

CAPÍTULO I

1. INTODUCCIÓN

La madera posee diversas características que no han podido ser sustituidas, tales como su ligereza, la belleza de su acabado natural, la facilidad de transporte y su ductilidad para ser trabajada con equipos y herramientas muy sencillas. Además, es adaptable al diseño y posee unas magníficas resistencias mecánicas en el sentido de sus fibras.

Todas estas cualidades han llevado, años de investigación y práctica constructiva, al uso cada vez más masivo de la madera. Se trata de la madera laminada encolada, es decir, elementos de madera formados por un conjunto de varias láminas superpuestas de madera, unidas mediante colas sintéticas. Con esta técnica se ha logrado fabricar piezas de madera más estables dimensionalmente con formas, longitudes, anchuras y cantos difíciles o imposibles de conseguir con una pieza de madera maciza.

Por su facilidad de montaje y altas resistencias, resulta ideal para determinar las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada como: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano y dureza, con esta información se podría otorgar el uso estructural, ya que la madera tiene características propias que la diferencian de otros materiales.

Su estudio ha ido evolucionando y han surgido nuevos productos que han ampliado su campo de aplicación; por lo que en la actualidad se busca cada vez más conocer y mejorar los diversos procesos que se vinculan con la industrialización de la madera; con la finalidad de mejorar su utilización y aprovechamiento.

En lo referente a investigaciones realizadas sobre las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada, en el país han sido escasas, debido principalmente a los altos costos de las pruebas de laboratorio o al poco interés que se tiene.

Las investigaciones realizadas a nivel nacional no han sido suficientes en el área técnica de la madera.

La determinación de propiedades mecánicas de madera laminada encolada, no ha sido desarrollada, pudiendo probablemente desaprovecharse esta madera en aplicaciones industriales donde puede ser utilizada.

Al realizar los estudios de las propiedades mecánicas en madera laminada encolada, se contará con información técnica necesaria para el uso estructural, permita realizar la clasificación de la madera según sus propiedades mecánicas.

1.1.JUSTIFICACIÓN

La madera ha estado continuamente presente en las actividades del hombre, desde siempre el ser humano ha tenido la necesidad de construir y refugiarse en una vivienda debido a que es el factor más importante en el hábitat humano.

Aunque la madera ha sido un material muy abundante en nuestro país, su uso se ha dedicado principalmente a la carpintería para muebles, postes, acabados y como combustible en las regiones rurales. La madera laminada encolada como material estructural se emplea muy poco e inadecuadamente, su uso puede ser amplio tanto en vigas, columnas y otras estructuras para la construcción, su utilización sin la previa realización de estudios y ensayos de laboratorio, o sin conocer sus propiedades mecánicas, es la causa de un precipitado deterioro de viviendas o estructuras realizadas con dicho material.

Por estas razones, el presente trabajo pretende determinar las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae* L.) ya que con los resultados obtenidos se establecerá el uso estructural adecuado que tiene esta especie, así mismo buscar sus posibles campos de aplicación y así generar nuevas alternativas de aprovechamiento de maderas tropicales en la construcción.

Sobre la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae* L.) se han realizado investigaciones dirigidas a sus propiedades físicas y mecánicas, pero no así en investigaciones de madera laminada encolada sometidas a ensayos de resistencia mecánica, el Lapacho por su densidad, color y dureza, se puede utilizar para los

siguientes fines: muebles finos, lineales y torneados, puertas, ventanas, chapas decorativas, molduras, construcción y carpintería en general.

Debido a la demanda de productos maderables y la pérdida de especies valiosas, es necesario realizar el estudio de las propiedades tecnológicas (mecánicas); para buscar nuevas especies que ingresen al mercado maderero.

1.2.HIPÓTESIS

Las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae L.*) permiten conocer los usos estructurales y se constituyen en una especie de gran productividad para el mercado forestal.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas en madera laminada encolada adecuándolas a las normas COPANT MADERAS de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae L.*) y en base a los resultados recomendar los usos estructurales más adecuados de esta especie de manera, que contribuya tanto en el aprovechamiento como en la comercialización de la madera.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ❖ Determinar cinco propiedades mecánicas en madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae L.*) las mismas que comprenden: Flexión Estática, Compresión Paralela al Grano, Compresión Perpendicular al Grano, Cizallamiento y Dureza de acuerdo a las normas COPANT.
- ❖ Determinar el Contenido de humedad de la especie lapacho rosado (*Tabebuia avellanae L.*) de acuerdo a la norma COPANT 460.
- ❖ Recomendar el uso estructural de la madera de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae L.*)

- ❖ Determinar el tipo de pegamento más resistente entre la Carpícola MONOPOL y la Cola Vegetal, en madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanae* L.)

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. La madera

La madera es un material duro y resistente que se produce mediante la transformación del árbol. Es un recurso forestal disponible que se ha utilizado durante mucho tiempo como material de construcción. La madera es uno de los elementos constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado para la construcción de sus viviendas y otras edificaciones, pero para lograr un resultado excelente en su trabajabilidad hay que tener presente ciertos aspectos relacionados con la forma de corte, curado y secado. (Sosa, 2005).

La madera es un material heterogéneo, porosa, combustible, higroscópico y deformable, susceptible a cambios de humedad ambiental, sufre alteraciones químicas por efectos del sol, y es atacada por insectos y hongos.

La madera se considera como el material de los troncos y ramas de árboles y arbustos desprovistos de corteza. Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

2.1. Partes del Árbol

- **Copa:** es el conjunto de ramas y hojas que forman la parte superior del árbol.
- **Tronco o Fuste:** se encuentra entre las raíces y la copa. Está constituido por millones de células leñosas como las fibras, radios y vasos.
- **Raíz:** es la parte inferior del árbol que penetra en el suelo, cuya función es absorber agua y nutrientes minerales y fijar la planta al suelo. (Vignote, 1995).

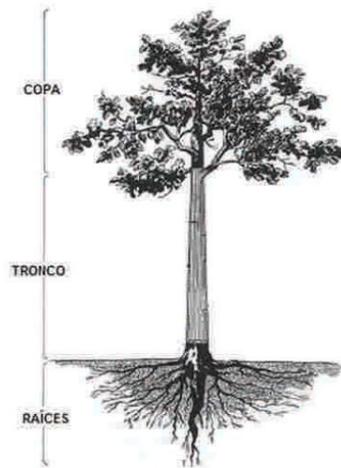


Figura 1: El árbol y sus componentes (Vignote, 1995).

2.1.1. Partes de un Tronco

- **La Corteza:** Es la parte más externa, formada por materia muerta de aspecto resquebrajado debido a que el árbol sigue creciendo en espesor mientras que la corteza no. Esta capa sirve de protección contra los agentes atmosféricos.
- **Líber o floema:** Es una capa más o menos delgada de apariencia similar a la corteza, más blanda cuyas funciones en el árbol es la conducción de la savia elaborada.
- **Cambium:** Es una capa prácticamente inapreciable a simple vista, formada por células con funciones reproductoras, formando xilema hacia adentro y floema hacia afuera.
- **Xilema o madera:** Es la capa más interna, normalmente gruesa en relación con las demás capas, cuyas funciones son las de sostén del propio árbol y la de conducción de la savia sin elaborar. (Vignote, 1995).

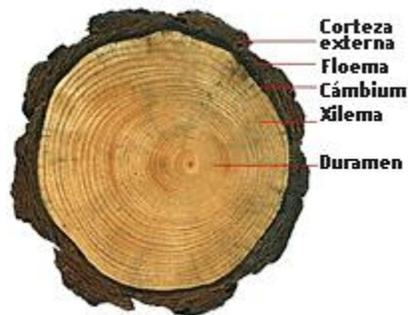


Figura 2: Componentes del Tronco (Vignote, 1995).

2.1.2. Características Externas de la Madera

La característica externa de la madera constituye un factor muy importante puesto que influye en la selección de ésta para su empleo en la construcción, recubrimiento de interiores o ebanistería, tiene las siguientes propiedades organolépticas:

- **El Color:** Es originado por la presencia de sustancias colorantes y otros compuestos secundarios. Tiene importancia en la diferenciación de las maderas y, además, sirve como indicador de su durabilidad. Son en general, maderas más durables y resistentes aquellas de color oscuro.
- **Olor:** Es producido por sustancias volátiles como resinas y aceites esenciales, que en ciertas especies producen olores característicos.
- **Textura:** Está relacionada con el tamaño de sus elementos anatómicos de la madera, teniendo influencia notable en el acabado de las piezas.
- **Veteado:** Son figuras formadas en la superficie de la madera debido a la disposición, tamaño, forma, color y abundancia de los distintos elementos anatómicos. Tiene importancia en la diferenciación y uso de las maderas.
- **Orientación de fibra o grano:** Es la dirección que siguen los elementos leñosos longitudinales. Tiene importancia en la trabajabilidad de la madera y en su comportamiento estructural.

2.1.3. Clasificación de la madera

La estructura de la madera es lo que determina la diversidad de los troncos y su utilización. Hay distintos tipos de madera que se distinguen: por su dureza en relación con el peso específico. A este respecto las maderas pueden ser: (Talavera, 2011).

2.1.3.1.Maderas Duras

Son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento (los de hoja caduca), por lo que pesan más y soportan mejor debido a su resistencia, suelen emplearse en la realización de muebles de calidad. (Ángel, 2013).

2.1.3.2.Maderas Blandas

Son las más ligeras, baratas y las más habituales en la mayoría de muebles y estructuras, procedentes de árboles de crecimiento rápido perennes y coníferas, son adecuadas para la fabricación de tableros, instrumentos musicales, etc. (Ángel, 2013).

2.1.4. La madera como materia prima

La madera como materia prima para la industrialización tiene muchas ventajas frente a otros materiales ya que es un recurso renovable que mediante un manejo sostenible, es decir, armonizando su aprovechamiento con su velocidad de renovación, se puede explotar y dar valor agregado en varios tipos de manufactura.

