación son termoplásticos y a base de polivinilo de acetato, el Adhesivo PVA 3030 AkzoNobel- Interquim mostro un mejor desempeño en rendimiento para las variables Rmax y Modulo de elasticidad siendo un adhesivo que permite resistir una mayor carga y hace más rígida la pieza de madera donde se aplica, siendo menos susceptible a deformarse bajo una carga, en comparación con el Adhesivo Carpincol, sin embargo, este último demostró un mejor desempeño en la variable RLP lo que lo hace menos susceptible a deformaciones permanentes. Adicional mente el PVA 3030, es un adhesivo con un costo de mercado inferior al Carpincol profesional, pese a esto, es una marca menos accesible en el mercado que el Carpincol.

El ensamblaje de *Finger Joint* Vertical mostró una mayor resistencia en RLP, Rmax y E en comparación con el ensamblaje de *Finger Joint* Horizontal. Del mismo modo, el tratamiento con piezas ensambladas con PVA 3030 presentó valores superiores en las tres variables en comparación con el tratamiento CARPINCOL. Es importante destacar que todos los tratamientos registraron valores superiores en E y RLP, pero el Testigo mostró una mayor carga máxima soportada.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un control más riguroso en el proceso de línea de encolado, asegurando tiempos de fraguado óptimos. Esto contribuirá a que las piezas resultantes exhiban características mecánicas de mayor calidad. Asimismo, se aconseja clasificar las piezas de *Finger Joint* en función del número de defectos identificados. Esta clasificación permitirá

asignar las piezas de mejor calidad a aplicaciones que requieran un mayor esfuerzo, mientras que aquellas con un mayor número de defectos podrían destinarse a usos donde no se demanden esfuerzos elevados.

Para mejorar la calidad del proceso, se sugiere realizar investigaciones para establecer un procedimiento óptimo en la aplicación del adhesivo. La comparación entre diferentes tipos de adhesivos también resulta crucial para identificar cuál ofrece una mejor calidad en la unión, contribuyendo así a obtener características mecánicas superiores en las piezas resultantes.

Adicionalmente, se propone la revisión exhaustiva de las piezas destinadas a las uniones *Finger Joint* antes del encolado. Este paso permitirá identificar posibles defectos que podrían afectar el rendimiento de las piezas en su uso final. Es importante destacar que ciertos defectos pueden no tener un impacto significativo en un uso vertical, pero podrían ser más críticos en aplicaciones horizontales, y viceversa. La detección temprana de estos defectos resulta esencial para garantizar la durabilidad y eficacia de las piezas en su aplicación final.

10 REFERENCIAS

Abella-Sanclemente, C. S., Valois-Cuesta, H., & Polanco-Puerta, M. F. (2023). El árbol Acacia mangium (FABACEAE) facilita la recuperación de áreas mineras en la selva lluviosa del Chocó, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, *71*(1). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442023000100021

Afix. (s.f). *Pegamentos y adhesivos industriales- Carpincol*. Obtenido de Afix.com.co: https://afix.com.co/adhesivos-y-selladores/?categoria-producto=pva

AkzoNobel 3030, D3. (s. f.). One-component PVAc glue; RIGALIT Lietuva. https://rigalit.lt/en/adhesive-for-wood/2131-one-component-pvac-glue-akzonobel-3030-d3.html.

Alía, R., Agúndez, D., Alba, N., González Martínez, S., & Soto, A. (2003). Variabilidad genética y gestión forestal. Ecosistemas, XII (3), 1-7. obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/540/54012307.pdf

Arbeláez Alzate, E., & Gómez Chica, M. (2011). *Caracterización de las propiedades mecánicas de vigas en madera laminada con Acacia (Acacia Mangium Willd* Obtenido de https://repository.eia.edu.co/: https://repository.eia.edu.co/entities/publication/e8789f18-3e56-4ea2-92c9-9476ffcf9957

APAEWS. (2010). *APA The Engineered Wood Association.* Obtenido de APAWOOD.ORG: https://apawood.org/Data/Sites/1/documents/americalatina/ex_l440_la.pdf

Awang, K. Taylor (1993). D Acacia mangium: Growing and utilization. MPTS monograph series No. 3Organizations. [s.l: s.n].