2.1.5. Formación y estructura de la madera

Durante cada período de crecimiento se forman típicas células del inicio del crecimiento en el período de primavera, que son denominadas células de madera temprana o células de madera de primavera y posteriormente típicas células del término del período de crecimiento anual, que son denominadas células de madera tardía o células de madera de verano. Así anualmente los árboles que crecen en las zonas templadas, es decir, con estaciones bien marcadas, forman una zona de madera constituida por madera temprana y otra de madera de verano. Estos dos tejidos de madera formadas por un mismo año constituyen un anillo de crecimiento anual.

Los anillos anuales se pueden apreciar como bandas concéntricas en la sección transversal de un tronco o rama. Cada anillo de crecimiento anual corresponde a un año de crecimiento, el número de anillos de crecimiento puede determinar la edad de un árbol.

Además, en las secciones transversales de los troncos se puede observar dos zonas diferentes de coloración. La zona interior, normalmente más oscura, se denomina duramen o pellín. La zona externa, se llama albura o hualle.

2.1.6. Microscopía de la madera

La madera crece en la naturaleza en condiciones climáticas, geográficas y de suelos muy diversos. Esta diversidad de factores afecta el crecimiento y las características de la madera en relación con su estructura celular.

La madera está constituida por células alargadas dispuestas en su mayoría en dirección del eje del árbol, y sin contenido protoplasmático. Solo un pequeño porcentaje de células tienen forma más o menos rectangulares y están orientadas transversalmente al eje del árbol en una dirección radial y tienen contenido protoplasmático.

A nivel de estructura celular, se pueden clasificar las especies arbóreas en dos grandes grupos de árboles:

- Coníferas
- Latifoliadas

a) Coníferas

Las especies que forman el grupo de las coníferas tienen un plan leñoso ordenado y simple, constituido aproximadamente en un 90% por traqueidas con funciones conductoras y de sostén. Las características de estas células son las siguientes:

Las células de traqueida no tienen contenido protoplasmático, tiene forma de tubos acabadas en punta denominada pico de flauta, que mide de 1 a 4 mm de longitud y de sección entre 40 μm . las de primavera y de 10 μm . las de verano.

La comunicación entre células se hace a través de punteaduras aeroleadas de gran tamaño oscilando entre 6 y 30 μm . (Álvarez, 1992), que van a ser determinantes tanto en la facilidad de impregnación de la madera como en su secado.

El resto de las células que conforman la madera de coníferas lo forman las células de parénquima y las células secretoras de los canales resiníferos.

Las células de parénquima tienen la función de almacenamiento, su forma es rectangular dispuesta fundamentalmente en el eje transversal radial (asociadas frecuentemente con traqueidas transversales), formando los radios leñosos y menos en la longitudinal.

Las células secretoras de los canales resiníferos tienen como función segregar resina al canal resinífero, cuya función en el árbol es muy compleja pero fundamentalmente es de defensa y protección contra agentes patógenos. La forma de estas células, al igual que las del parénquima es prismática con orientaciones tanto axiales como transversales. (García, 2003).

b) Latifoliadas

En las latifoliadas la estructura es más complicada, pues existe una mayor especialización de las células, las funciones de conductoras las realizan las células de tubo o vaso y las de sostén las células de fibra, si bien también existen traqueidas con la doble función señalada en las coníferas.

Los vasos constituyen entre el 5 y el 60 % del volumen de la madera y están formados por células sin contenido protoplasmático, dispuestas axialmente, cuya característica principal es que las paredes transversales están disueltas total o parcialmente de forma que existe una comunicación perfecta entre una célula y la siguiente. Por otra parte, la comunicación transversal se realiza a través de punteaduras aeroleadas (si se comunican con fibras o traqueidas) o simples (si se comunican con parénquima), cuyo tamaño es sensiblemente inferior al de las coníferas. (Álvarez, 1992).

Las fibras, traqueidas y fibro-traqueidas, constituyen normalmente el tejido mayor, aunque puede variar su porcentaje entre el 20 y 70 % del total del volumen de la madera. Por último, el parénquima tanto longitudinal como transversal constituye entre el 6 y el 50 % del total de volumen de madera.

2.1.7. Anisotropía de la madera

La madera no es un material homogéneo, sino un material muy diferente según el plano o la dirección que se considere. Como resultado de esa desigual configuración, presenta un desigual comportamiento.

Debido a este comportamiento estructural desigual, es necesario establecer tres ejes: eje radial, eje tangencial y eje longitudinal. (Vignote, 1995)

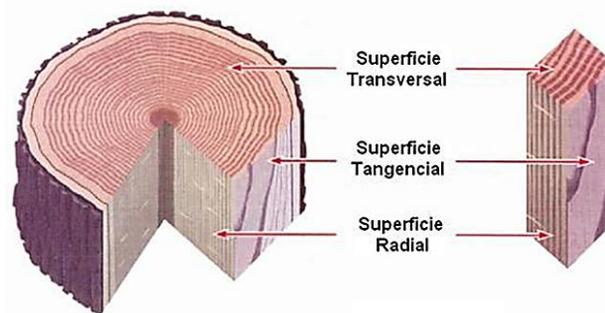


Figura 3: Direcciones ortogonales de la madera (Vignote, 1995)

2.1.8. Higroscopicidad de la madera

Es la capacidad que tienen ciertos materiales de absorber humedad de la atmósfera que le rodea y de retenerla en forma de agua líquida o vapor de agua.

La madera contiene huecos en el lumen celular, entre las microfibrillas y entre las fibrillas elementales de todos ellos susceptibles de ser ocupados por agua.

El hueco del lumen celular es relativamente tan grande que su fuerza capilar no es suficiente como para captar agua de la atmósfera.

Por el contrario los huecos entre las microfibrillas son tan pequeños que originan fuerzas de Van der Waals, capilares y de adhesión superficial tan grandes que pueden captar agua de la atmósfera que le rodea. Por otra parte, la atmósfera tiene una fuerza desecante dependiente de la temperatura, humedad relativa y presión a la que se encuentra, es también capaz de captar agua de la pared celular de la madera

Por último los huecos de las fibrillas son tan pequeños que no pueden alojar agua en su interior.

Resumiendo, se puede establecer que el agua puede estar contenida en la madera en las siguientes formas:

- **Agua de sorción:** es la que esta retenida por fuerzas de tipo Van der Waals, consecuencia de los grupos activos de la pared celular. Esta agua es el que más fuertemente queda retenido por la pared celular. La madera puede llegar a contener un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.
- **Agua de adsorción:** es el agua que queda retenida en la pared celular como consecuencia de la fuerza de adhesión superficial. La madera puede llegar a contener un 6 a un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.
- **Agua de condensación o capilar:** es la que esta retenida por las fuerzas capilares, provocadas por los espacios entre microfibrillas. La madera puede llegar a contener un 14 a un 16 % de peso de agua respecto del peso de la madera seca.
- **Agua libre:** es la contenida en el lumen de las células prosenquimatosas. Su fuerza de retención es muy pequeña, de forma que no puede captar agua de la atmosfera solo si se produce inmersión de la madera en agua. (Vignote, 1995)

2.2. La Madera Laminada Encolada (MLE)

2.2.1. Definición de la madera laminada

La madera laminada encolada está formada por láminas de madera libres de defectos con espesores comprendidos entre 6 y 45 mm, unidas a través de sus cantos y extremos, paralelamente a la dirección longitudinal de la fibra y que funciona como una sola unidad estructural, utilizando como material de unión diferentes tipos de adhesivos. (Pérez, 1992)

La madera laminada es considerada, por la industria, como el mejoramiento de la madera maciza, material con el cual es posible fabricar vigas y estructuras con mayores dimensiones y del que se resaltan sus propiedades físico-mecánicas, no sólo comparada con la madera maciza, sino también con materiales tradicionales para la

construcción como el acero y el concreto; frente a ellos, la madera laminada a simple vista está un paso más adelante por sus cualidades estéticas.

2.2.2. Generalidades de la madera laminada

La madera laminada encolada constituye un producto de aplicación estructural compuesto por láminas, normalmente de una sola especie de madera. Las láminas de madera se superponen y encolan entre sí por sus caras y en sentido paralelo a las fibras.

Se tienen tres diferentes tipos de madera laminada. Si el elemento de unión es clavo, será madera laminada clavada; si es perno, será madera laminada empernada y si es por medio de cola, ésta se llamará madera laminada encolada, la cual es más conocida comúnmente como "madera laminada". (Barreto, 2013)

Si las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento, se dice que la laminación es "horizontal, y cuando las láminas son normales al plano neutro de flexión, se dice que la laminación es "vertical"

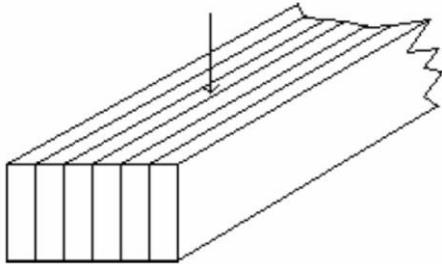


Figura 4a: Laminado vertical

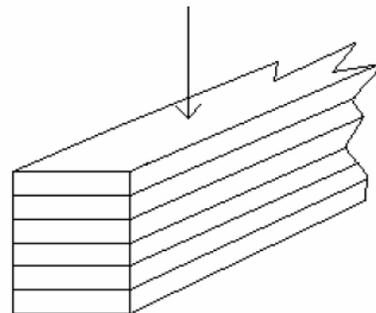


Figura 4b: Laminado horizontal

Es una alternativa para producir y vender un insumo con valor agregado ya que posibilita contar en obra con piezas de largo y sección inusual, incluso curvas o de sección variable.

2.2.3. Tipos de madera laminada

Se diferencian 2 tipos de laminado de acuerdo al sentido de superposición de las secciones:

- Madera laminada horizontal: Sus planos de encolado son perpendiculares a la dimensión mayor de la sección transversal, es el formato más habitual.
- Madera laminada vertical: Sus planos de encolado son perpendiculares a la dimensión menor de la sección transversal. Éste último es menos frecuente.

Así mismo existen otros 2 tipos según las clases resistentes de las láminas utilizadas:

- Madera laminada homogénea (GLh): Todas las láminas utilizadas son de la misma clase resistente.
- Madera laminada combinada (GLc): Las láminas exteriores tienen una clase resistente superior a las utilizadas en su interior, y cumplen con la proporción definida en la normativa entre láminas exteriores e interiores.

(Barreto, 2013)

2.2.4. Historia de la madera laminada encolada estructural

La madera laminada es una tecnología constructiva con un amplio desarrollo en el mundo. La técnica de laminar madera ha sido utilizada durante muchos años en la fabricación de muebles, artículos deportivos y otros productos. Sin embargo, su aplicación en estructuras data desde que el carpintero de la corte prusiana Otto Hetzer, quien el 22 de Junio de 1906 obtuvo la primera patente mundial de su invento “el encolado de láminas de madera de tablas para ejecutar vigas y arcos, el procedimiento de encolado lo realizaba con un producto ligante no disoluble por la humedad.

Los primeros casos conocidos los encontramos en el antiguo Egipto, alrededor de 3500 a. C., cuando los artículos de madera sólida se hicieron con chapas pegadas transversalmente, ocasionado por la falta de buenas maderas en esa zona. Esto ocasionó que se crearan tableros con un sustrato de madera de baja calidad, y maderas finas en las vistas, con el agregado de una mejor resistencia estructural. Otro antecedente conocido en la antigüedad es la elaboración de los Scutum romanos.

Scutum: era el término en latín para referirse al escudo de forma semicilíndrica que llevaban los legionarios romanos.

El arquitecto Francés Philibert Delorme quien construyó el Palacio de las Tullerías en el siglo XVI, tuvo por primera vez la idea de utilizar madera laminada para dar acabados curvos.

El desarrollo de la madera laminada está íntimamente relacionado con el avance de la tecnología de los adhesivos. La caseína fue introducida alrededor del año 1900. En 1912 fue introducido el fenol formaldehído, en el año 1930 la urea formaldehído, que no fue usada en forma intensiva hasta la segunda guerra mundial, época en que apareció el resorcinol formaldehído.

Durante la primera guerra mundial, se empleó laminados de madera en la industria de la aviación. Durante la segunda guerra mundial, se desarrollaron adhesivos sintéticos, los cuales permitieron dar un nuevo impulso a la madera laminada y su aplicación se extendió a la fabricación de puentes y construcciones marinas, en donde las condiciones de uso exigen alto grado de resistencia a condiciones ambientales muy difíciles.

La compañía de Havilland, en 1936 presentó a la Real Fuerza Aérea Británica una propuesta de construir un avión de guerra en su mayor parte de madera encolada muy resistente y ligera de caoba o abedul. El 25 de noviembre de 1940 realiza las pruebas de vuelo el avión de madera encolada denominado “Mosquito”.

Actualmente, las estructuras de madera laminada constituyen un importante elemento de construcción, especialmente para edificios de grandes luces, iglesias, gimnasios, hangares, fábricas, bodegas, coliseos cubiertos, puentes, entre una extensa gama de aplicaciones, ya que permite la creación de estructuras estéticamente agradables y de grandes posibilidades de diseño arquitectónico y buena construcción.

2.2.5. Ventajas y desventajas de la madera laminada encolada

a) Ventajas:

- **Flexibilidad:** El adhesivo permite el uso de tablas cortas y angostas que, unidas eficientemente, pueden conformar piezas estructurales de cualquier espesor, largo, ancho y de formas no restringidas. Se consigue vigas curvas, arcos de sección variable.
- **Secado:** La laminación en tablas menor de 2" permite secar la madera fácilmente al contenido de humedad deseado evitando defectos de secado tanto en las láminas como en la estructura en cuestión.
- **Optimización:** El método de fabricación permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de "bajo esfuerzo de trabajo", con la consiguiente economía y utilizar madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor sollicitación (mayor esfuerzo). Además es posible usar combinaciones de distintas especies.
- **Estética:** La madera laminada permite diseñar elementos que son prácticos y artísticos, en los cuales la sección transversal puede variar según los esfuerzos a que queda sometido el elemento. El elemento terminado no necesita estar oculto o tener una caja de ubicación, debido a que es estéticamente agradable.
- **Resistencia al fuego:** Los elementos de madera laminada se queman más lentamente y resisten la penetración del calor. Esto no significa que la madera laminada no sea combustible (el avance de la combustión es muy lento, 0.6 mm/ minuto).
- **Livianidad:** Los elementos laminados tienen una baja razón peso/resistencia, por lo cual pueden ser levantados y puestos en servicio con un bajo costo, además de necesitar muy poco de la sección para auto soportarse.
- **Aislación térmica:** la madera tiene una transmisión térmica inferior a los materiales tradicionales (acero y hormigón), lo que significa excelentes propiedades aislantes.
- **Resistencia química:** En ambientes ácidos o alcalinos no reacciona con agentes oxidantes o reductores. (García, 2011).

b) Desventajas:

- Comparadas con la madera sin laminar, son más costosas. El factor económico comprende tres ítems adhesivo, mano de obra y madera.
- El adhesivo debe estar condicionado al uso que se va a dar al elemento. Los adhesivos que se requieren para estructuras que van al exterior son de elevado costo y no se produce en nuestro medio.
- No siempre se pueden producir en obra, lo cual implica un costo adicional por transporte, especialmente cuando son elementos de gran longitud y gran curvatura son difíciles de manipular y transportar, lo que incide en el costo final del elemento de madera laminada.
- La resistencia puede verse afectada por el contenido de humedad. La durabilidad de estos elementos puede disminuirse por las presencia de hongos. Se hace necesario tratamientos preventivos y mantención al elemento. (García, 2011).

2.2.6. Los adhesivos

Se entiende por adhesivo, todas aquellas sustancias o mezclas, capaces de mantener materiales unidos, mediante una ligazón de sus superficies de contacto.

La adherencia es un estado en que dos superficies se mantienen unidas por medio de fuerzas interfaciales, que pueden consistir en fuerzas de valencia o por acción de interconexión.

El otro componente de la madera laminada son los adhesivos o colas, las dos formas de adhesión como lo afirma (Hoheisel, 1988).

- **La adhesión mecánica:** causada por la penetración de la cola y su anclaje en los poros de las superficies a pegar. Debido a que las fuerzas capilares, la cola líquida penetra por los poros a la madera antes de ser fraguado.
- **La adhesión específica:** basada en las fuerzas moleculares (formación de la línea de cola).

En el desarrollo a lo largo de la historia del sistema madera laminada encolada, han existido, dos clases de adhesivos para madera: colas a base de productos naturales u orgánicos y colas de resinas sintéticas;(Quevedo, 2000) presentan las siguientes definiciones de las clases de pegantes utilizados para madera:

- **Adhesivos Orgánicos:** La mayoría de los adhesivos orgánicos, son los generados a base de proteínas. Aunque los productos antiguos de madera consolidada fueron hechos usando los pegamentos naturales de la proteína, estos enlaces son durables solamente a niveles de baja humedad y presentan problemas a niveles de alta humedad.

El adelanto más grande en el desarrollo de los adhesivos naturales, son los de la harina de la soja que permitieron que el laminado interior se convirtiera en un reemplazo rentable de la madera sólida. Algunas de las composiciones naturales que forman adhesivos son: colas de proteínas, adhesivos de Tanino, adhesivos de lignina.

- **Adhesivos sintéticos o Formaldehidos:** son los adhesivos para madera más comunes, son aquellos a base de fenol Formaldehido (PF), resinol Formaldehido (RF), fenol-Resinol Formaldehido (PRF), adhesivos Urea Formaldehidos, adhesivos Formaldehidos de Melanina o una mezcla de los mismos.

Son colas de tiempo de vida muy limitado (alrededor de 4 horas), por lo que deben formularse un momento antes de utilizarlas, mezclando la resina con el catalizador, cargas y disolventes necesarios. El fraguado se produce por la policondensación de la resina, al reaccionar con el catalizador en un tiempo que depende de la temperatura ambiente y de la proporción de resina y catalizador.

Salvo en las colas de resorcina, en que el fraguado se puede realizar a partir de los 15°C, las demás necesitan temperaturas de más de 20°C, pero su tiempo de fraguado es tan alto, que lo normal es aplicar temperaturas de 70 a 140°C, reduciendo su tiempo de fraguado a apenas unos segundos.

- **Adhesivos Epóxicos y poliuretanos:** son ampliamente utilizados debido a su buena resistencia ambiental y la capacidad de enlazar a una variedad amplia de superficies, incluyendo la madera, metales, plásticos, cerámica, y concreto. Tiene un uso general menor en la vinculación de madera porque son más costosos que la mayoría de los adhesivos de madera, y en algunos casos, su durabilidad es limitada. Por otra parte, estos son adhesivos estructurales capaces de curar a temperaturas ambiente, tienen la habilidad que llena cualquier fisura, y enlazan a muchas otras superficies, mientras que la mayoría de los pegamentos de madera requieren un curado a base de calor, no cubren fisuras y no enlazan con otros sustratos.

Es importante señalar que aunque los adhesivos de base orgánicas estuvieron en un principio aplicados a estructuras de madera laminada, luego de la invención de los adhesivos sintéticos, estas primeras fueron relegadas a usos en carpintería y ebanistería, es por esto que la industria, actualmente solamente se utiliza adhesivos de base sintética por sus mayores valores de resistencias; pero es importante mencionar los adhesivos orgánicos por su aporte en el desarrollo de la tecnología de la madera laminada encolada. (Quevedo, 2000)

2.2.7. Proceso de fabricación de la madera laminada a nivel industrial

La madera laminada tiene un proceso relativamente sencillo pero muy sensible en cada uno de sus pasos, por lo tanto es importante controlar factores como la humedad ambiental, el tamaño de láminas; cantidad y tipo de adhesivo a utilizar.

Este proceso consiste en pasos muy específicos los cuales son: dimensionamiento de la madera en láminas, secado, bonificado de la madera, encolado y la aplicación de presión. Cada uno de estos procesos se detalla a continuación. (AkzoNobel, 2009).

a) Dimensionamiento de láminas.- Se desorilla (cuadra) la madera aserrada procedente del bosque. Se elabora tablonos tomando en cuenta que el espesor no sea mayor de 5 cm para obtener un secado en menor tiempo y de mejor calidad. Dimensiones menores de 3 cm son antieconómicas pues se debe utilizar mayor tiempo de máquina y mayor número de líneas de cola conforme se sugiere en investigaciones y practicas constructivas.

b) Bonificado.- El proceso de bonificado consiste en seleccionar y desechar los nudos y la madera podrida, lo que permite que este material tenga menos incertidumbre en sus propiedades mecánicas.