Azambuja, M. (2006). *Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas.* Obtenido de https://teses.usp.br/: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-145050/pt-br.php

Batista, A., Rodrigo, M., Calil Jr, C., & Martínez, M. (2002). Evaluación de la resistencia a la tracción en elementos estructurales de madera con uniones dentadas. *Maderas. Ciencia y tecnología*, *4*(2), 168-178.

BEADLE, C. et al. (2007). Effect of pruning Acacia mangium on growth, form and heart rot. Forest Ecology and Management, v. 238, n. 1-3, p. 261-267, jan 2007

Bernal, R., G. Galeano, A. Rodríguez, H. Sarmiento y M. Gutiérrez. 2017. Nombres Comunes de las Plantas de Colombia. http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/

Blomquist, R. (1983). Adhesive bending ofwood and other structural materials. Educational and Modules for materials. Science and Ingineering Proyecto Pennsylvania State University, Materials Research Laboratory.

Caguasango Eraso, S. (2017). *Predicción de rendimientos para plantaciones de Acacia mangium Willd. en la altillanura plana a partir de variables biofísicas.* Universidad Nacional de Colombia.

Camarero, J., Guerrero, J., & Guitierrez, E. (1997). Formación del anillo de crecimiento y clima un ejemplo de modelos para Pinus uncinata RAM y Pinus sylvestris L. en los pirineos centrales. Obtenido de https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/Anillos-clima.pd

Carmona, R. J., Espinoza, F., & Bull, C. S. (1997). Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de Pinus radiata D.DON. Revista Ciencias Forestales, 12-13(1-2). Recuperado de http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a6.pdf

CO2CERO. (2022). *La acacia mangium en el pais.* Obtenido de CO2CERO: https://blog.co2cero.co/papel-acacia-mangium-pais

Dagnino, (2014). Análisis de Varianza, Rev Chil Anest 2014; 43: 306-310 https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf

Demkoff. (2003). *VIGAS LAMINADAS ESTRUCTURALES DE MADERA, SU FABRICACIÓN Y EMPLEO* . Obtenido de XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos: https://m1db.files.wordpress.com/2012/05/madera-laminada-demkoff.pdf

Díaz, G. P. (2013). Enfermedades de importancia económica asociadas a plantas de Acacia Mangium Recuperado de: http://hdl.handle.net/10554/16185.

DUPONNOIS, R Bâ, A. M. (1995). Growth stimulation of Acacia mangium Willd In some senegalense soils. Forest Ecology and Management, v. 119, n.1-3, p.209-2015, Jun 1995.

ECHA. (14 de abril de 2015). European Chemicals Agency. Obtenido de Biocidal Products Committee (BPC) Reaction mass of 5-chloro-2-methyl-2h-isothiazol-3-one and 2-

methyl-2h-isothiazol-3-one (3:1) Product type: 12: https://echa.europa.eu/documents/10162/2255290e-df37-4d87-a91b-71e15765dc2b

Exersl. (2021, 24 febrero). Adhesivos termoplásticos: capaces de soportar altas temperaturas. Recuperado 8 de marzo de 2024, de https://exer2000.com/adhesivos-termoplasticos

Falla, (2012). ANÁLISIS DE VARIANZA; https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf

FEDEMADERAS. (2023). *Acacia mangium, árbol con alto potencial para usar en construcciones.* Obtenido de https://fedemaderas.org.co/: https://fedemaderas.org.co/acacia-mangium-arbol-con-alto-potencial-para-usar-en-construcciones/

Fishersci. (2024). Compuestos organoheterociclicos; heteroaromaticos. Obtenido de Fisher Scientific part of Thermo Fisher Scientific: https://www.fishersci.es/es/es/browse/80013874/compuestos-heteroarom%C3%A1ticos?filter=undefined

Frihart, C., & Hunt, C. (2010). *Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance.* Obtenido de CHAPTER 10; www.fpl.fs.usda.gov/: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_10.pdf

Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., & Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. Revista Alergia México, 64(3), 364-370.