En el bonificado se descartan los nudos que exageren su dimensión respecto a la de la madera además se debe garantizar que lo nudos sanos aceptados no queden en zonas críticas de esfuerzos.

c) Secado.- Las maderas deben tener un contenido de agua que se sitúe dentro de los límites aptos para su encolado. Las colas permiten una horquilla de humedad del soporte bastante amplia, con un máximo del 15 %. Sin embargo el porcentaje de humedad debe ser uniforme en todo el lote de madera empleado. El secado artificial de la madera nos permite alcanzar este grado de precisión. (Tellechea, Ingeniero Técnico en Industrias de la Madera).

d) Cepillado.- El cepillado es el proceso de preparación de las láminas para el encolado, este asegura una superficie uniforme. Las láminas se deben cepillar con una tolerancia que depende del tipo de cola a utilizar.

Se recomienda no dejar pasar más de veinticuatro horas entre cepillada y encolada para evitar la contaminación de la superficie de encolado.

e) Encolado.- Se agrega adhesivo en las caras superior e inferior de las láminas con un espesor constante de cola que varía de acuerdo con el tipo de pegante. La cantidad de cola, el tiempo de fraguado y el tiempo de aplicación depende de las especificaciones del fabricante.

g) Prensado.- Se colocan la pieza con las láminas encoladas en una prensa y se aplica presión constante a lo largo de ella.

La presión se debe ejercer de forma uniforme aplicando al centro de la pieza y avanzando simétricamente hacia los extremos, de lo contrario, la viga quedará con presiones localizadas, lo que puede generar un decremento significativo en sus propiedades mecánicas.

La presión de prensado depende del espesor de las láminas y del tipo de madera; cuando se usa madera blanda se requiere una presión entre 0,6 y 0,8 MPa para láminas con espesores de 33 mm, mientras que con láminas de 45 mm se requiere entre 0,8 y 1 MPa. Para maderas duras se requiere mínimo 1 MPa. (Arbelaez, 2013).

Controlar la presión es muy importante ya que una presión excesiva puede generar lagrimeo excesivo lo que lleva a una línea de cola pobre, y poca presión genera pobre contacto entre las superficies.

2.2.8. Aplicaciones de la madera laminada

a) Vigas.- La viga es un elemento básico de un sistema estructural que se puede conseguir de madera aserrada pero se ve limitado el ancho, alto y largo por las características de especie maderable. Es ahí donde radica la importancia de las vigas de madera lámina ya que se pueden fabricar a gusto y necesidad del proyectista. Son ideales para cubrir grandes luces ya que con la técnica de la madera laminada se consigue fácilmente vigas de 30 m.

Una viga trabaja principalmente a la flexión y corte pudiendo también estar sometida a esfuerzos de tipo axial (tracción o compresión) que varían en las diferentes secciones de la luz. Con el empleo de madera laminada se puede optimizar la forma de la sección según los requerimientos. De esta manera se consigue un mejor aprovechamiento del material.

b) Marcos.- Es una opción muy atractiva de la madera laminada, desde el punto de vista arquitectónico. El marco triarticulado de madera laminada en los países anglosajones, es usado para iglesias y es llamado corrientemente marco Tudor. (Messer, 2007).

c) **Arcos.**- La gran ventaja que ofrece el encolado para este tipo de estructuras, es que hace posible la construcción de arcos muy eficientes, partiendo de laminaciones delgadas. Estas no tienen competencia en cuanto a belleza y luz.

Resultan elementos esbeltos ya que su forma asemeja mucho el diagrama de momento Flector (funicular). Tomando en consideración la dificultad de transporte, los arcos se diseñan dependiendo de la luz, en arcos de una, dos, tres, cuatro o más partes.

El ensamble entre unidades se hace por medio de planchas metálicas. Esta solución arquitectónica es usada en todo el mundo, especialmente en Dinamarca, Bélgica, Holanda y Estados Unidos, país en el cual se han construido edificios con arcos de madera laminada que cubren más de 100 metros de luz. (Ortiz, 2004).

2.3. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas o sollicitaciones externas que traten de alterar su tamaño, dimensión (deformarle).

El esfuerzo necesario para sollicitar un material hasta llegar al límite elástico, determina el esfuerzo en el límite de proporcionalidad al cual se puede someter a la madera sin que se produzcan deformaciones plásticas.

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad o capacidad que tiene para resistir la deformación al ser sollicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad, calculado por la relación entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud.

Existen diferentes tipos de esfuerzo a los que puede estar sometida una pieza de madera: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, dureza, cizallamiento radial, tangencial, extracción de clavos. (Paco 2005).

2.4. Flexión Estática

La flexión estática mide la resistencia de una viga a una carga concentrada aplicada en el centro de la luz, la tensión de rotura, llamado también “módulo de ruptura” y el módulo de elasticidad. La resistencia a la flexión es una de las más importantes propiedades mecánicas en la utilización de la madera como material de construcción, siendo el factor principal en la construcción de casas, puertas, tejados, paredes de madera, etc. (Paco, 2005).

El comportamiento en flexión de una pieza de madera combina, simultáneamente, los comportamientos a tracción, compresión y corte. La madera es un material particularmente apto para soportar tracción y compresión paralela, debido a su alta capacidad por unidad de peso.

- **El Esfuerzo de las fibras en el Límite Proporcional (E.L.P)**

Esfuerzo que se produce en las fibras de una viga sometida a tensión y compresión hasta la carga al límite proporcional, es decir hasta cuando deja de existir una correlación lineal entre el esfuerzo y la deformación. También se lo define como el esfuerzo máximo que puede soportar la madera sin deformarse, es raramente utilizable en la práctica, pues es preferible el valor de la resistencia máxima a la compresión que es menos variable y más fácil de obtener.

- **Módulo de Ruptura (MOR)**

Es el esfuerzo obtenido empleando la carga máxima, en vez de la carga en el límite proporcional.

- **Módulo de Elasticidad (MOE)**

Es la medida de la rigidez o resistencia a la flexión, ‘cuando mayor es el MOE, menor es la deformación.’”

2.5. Compresión Paralela al Grano

La madera se comporta como si el conjunto de tubos alargados sufriera la presión de una fuerza que trata de aplastarlos. Su comportamiento ante este tipo de esfuerzos es considerado dentro de su estado elástico, es decir, mientras tenga la capacidad de recuperar su dimensión inicial una vez retirada la fuerza. (Copa 1999).

Ofrece resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras, por el hecho de que las fibras están orientadas al eje longitudinal y que a su vez coincide o está cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular, siendo ésta la capa de mayor espesor de las fibras.

- **Esfuerzo de las fibras al Límite Proporcional (ELP).**- Es el que corresponde al punto a partir del cual las deformaciones aumentan más rápidamente que la carga.
- **Módulo de Ruptura (MOR).**- Es el esfuerzo obtenido, empleando la resistencia máxima al aplastamiento.
- **Módulo de elasticidad (MOE).**- Es la medida de la rigidez o resistencia que tiene la madera para su deformación a la compresión paralela al grano.

2.6. Compresión Perpendicular al Grano

La madera se comporta a manera de un conjunto de tubos alargados que sufriera una presión perpendicular a su longitud; sus secciones transversales serán aplastadas y, en consecuencia, sufrirán disminución en sus dimensiones bajo esfuerzos suficientemente altos. (Sosa 2005).

Se determina la tensión en límite proporcional y la tensión máxima. Los valores obtenidos en este ensayo, se emplean en el cálculo de las superficies de apoyo de vigas, viguetas, y también como índice en la selección de especies para durmiente de ferrocarril. Para caracterizar la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras se toma como base el ELP.

- **Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional (ELP).**- Es obtenido en el laboratorio mediante ensayos (Sosa 2005).

2.7. Dureza

Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos, etc.) o a ser trabajada (cepillo, sierra, gubia, formón). Es la propiedad que hace al leño difícil de rajar, marcar o cortar, generalmente, la mayor dureza de una madera significa una mayor resistencia al desgaste, un mejor comportamiento al pulido y menor tendencia a romperse o aplastarse bajo la acción de cargas, la dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general suele coincidir que las más duras son las más pesadas. El duramen es más duro que la albura. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las maderas fibrosas son más duras. Las maderas más ricas en vasos son más blandas. Las maderas más duras se pulen mejor. (Sosa, 2005).

2.8. Factores que afectan las propiedades mecánicas de la madera laminada

La madera laminada encolada se ve afectada por defectos de la materia prima utilizada y por las falencias incurridas durante la manufactura.

- **Nudos sueltos.-** Abertura de sección relativamente circular, originada por el desprendimiento de un nudo.
- **Grietas.-** Separación de elementos constitutivos de la madera, cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.
- **Perforaciones.-** Orificios producidos por la presencia de insectos taladradores. En cualquier caso, la madera con este defecto debe ser desechada.
- **Pudrición.-** Degradación, descomposición y destrucción de madera por presencia de hongos en ambiente húmedo. La presencia parcial de putrefacción implica una creciente reducción de la resistencia. No se debe utilizar como material estructural.
- **Rajaduras.-** Son grietas que se presentan en el sentido de los radios, generalmente por una desecación excesiva con pérdida muy rápida de humedad.

- **Bolsillo de corteza.-** Presencia de masa de corteza total o parcial comprendida en la pieza. Se conoce también como corteza incluida.
- **Bolsillo de resina.-** Presencia de una cavidad bien delimitada que contiene resina. Se conoce también como bolsa o lacra.

Otros factores muy importantes que se debe de tomar en cuenta, para no afectar las propiedades mecánicas de la madera laminada, en el proceso de fabricación son: la distribución uniforme de cola, el prensado adecuado, el tiempo de inicio y fin de curado de la resina y el contenido de humedad de las láminas a ser encoladas.

2.9. Descripción de la especie de estudio

2.9.1. Descripción taxonómica

REINO:	Vegetal
PHYLUM:	Telemophytae
DIVISIÓN:	Tracheophytae
CLASE:	Angiospermae
SUB CLASE:	Dicotyledonae
ORDEN:	Escrophulariales
FAMILIA:	Bignoniaceae
GÉNERO:	Tabebuia
ESPECIE:	avellanadae
NOM. COMÚN:	Lapacho rosado

2.9.2. Distribución y Origen

A fines de julio en el Noroeste argentino, el Lapacho Rosado, como un heraldo anunciador de la pronta llegada de la primavera, desnudo aún de follaje, despliega sus millares de rosadas corolas y convierte a la amplia copa en un inmenso ramo que deslumbra por su extraordinaria belleza a cualquier persona que transite por la región montañosa y húmeda de las Yungas. Por este motivo es uno de los árboles ornamentales más bellos, por lo cual, es cultivado con este fin en gran parte de la Argentina y ahora en Bolivia. (Gilman, 2009)

El nombre científico del lapacho rosado es *Tabebuia avellanedae* o *Impetiginosa* en homenaje al presidente Nicolás Avellaneda, insigne estadista y propulsor de las ciencias en el País vecino de la Argentina, razón por la cual el botánico Pablo Lorentz le dio tal denominación.

Es conocido por los nombres comunes de lapacho del noroeste, lapacho tucumano y pertenece a la familia de las Bignoniaceae. Es originario de la selva Tucumano - Boliviano y se distribuye en Bolivia y el Noroeste de la Argentina, donde se lo encuentra en los sectores más bajos de las Yungas (450-900 msnm) así como en su transición con el bosque chaqueño, en las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y el norte de Catamarca. (Gilman, 2009)

2.9.3. Descripción Botánica

El lapacho Rosado alcanza una altura de 20 a 30 m de y los 50 - 80 cm de diámetro; posee un fuste, por lo general recto, de aproximadamente 10 m de largo. La copa es de forma variable, por lo general semejante a un embudo tendiendo a concentrar el follaje hacia los extremos y en el estrato más superior. El follaje, formado por hojas digitadas, es caedizo. (Gilman, 2009)

2.9.4. Hojas

Se presentan palmaticompuestas, opuestas, pecioladas, digitadas y por lo general con cinco folíolos -rara vez tres o siete- elípticos, aovado-oblongos a aovado-lanceolados, de 5 a 6 cm de largo por 4 a 9 cm de ancho con el margen entero en la mitad inferior y levemente dentado en la superior.

Los folíolos basales son más pequeños que los otros. Todos están sostenidos por sus correspondientes peciólulos, de distinto tamaño en la misma hoja, siendo más breves los basales. El pecíolo general mide de 5 a 11 cm de largo, está levemente surcado por arriba y es casi lampiño. Los ejemplares jóvenes suelen tener hojas mayores. (Gilman, 2009)

2.9.5. Flores

Sus flores tienen corola gamopétala rosada, rosado-morada y aun blanca, reunidas en panículas terminales. El cáliz es campanulado y pubescente con cinco dientes pequeños y desiguales, de a 2 mm de largo. La corola, que supera los 40 mm de largo, posee tubo acampanado con el limbo dividido en cinco lóbulos iguales y rizados. La garganta está estriada de tonos más oscuros y de matices amarillentos, Posee cuatro estambres didínamos o sea en dos partes y un quinto estambre abortado (estaminodio). Ovario superior y bilocular, aloja numerosos óvulos y termina en un estilo simple. Florece de junio a septiembre. (Gilman, 2009)

2.9.6. Frutos

Sus frutos son Cápsulas péndulas, subcilíndricas, arrosariadas, de 20 a 40 cm de largo por 2 a 2,5 cm de ancho, parduscas, de dehiscencia loculicida, a lo largo del nervio medio carpelar. Alojamos numerosas semillas achatadas, aladas, de color castaño, subelípticas y de 4 a 5 cm de largo por 1 a 1,5 cm de ancho. En Tucumán los frutos aparecen hacia mediados de septiembre y se mantienen en el árbol hasta enero. (Gilman, 2009)

2.9.7. Corteza

Castaño oscura o algo grisácea, agrietada en los ejemplares viejos, bastante dura y difícil de desprender, forma sin embargo escamas rectangulares. Produce madera verdoso-amarillenta, muy dura y pesada (peso específico: 0,935 kg/dm³). Muy resistente a la intemperie. Contiene Tanino y sustancias colorantes. La corteza y el leño, trozados, se utilizan en medicina popular, en cocción, para curar enfermedades de los riñones y la vejiga. (Gilman, 2009)

2.9.8. Propiedades Físicas

- Contenido de humedad en verde 1,3 %
- Densidad básica 0,85 g/cm³
- Densidad al 12% de humedad 1,05 g/cm³
- Contracción radial 3,3 %
- Contracción tangencial 5,6 %
- Contracción volumétrica 10 %
- Relación t/r 1,7

2.9.9. Resistencia Mecánica

- Módulo de elasticidad 130 x 1000 kg/cm²
- Módulo de rotura 1371 kg/cm²
- Compresión paralela 719 kg/cm²
- Corte radial 5,69 kg/cm²
- Dureza lateral 1428 kg

Fuente: (Gutiérrez y Silva)

2.9.10. Usos y Aplicaciones

Adoquines, construcciones rurales, carpintería naval, crucetas, tranqueras, bebederos, bretes, silos, varillas, cubas, tanques, carrocerías, tiranterías, flechas, puentes, tornería, tonelería, escaleras fijas internas y externas, marcos para aberturas, alcantarillas, guardaganados, bañaderos, mangos, cabos, construcciones hidráulicas, tejuelas, implementos agrícolas, pisos, parquets, tarimas, maderas y cortezas medicinales, madera tintórea de color amarillo. (Gilman, 2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación

La Comunidad de Río Conchas se localiza al sur del departamento de Tarija, en la provincia Arce Primera Sección, comunidad Río Conchas, localizada aproximadamente a 150 Km al sur de la ciudad de Tarija. Limita al Este con el Río Conchas, al Sur con tierras fiscales, al Oeste con el Río Salado y Norte con productores privados de la comunidad. Entre otras características de importancia se tiene una altitud que oscila entre los 800 a 1120 msnm. Geográficamente el área de estudio tiene las siguientes coordenadas:

Latitud Sur $22^{\circ}20'59,44''$
 Longitud Oeste $64^{\circ}25'38,45''$

Latitud Sur $22^{\circ}19'59,21''$
 Longitud Oeste $64^{\circ}23'49,36''$

Mapa de Tarija

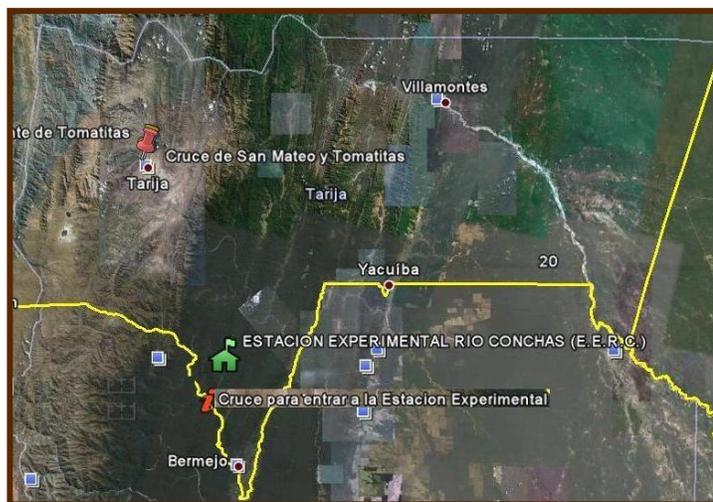


Figura 5: Mapa de Tarija

3.2. Características Físicas

3.2.1. Geología

Según el mapa geológico de Tarija (ZONISIG, 2000), el área de estudio pertenece a los periodos Cretácico, Terciario y Cuaternario. La litología dominante está compuesta por limonitas, arcillitas, areniscas, calizas y otras.

El departamento de Tarija presenta tres tipos tectónicos de plegamientos bien definidos que corresponde a las provincias fisiográficas de la Cordillera Oriental, el Subandino y la llanura Chaco Beniana, correspondiendo el área de estudio en este caso a la provincia fisiográfica del Subandino. El plegamiento y fallamiento en las formaciones geológicas son menos complejos en el Subandino.

3.2.2. Geomorfología

Según el estudio realizado (ZONISIG, 2000), la provincia fisiográfica del Subandino donde se encuentra el área de estudio, está constituida por un conjunto de paisajes dominados por serranías, colinas y valles. Las serranías y colinas del Subandino están orientadas en el sentido Norte-Sur, conformados por anticlinales estrechos y valles sinclinales más amplios, donde se instalan los ríos más importantes, originando valles con llanuras aluviales de pequeña y mediana amplitud.

Las serranías presentan formas alargadas por cientos de kilómetros y paralelas entre sí, constituidas por rocas más resistentes y homogéneas, en tanto que los valles sinclinales se hallan constituidos por rocas menos resistentes y más blandas.

3.2.3. Fisiografía

Según el mapa fisiográfico del estudio de (ZONISIG, 2000), el área de estudio se encuentra ubicada fisiográficamente entre: Serranía media, fuertemente disectada donde actúan procesos de remoción en masa, pendientes aluviales y coluviales son las principales geoformas que dominan este paisaje. Donde se han desarrollado valles estrechos y profundos. El relieve general es escarpado a fuertemente escarpado, con pendientes de 50 a 200 m. de longitud aproximadamente.

3.2.4. Suelo

Según el estudio realizado por (ZONISIG, 2000), los suelos del área de estudio son superficiales a profundos de 30 a 150 cm. Excesivamente drenado a moderadamente bien drenado, materia orgánica superficial en estado de descomposición débil, con presencia de pocos fragmentos en un porcentaje del 2% de formas sub- redondeados, meteorizados de areniscas, limonitas y lutitas.