García Romero, A. M., & Monasterio Guisasola, N. (2018). Introducción a la ciencia de los materiales y sus propiedades (I). Universidad del País Vasco. Recuperado de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/51171/mod_resource/content/0/Tema%206-Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20los%20materiales.pdf

Giménez, A., Moglia, J., & Hernández, P. (2005). Universidad Nacional de Santiago del Estero Facultad de Ciencias Forestales Catedra de Dendrologia. Obtenido de Anatomía de la madera: https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf

Giraldo, V. (2007). *BENEFICIOS SOCIALES DE LAS PLANTACIONES FORESTALES Y SU POTENCIAL PARA APORTAR A LA CONSTRUCCION DE LA PAZ.* Obtenido de La Reforestacion en Colombia Visión de Futuro; FEDEMADERAS: https://fedemaderas.org.co/admin/documentos/Libro-FEDEMADERAS-La-Reforestacion-en-Colombia-Vision-de-Futuro.pdf

Gobernación de Córdoba. (2012). Plan Departamental para la Gestión del Riesgo de Córdoba (Colombia) obtenido de http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/367/PDGR%20Cordoba.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=31&zoom=100,109,421

Gómez-Guerrero, Armando & Correa-Díaz, Arián & Castruita Esparza, Luis. (2021). CAMBIO CLIMÁTICO Y DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

(CLIMATE CHANGE AND DYNAMICS OF FOREST ECOSYSTEMS). Revista fitotecnia mexicana publ. por la Sociedad Mexicana de Fitogenética. 44. 673-682. 10.35196/rfm.2021.4.673.

Habipi, B., & Ajdinaj, D. (2015). Wood finger-joint strength as function of finger length and slope positioning of tips. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, *2*(12), 257757.

Ibarra López, A. A. (2018). Desempeño de tres adhesivos en elementos laminados de madera de pinus radiata (D. Don), reforzada con fibras de carbono.

Imaz Gutiérrez, R. (2013). Capítulo 2. Fundamentos experimentales de la resistencia de materiales (Propiedades mecánicas de los materiales).https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2376/course/section/2364/Tema%202%20Resistencia.pdf

KIM, N.T2008). et al. Possibility of improvement in fundamental properties of Wood of Acacia hybrids by artificial hybridization. Journal of Wood Sciene, v. 55, n. 1, p8-12, 11 Nov 2008.

Komariah, R.N., Hadi, Y.S., Massijaya, M.Y., & Suryana, J. (2015). Physical-Mechanical Properties of Glued Laminated Timber Made from Tropical Small-Diameter Logs Grown in Indonesia. Journal of the Korean wood science and technology, 43, 156-167.

Krisnawati, H., Kallio, M., & Kanninen, M. (2011). *Acacia mangium Willd.: ecology, silviculture and productivity*. CIFOR.

López Agudelo, A., & Escobar García, J. (2021). Definición de la clase estructural de una especie de madera determinada a partir de muestras con alta comercialización en el mercado local de maderas estructurales.

López et al, (2014) Maderas. Especies comercializadas en el territorio CAR. Guía para su identificación / René López Camacho y otros. -- Bogotá: Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014. 120 páginas; 24 cm. ISBN 978-958-8897-1-101. Especies forestales - Cundinamarca (Colombia) 2. Bosques - Colombia – Cundinamarca (Colombia) 3. Madera - Mercadeo 4. Anatomía de la madera I. López Camacho, René II. Pulido Rodríguez, Nancy Esperanza III. González Martínez, Roy Orlando IV. Nieto Vargas, Jhon Edison V. Vásquez, Maribel Yessenia 634.97 cd 21 ed. A1471782

López, P. (2000). Perfil Socie-económico de cinco comunidades del municipio de puerto López (meta). Obtenido de Proyecto de planificación del uso del suelo a nivel comunitario en Colaboración del Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/Perfil_socio-economico_de_cinco_comunidades_del_municipio_de_Puerto_Lopez.pdf