3.3. Características Meteorológicas

3.3.1. Clima

De acuerdo con el mapa ecológico de Bolivia del área de estudio se encuentra en una zona transicional del bosque húmedo templado, así mismo se tiene una precipitación promedio de 2000 mm/año que corresponde a la Comunidad de Río Conchas. La temperatura media es 20,2°C, máxima de 26,7°C y mínima de 13,6°C. (SENAMHI).

3.3.2. Hidrología

Río Conchas forma parte del gran sistema hidrográfico de la Cuenca del río La Plata, la que a su vez tiene como parte la Cuenca del río Bermejo y ésta tiene como unas de sus subcuencas tributarias a la subcuenca del Río Salado y Conchas donde se encuentra el área de estudio.

3.4. Características Bióticas

3.4.1. Vegetación

Según el informe técnico presentado por el Departamento de Fitotecnia (Acosta,2004), pertenecientes a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, el levantamiento florístico preliminar, presenta una vegetación compuesta por árboles que están en el orden de los 15 a 20 m. de altura y una cobertura aproximada del 40 al 60 %, las especies que los integran en una mayoría corresponden a los sempervirentes (siempre verdes), y se encuentran algunas especies deciduas por la estación del año, especialmente en el dosel superior como los géneros: *Tabebuia*, *Cedrela*, *Myroxylon*, *Tipuana*, y otros, en alturas de relieve mayores a los 800 msnm.

De este análisis podemos deducir que la vegetación existente corresponde a: Bosque denso siempre verde semidecuido submontano. Presenta los siguientes estratos de vegetación:

3.4.2. Estrato arbóreo

Se registran 32 especies arbóreas mayores a 10 cm. de DAP, pertenecientes a 20 familias botánicas. Las especies con mayor número de individuos por hectárea es el Chal-chal y *Nectandra sp.* Siendo las más frecuentes en todos los sitios de evaluación. Por otro lado se tiene un total de 468 individuos por hectárea. La vegetación a los 970 msnm. se caracteriza por ser un bosque ralo de ladera inferior escarpada, con una densidad de 320 individuos por hectárea.

Cuadro 1: Estrato Arbóreo

Familia	Especie	Nombre común
Lauraceae	<i>Nectandra sp.</i>	Laurel
Sapotaceae	<i>Chrysophyllun gonocarpum (Mart. Et. Erch)</i>	Aguay
Myrsinaceae	<i>Rapanea sp.</i>	Yuruma
Solanaceae	<i>Solanun ripariun Pers</i>	Tabaquillo blanco
Sapindaceae	<i>Cupanea vernalis Cambess</i>	Condorillo
	<i>Diatenopteryx sorbifolia Radlkofer</i>	Suiquillo
	<i>Allophylus edulis (Camb.) Radlk</i>	Chal-chal
Rosaceae	<i>Prunas tucumanensis Lillo</i>	Duraznillo

Mirtaceae	<i>Eugenia sp.</i>	Guayabo
	<i>Eugenia uniflora L.</i>	Arrayán
	<i>Bleparocalyx gigantea L.</i>	Barroso
Polygonaceae	<i>Ruprechtia laxiflora L.</i>	Membrillo
	<i>Coccoloba tiliaceae Lindau</i>	Mandor
Flacourtiaceae	<i>Xilosma pubescens</i>	Amarillo
Nictaginaceae	<i>Bougainvillea sp.</i>	Huancar
Tiliaceae	<i>Heliocarpus papayanensis</i>	Cascarilla
Euphorbiaceae	<i>Croton densiflorus Pax et Hoffmann</i>	Tabaquillo rosado
Boraginaceae	<i>Patagonula americana L.</i>	Lanza blanca
	<i>Cordia trichotoma (Vell.)</i>	Afata
	<i>Saccellium lanceolatum Humb et Bonpl.</i>	Lanza monteña
Rutaceae	<i>Fagara coco (Gill.)</i>	Sauco
Bignoniaceae	<i>Tabebuia impefiginosa (C. Martius ex A.DC)</i>	Lapacho rosado
	<i>Tabebuia heteropoda Sandw.</i>	Lapacho amarillo
Juglandaceae	<i>Juglans australis Griseb.</i>	Nogal
Meliaceae	<i>Cedrela sp.</i>	Cedrillo
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva (Fr. All) Engl.</i>	Urundel
Leg. Mimosoidea	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Cebil

	<i>Inga edulis</i> – Martius sp.	Pacay
Leg. Papilonoidea	<i>Lonchocarpus lilloí</i> - (Hassl.) Burkart.	Quina blanca
	<i>Tipuana tipu</i> - (Benth.) O.Kuntze	Tipa
	<i>Myroxylon peruiferum</i> - L.f.	Quina colorada

Fuente: (Acosta, 2004)

3.4.3. Estrato arbustivo

Se encuentra disperso en la parte inferior del bosque, obteniendo un 22% de cobertura y una densidad de 2.343 individuos por hectárea como promedio general. Integrado en su mayoría *Psychotria carthagansensis*; con 1.714 individuos por hectárea. Esta especie está distribuida en áreas tropicales y subtropicales en casi todo el mundo (Cabrera, 1993), corroborado por el documento de levantamiento florístico preliminar ya que la zona de estudio está dentro de las áreas que indica este autor. La densidad y cobertura de las especies presentes demostraron ser descendentes de acuerdo al piso altitudinal.

Cuadro 2: Estrato Arbustivo

Familia	Especie
Solanaceae	<i>Solanum trichoneurom</i>
Rubiaceae	<i>Psychotria carthagansensis</i>
Acanthaceae	<i>Aphelandra sp.</i>
Urticaceae	<i>Urera sp.</i>
Piperaceae	<i>Piper sp.</i>

Fuente: (Acosta, 2004)

3.4.4. Estrato herbáceo

La cobertura de este estrato es del 10.3%, y una densidad de 84167 individuos por hectárea integrados por la familia Gramineae, Acanthaceae y Aspleniaceae, destacándose *Oplismenus hirtellus*. con 24167 individuos por hectárea siendo muy consumido por el ganado bovino, de aspecto postrado y tallos tenues que les hace accesibles al pastoreo de los animales, su habitat es en regiones boscosas, a la sombra, también se encuentra en este hábitat en todos los lugares sombríos del bosque.

Cuadro 3: Estrato Herbáceo

Familia	Especie
Aspleniaceae	<i>Asplenium sp.</i>
Acanthaceae	<i>Ruellia sp.</i>
	<i>Dicliptera sp.</i>
Maranthaceae	<i>Maranta sp.</i>
Gramineae	<i>Ichnantus</i>
	<i>Oplismenus hirtellus</i>
Acanthaceae	<i>Justicia goudotti</i>

Fuente: (Acosta, 2004)

3.5. Aspectos Socioeconómicos

3.5.1. Uso actual de la tierra

En la comunidad de Rio Conchas, la actividad predominante es la ganadería; encontrándose también zonas donde se cultivan maíz, papa, árboles frutales y plantaciones de caña de azúcar.

Los comunarios, también se dedican a la crianza de animales domésticos como ser: caballos, vacas, cerdos, aves de corral, etc.

3.5.2. Vías de comunicación

De acuerdo a la información del Servicio Nacional de Caminos, por el Sur del Departamento de Tarija pasa la red fundamental Ruta 1; carretera panamericana que une las ciudades de Tarija y Bermejo la misma que sirve como conexión a la República Argentina, está considerada como una carretera internacional, la misma cuenta con cubierta asfáltica.

El ingreso a la comunidad de Rió Conchas, se lo hace por el cruce el Salado a través de un camino vecinal el que en épocas de lluvia se torna intransitable debido a las redes de drenaje y al crecimiento del Rio Salado y el Rio Conchas, como también a los derrumbes, que se producen por las altas y constantes precipitaciones en periodo de lluvias.

3.5.3. Población

Según informe de (ZONISIG, 2000), el número de habitantes es muy bajo, evidenciándose el poco crecimiento en la densidad; es así que se pudo constatar que las familias son poco numerosas.

3.5.4. Educación

En esta comunidad, se observa que los niños sólo pueden estudiar hasta el último curso del nivel primario, las Unidades Educativas no cuentan con el nivel secundario porque se carece de ítems para este nivel.

La precariedad de los caminos y la distancia impide que los niños lleguen a la escuela con facilidad, razón por la cual se acrecenta el índice de analfabetismo.

4. Descripción de los pegamentos utilizados

4.1. Carpicola Monopol Pegamento Vinílico para Carpintería

Pegamento a base de emulsión acuosa de polímero de vinil acetato, de secado transparente. Este producto posee una serie de características que le dan un excelente poder pegante entre cualquier tipo de maderas, y resiste condiciones extremas de esfuerzo mecánico.



Figura 6: Carpicola Monopol

4.1.1. Usos

Su utilización principal está en el pegado y ensamblaje de muebles, puertas, ventanas, enchapes, “finger joints”, terciados y enchapados, etc., que requieran alta resistencia a la humedad o resistencia al agua corriente. Sujetos a condición de esfuerzo D1 y D2 de la norma europea EN-204.

La resistencia mejora cuando la superficie es protegida con un recubrimiento adecuado.

- Esfuerzo D1: la temperatura pasa ocasionalmente de 50°C por un corto período de tiempo y la humedad en la madera no excede 15%.
- Esfuerzo D2: exposición ocasional por un corto período de tiempo al agua corriente o condensación y/o alta humedad muy ocasional.

Con el pegamento se pueden alcanzar ciertos efectos plásticos para trabajos manuales (porcelana fría).

4.1.2. Ventajas

- Las resistencias finales con el pegamento son altas. Mayores a 10 N/mm² a temperatura ambiente y mayores a 6 N/mm² a temperaturas de 80°C.
- Seca en aproximadamente media hora al tacto, y permite quitar las prensas al cabo de 24 horas.
- Se puede adelgazar con agua.
- No daña las máquinas y las herramientas.
- Seca transparente.

4.1.3. Preparación de la superficie

Las superficies a pegar deben estar limpias, secas, libres de polvo, suciedad, grasa, aceite, etc.

4.1.4. Modo de empleo

- Agitar el producto muy bien con espátula.
- Se halla lista para su fácil aplicación a brocha, espátula o máquina de encolar.
- La cantidad mínima de aplicación es de 100 g/m² en cada una de las superficies. Las superficies porosas siempre requieren más pegamento.
- Se puede diluir hasta con un 20% de agua, pero las características del pegamento varían, como ser la fuerza del pegado y el tiempo de encolado.
- La temperatura mínima para el prensado con CARPICOLA es de 5°C y la temperatura máxima no debe ser superior a los 75°C.
- Es indispensable lavar el material de aplicación con agua después de su uso.

4.1.5. Recomendaciones

- Evitar pegar a temperaturas inferiores a 5°C y/o humedad relativa mayor a 90%.
- No guardar la Carpicola diluida.

4.1.6. Precauciones

- Se recomienda el uso de máscara protectora, lentes de seguridad y guantes de PVC o látex.
- Mantener el ambiente bien ventilado durante la preparación, aplicación y secado.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- En caso de contacto con los ojos, lavar éstos con abundante agua durante por lo menos 15 minutos. Si la irritación persiste consultar un médico.
- No ingerir. Si es el caso consultar un médico inmediatamente.
- Mantener el envase bien cerrado, lejos del fuego y fuentes de calor en un lugar seco y ventilado.
- Mantener fuera del alcance de los niños en todos los casos.

4.1.7. Productos complementarios

- Tratamiento antihongo/antitermita preventivo
- Antitermitas monopul (b-05) teñido de la madera y/o de la carpícola
- Tinte para madera al agua monopul (b-55)
- Tinte para madera al solvente monopul (b- 55) pinturas de acabado para madera
- Pintura sintética brillo monopul (a-05)
- Pintura sintética mate monopul (a-10)
- Pintoleo monopul (a-06)
- Laqueado vitrotane (b-70) barnices de acabado para madera
- Barniz copal (b-10)
- Barniz cristal (b-15)

4.1.8. Tiempo de secado

- Al tacto: 15 minutos
- Duro: 1 hora
- Total: 24 horas

4.2. Cola vegetal para carpinteros

Es una sustancia adhesiva de naturaleza proteica que se obtiene por hidrólisis del colágeno presente en las pieles, los huesos, las pezuñas y los tejidos de los animales. Esta cola de origen orgánico dejó de utilizarse a gran escala en las primeras décadas del siglo pasado, y en la actualidad, se emplea muy poco en trabajos donde son muy apreciadas por su buena adherencia, elasticidad y reversibilidad.



Figura 7: Cola Vegetal

4.2.1. Como preparar la cola

La cola se comercializa en tabletas, polvo y bolitas, para su elaboración se vierte en un recipiente la cantidad de tabletas de cola que se vayan a necesitar y se cubren con agua.

Se introduce el recipiente en una cazuela al baño María durante unos 30 minutos. En ese tiempo se debe remover el producto con frecuencia para favorecer la fusión de la cola, la cola estará lista cuando tome una consistencia de la miel filtrada, no debe estar demasiado líquida ni demasiado densa.

Durante este proceso la cola no debe entrar en ebullición, ya que perdería su poder adhesivo.

4.2.2. Aplicación de la cola

- Este tipo de cola se debe utilizar caliente, porque se debe aplicar una vez preparada.
- La zona o pieza que se va encolar debe estar limpia, sin restos de suciedad u otros adhesivos.
- La cola se aplica en ambas superficies con una brocha.

4.3. MATERIALES

Para lograr los objetivos de esta investigación se utilizará los siguientes materiales:

4.3.1. Material de Aserradero

- Sierra sin fin
- Sierra circular
- Cepilladora
- Flexómetro
- Escuadra de carpintería

4.3.2. Material para la Elaboración de las Probetas de Madera Laminada Encolada

- Carpicola (MONOPOL)
- Cola vegetal
- Brocha
- Prensa

4.3.3. Material de Laboratorio

- Prensa AMSLER (con accesorios para los diferentes ensayos)
- Deflectómetro
- Probetas de Madera
- Balanza electrónica
- Vernier
- Soporte universal
- Estufa eléctrica
- Planillas para los diferentes ensayos

4.3.4. Material de Gabinete

- Computadora
- Calculadora
- Planillas de registro
- Bibliografía (normas COPANT)
- Material de escritorio

4.4. METODOLOGÍA

La determinación de las propiedades mecánicas en madera laminada encolada que se establecieron en este trabajo de investigación permitirá aprovechar las propiedades mecánicas del material de manera óptima, por lo que es necesario determinar las resistencias reales del material y que se usarán posteriormente en el uso estructural.

Para la realización de los ensayos de las propiedades mecánicas mediante laboratorio, se elaboraron probetas de madera laminada encolada adecuándolas a las normas COPANT MADERAS 30: 1-013 (Comisión Panamericana de Normas Técnicas).

La normas COPANT MADERAS, establece las dimensiones de las probetas a ensayarse en laboratorio para la obtención de las características mecánicas de la madera.

Cuadro 4: Normas para realizar los Ensayos (COPANT 1974).

NORMAS	TEMAS
COPANT 460	Determinación del Contenido de Humedad
COPANT 455	Determinación de flexión estática
COPANT 463	Determinación del cizallamiento
COPANT 464	Determinación de compresión paralela al grano
COPANT 466	Determinación de compresión perpendicular al grano
COPANT 465	Determinación de la dureza

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.4.1. Selección y colección de muestras

De acuerdo a la norma COPANT Maderas 458 se seleccionó las muestras mediante el sistema de selección al azar, esto debido a que toda la madera presenta variaciones en sus propiedades mecánicas, en árboles de la misma especie que se desarrollan en distintos sitios y se ven afectados por diversos factores como la edad, diámetro, altura, diferencia de fibras y de anillos de crecimiento entre otros.

4.4.2. Definición de la población

Para realizar el estudio de las propiedades mecánicas de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanedae L.*), se establecieron las siguientes características de cada individuo como ser: diámetro a la altura del pecho de 1.30 metros, edad, sanidad y altura.

4.4.3. Selección de los árboles

Se seleccionó al azar tres árboles, obteniéndose 8 probetas por árbol, para la obtención de 24 probetas para cada ensayo sumando un total de 120 probetas para los ensayos para estado seco al aire.

4.4.4. Ubicación de los árboles en el área de estudio

Cuadro N° 5: coordenadas de los árboles

Punto	X_Coord.	Y_Coord.
1	355075	7527655
2	355062	7527655
3	355098	7527651

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.4.5. Selección de trozas

Posteriormente al apeo de los árboles, se realizó el desramado y los fustes que fueron divididos en secciones de 1 m de longitud, los cuales fueron marcados con pintura desde la parte inferior a la superior de la troza, para poder identificarlos rápidamente.

Luego de la correcta identificación se realizó una selección aleatoria, anotando todos los datos de cada troza en las planillas.

4.4.6. Selección de las viguetas dentro de la troza

Las viguetas fueron obtenidas de los tablones centrales y laterales, tratando que los lados estén bien orientados, los mismos se dividieron longitudinalmente obteniendo viguetas de 5*5 cm de sección transversal, teniendo en cuenta la escuadría adecuada para una buena orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras.

Cabe hacer notar que estos ensayos aplicados son en estado seco al aire (12 – 18 % de contenido de humedad), primero se tuvo que acondicionar las viguetas en sección transversal, durante un tiempo de 1 mes apilándolas en un galpón con buena circulación de aire.

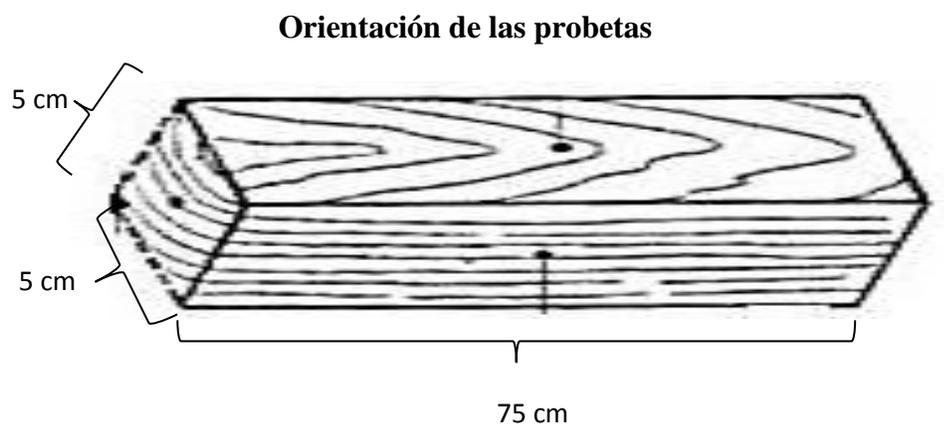
4.4.7. Aplicación del tratamiento profiláctico

Una vez obtenidos los tablones centrales en el aserradero, se procedió inmediatamente a limpiar el aserrín el mismo que queda después del corte, también se procedió al sellado de las testas para evitar las rajaduras producidas debido a la rápida pérdida de humedad por los extremos.

4.4.8. Elaboración de las probetas

Para este fin se realizó de acuerdo a las normas COPANT, propuestas de cada ensayo de la siguiente manera:

- Se elaboraron, los listones para los ensayos en estado seco al aire de 5*5 cm. se dejó secar en un galpón al aire libre, hasta que llegue a un contenido de humedad adecuado para realizar el ensayo.
- Para la preparación de las probetas se debe tomar en cuenta la correcta orientación de los anillos de crecimiento y dirección de las fibras para evitar resultados incorrectos.



El número de probetas que se utilizó en los diferentes ensayos de propiedades mecánicas en estado seco al aire, se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro 6: Dimensiones y Cantidad de Probetas para los Ensayos

Ensayo	Cant. Probetas Seco al Aire	Dimensiones cm
Flexión Estática	24	5*5*75
Compresión Paralela	24	5*5*20
Compresión Perpendicular	24	5*5*15
Dureza	24	5*5*15
Cizallamiento	24	5*5*6,3

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.4.9. Elaboración de la madera laminada encolada

- Se elaboró 72 láminas con las siguientes dimensiones: 5 cm de ancho, 1,6 cm de espesor y longitudes de 75cm, 20 cm, 6,3 cm y 15 cm para los diferentes ensayos.