López Yela, F. N., Polanco Tapia, C., y Bermúdez Escovar3, J. C. (2013). Caracterización mecánica estructural para veinte combinaciones de madera laminada encolada. Colombia forestal, 16(2), 138–157. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.2.a02

MADR. (2023). *Boletin forestal 2023*. Obtenido de https://fedemaderas.org.co/boletin-forestal-2023/

Mateus. (2012). Acacia Mangium, Una Especie Para Sembrar en Serio – Revista El Mueble y la Madera. http://revista-mm.com. Recuperado 17 de febrero de 2024, de http://revista-mm.com/especies/acacia-mangium-una-especie-para-sembrar-en-serio/

Muñoz-Acosta, F., & Moreno-Perez, P. A. (2013). Contracciones y propiedades físicas de Acacia mangium Willd., Tectona grandis L. f. y Terminalia amazonia A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 19(2), 287-303.

Pérez, R. (2010). *Nociones básicas de estadística*. Rigoberto Perez. 23-32.

Polanco, C. (2019). *Variación en la clasificación visual de madera aserrada y su impacto en la fabricación, comportamiento mecánico y estabilidad lateral en MLE de Campnosperma panamense Standl. y Acacia mangium Willd.* Obtenido de https://teses.usp.br/: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20032019-161353/es.php

Polanco, C., & Garcia, J. (2017). *REPORTE DE LA OBTENCIÓN DE MLE EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN*. Obtenido de https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/: https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T4-30.pdf

RAO, R. V.et al.(2012). Anatomical variation in the juvenile Wood of Acacias grown in the South Indian state of Kerala. Journal of the Indian Academy of Wood Science, v.8, n.2, p. 130-135, 16 May 2012.

Reyes, G., Carmona, S. L., & Fernández, M. E. (2018). Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de Acacia mangium Willd. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *12*(1), 244-253; http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732018000100244&script=sci_arttext

Rojas, A. R. F. (2006). Control estadístico de procesos. Madrid: universidad pontificia icai.

Sanchez Gomez, D. C. & Roa Lozano, S. (2015). Correlacion Entre La Densidad Y La Flexión Estática Para Eucalyptus globulus Labill. Procedente De La Sabana Cundiboyacense. Recuperado de: http://hdl.handle.net/11349/4915.

Sierra Mondragón, J. C. (2010). procedentes de diferentes localidades del Noroccidente de Colombia. Medellín.

Suirezs, T. M., & Berger, G. (2010). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera (1a ed.). Posadas: EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. (ISBN 978-950-579-154-5).

Unillanos 2019, https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-los-llanos/biologia/estado-de-arte-acacia-mangium/30916698

Urban, P. (2012). *Construcción de estructuras de madera.* Obtenido de https://indaga.ual.es/: https://indaga.ual.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991001885549004991&context=L&vid=34CBUA_UAL:VU1&lang=es&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=coleccionElectronica&query=sub,exact,Construccio%CC%81n%20de%20viviendas,AND&mode=advanced

Weather Spark. (2024). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Bogor. Obtenido de https://es.weatherspark.com/y/116902/Clima-promedio-en-Bogor-Indonesia-durante-todo-el-a%C3%B1o

Weather Spark. (2024). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Puerto Gaitán. Obtenido de https://es.weatherspark.com/y/25246/Clima-promedio-en-Puerto-Gait%C3%A1n-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

WEINIG. (2023). *Ensamble tipo finger joint con WEINIG: para obtener una unión estable.* Obtenido de https://www.weinig.com/: https://www.weinig.com/es/madera-maciza/procesos-de-mecanizado/ensamble-tipo-finger-joint.html#:~:text=Los%20ensambles%20tipo%20finger%20joint,que%20posteriormente%20siempre%20se%20pega

Zenaida, H. M. (2012). Métodos de análisis de datos: Apuntes. Universidad de la Rioja, España: Servicio de Publicaciones. Determinar el impacto de mejora significativo de un sistema de información web en el proceso trazabilidad de productos de ferretería en Lima.