- Estas probetas estuvieron dimensionadas de tal forma que las proporciones en sus dimensiones cumplan con los parámetros que establece la norma.
- Cada probeta estuvo formada por tres láminas, las mismas que fueron encoladas con los dos tipos de pegamento (Carpicola MONOPOL y cola de carpintero).
- El tiempo de prensado en condiciones normales fue de 48 horas para garantizar una correcta adherencia del material de unión lo que permitirá alcanzar la resistencia óptima de las uniones encoladas
- Se elaboraron 20 probetas con tres láminas para cada uno de los ensayos.

El número de láminas que se utilizó para elaborar las probetas se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro 7: Cantidad de láminas y dimensiones de las probetas

Ensayo	Cantidad	Dimensiones		
		Ancho (cm)	Longitud (cm)	Espesor (cm)
Flexión Estática	72	5	75	1,6
Compresión Paralela	72	5	20	1,6
Compresión Perpendicular	72	5	15	1,6
Dureza	72	5	15	1,6
Cizallamiento	72	5	6,3	1,6

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

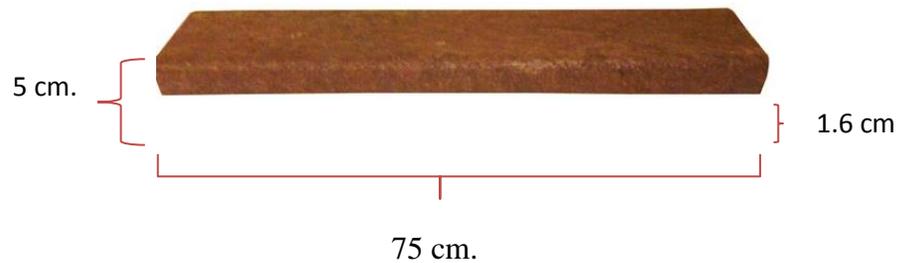


Figura 8: Láminas para las probetas

4.4.10. Encolado de las probetas

El encolado de las láminas se realizó con los tipos de pegamento (Carpicola MONOPOL y Cola Vegetal de carpintero), se formaron probetas de tres láminas, las mismas que fueron prensadas inmediatamente. Se dejó secar durante 2 días para tener un pegado o una buena adherencia.

4.4.11. Codificación de las Probetas

Para tener una correcta tabulación de datos y mejor identificación de las probetas se realizó la codificación de las mismas, de manera que sea clara y sencilla que permita ubicarla durante la realización del ensayo.

El tipo de ensayo como: F = (Flexión Estática), CP = (Comprensión Paralela), CPN = (Comprensión Perpendicular), D = (Dureza), y C = (Cizallamiento).

1= Número de las probetas.

FCM1

- F = Flexión Estática
- CM = Carpicola Monopol
- 1 = Número de la probeta

FCV1

- F = Flexión Estática
- CV = Cola Vegetal
- 1 = Número de la probeta

4.5. Realización de los Ensayos

Los ensayos de propiedades mecánicas se determinaron de acuerdo a las normas COPANT MADERAS, antes de iniciar los ensayos se ha medido de las probetas, su peso en gramos de acuerdo con la planilla propuesta para cada ensayo.

Para todos los ensayos se utilizó la prensa AMSLER con una capacidad de 40 toneladas, cuya precisión es de 0,1 KN que está ubicada en el Laboratorio de Tecnología de la Madera (Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales), máquina universal de ensayos provista con todos los accesorios para regular la velocidad de ensayos.

4.5.1. Flexión Estática

Se elaboró 20 probetas de tres láminas de madera laminada encolada, las mismas se determinó según las normas COPANT Maderas 455, para lo cual se ensayaron probetas en estado seco al aire, teniendo una sección transversal de 5 * 5 cm y una longitud de 75 cm.

La probeta se colocó entre dos apoyos cilíndricos con una luz de 70 cm, y se aplicó en la mitad de la probeta una carga externa en dirección tangencial a los anillos de crecimiento, dicha carga se regulará de tal forma que avance con una velocidad constante de 2,5 mm/min. Las cargas a aplicar serán medidas, como así mismo las deformaciones que presento dentro del periodo del ensayo para lo cual se empleó un defleómetro para la medición progresiva del periodo elástico, con intervalos de carga hasta el límite de ruptura y su deflexión correspondiente las mismas se registraran en las planillas correspondientes.



Figura 9: Ensayo Flexión Estática

Para la interpretación de las fallas, se clasifico según el tipo de falla que presento, posteriormente a la esquematización de la falla, de la zona más cercana a la ruptura se procedió a realizar un corte de una galleta de 2 cm de espesor para obtener el contenido de humedad para todas las probetas que se ensayaron (de acuerdo a la norma COPANT 460).

En base a los resultados obtenidos se traza la curva carga – deformación donde se obtuvo los datos necesarios para los cálculos posteriores: carga al límite proporcional (ELP), módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE), para cada una de las probetas ensayadas.

a) Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{3}{2} * \frac{P_1 * L}{a * h^2}$$

Donde:

P1 = Carga al límite proporcional en kg.

a = Ancho de la probeta en cm

h = Altura de la probeta en cm

L = Luz de la probeta (70 cm)

b) Módulo de Ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{3}{2} * \frac{P_2 * L}{a * h^2}$$

Dónde:

P2= carga máxima kg.

c) Módulo de Elasticidad (MOE)

$$MOE = \frac{P_1 * L^3}{4 * d * a * h^3}$$

d = deformación en el límite proporcional ajustado en el gráfico.

1KN = 101,972 kg

4.5.2. Compresión paralela al Grano

Se elaboró 20 probetas de tres láminas de madera laminada encolada, el ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 464 con probetas de 5*5* cm en sección transversal y 20 cm de longitud, se colocó la probeta en la maquina universal de ensayo, descansando sobre la base fija de la prensa y en la parte superior se utilizó un plato móvil para compensar posibles pequeñas fallas de escuadría en la sección transversal.



Figura 10: Ensayo de compresión paralela al grano

Luego se aplicó sobre la sección transversal de la probeta la carga externa continua de manera que el plato móvil avance a una velocidad constante de 0,6 mm/min; a través del deflectómetro se midió la deformación producida por la probeta, así mismo se registró la carga que fue aplicada hasta producir la ruptura de la probeta.

Las fallas se registraron en forma esquemática y se clasificó según las “Fallas Típicas de Compresión Paralela Al Grano”, luego de la zona más cercana a la falla se cortó una galleta de 2 cm de sección para la determinación del contenido de humedad, para todas las probetas.



Figura 11: Tipos de falla compresión paralela al grano

En base a los resultados obtenidos se traza la curva carga – deformación donde se obtuvo los datos necesarios para realizar los cálculos posteriores: carga al límite proporcional (ELP), módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE), para cada una de las probetas que fueron ensayadas. (Cruz 2006).

Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P_1}{A}$$

Donde:

ELP = Esfuerzo al Límite Proporcional (Kg. /cm.²)

P₁ = Carga la Límite proporcional (Kg.)

A = Área de Compresión (cm.²)

Módulo de Ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{P_2}{A}$$

Donde:

MOR = Módulo de Ruptura (Kg. /cm.²)

P₂ = Carga Máxima (Kg.)

Módulo de Elasticidad (MOE)

$$MOE = \frac{P_1 * L}{A * d}$$

Donde:

MOE = Módulo de Elasticidad (Kg. /cm.²)

P₁ = Carga la Límite proporcional (Kg.)

L = Altura (cm.)

4.5.3. Compresión Perpendicular al Grano

Se elaboraron 20 probetas de tres láminas de madera laminada encolada, de acuerdo a la norma COPANT 466; para lo cual se empleó para este ensayos probetas de 5 * 5 cm en sección transversal y 15 cm de longitud, previo a los ensayos se colocó los accesorios de compresión perpendicular, sobre una base fija de la prensa y en la parte superior un plato móvil, la probeta se apoyó sobre la base fija aplicando una carga externa sobre la cara radial, con una velocidad uniforme de 0,3 mm/min, por medio de una placa de metal de 5 cm de ancho que se colocó transversalmente a la longitud de la probeta de igual distancia a los extremos, hasta una penetración de la placa metálica de 2,5 mm.



Figura 12: Ensayo de Compresión Perpendicular al Grano

Luego inmediatamente se cortó de la zona más cercana la falla una galleta de 2 cm de sección para la determinar el contenido de humedad, para todas las probetas.

En base a los resultados se trazó la curva carga – deformación donde se obtuvieron los datos necesarios para realizar los cálculos posteriores: carga al límite proporcional (ELP), para cada una de las probetas que han sido ensayadas. (Cruz 2006).

Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P_1}{A}$$

Donde:

ELP = Esfuerzo al Límite Proporcional (Kg. /cm.²)

P₁ = Carga la Límite proporcional (Kg.)

A = Área de Compresión (cm.²)

4.5.4. Dureza

Se elaboró 20 probetas de tres láminas de madera laminada encolada, los ensayos se realizó de acuerdo a lo estipulado a la norma COPANT 465, según la norma se mide la resistencia que pone la madera a la penetración de una semiesfera metálica de 11,284 mm de diámetro y que ocasiona su sección semiesfera una superficie de 1 cm².

Se empleó probetas de 5 * 5 cm en sección transversal y 15 cm de longitud, el ensayo se realizó en la maquina universal agregando a este un accesorio y aplicando a cada probeta 6 penetraciones, 2 en cara radial, 2 en la cara tangencial y 1 en cada extremo, con una velocidad uniforme de 6 mm/min, y controlando la penetración del instrumento hasta su máximo recorrido mediante el movimiento del collarín.



Figura 13: Ensayo de Dureza

Posteriormente concluido el ensayo se procedió a cortar una galleta de 2 cm de sección para la determinación del contenido de humedad, próxima a la penetración.

La fórmula que se utilizó según Janka: (Cruz, 2006).

$$HB = \frac{F}{A}$$

Donde:

HB = Dureza (Kg. /cm².)

F = Fuerza (Kg.)

A = Área del círculo de penetración según Janka es de 1cm².

4.5.5. Cizallamiento

Se elaboró 20 probetas de tres láminas de madera laminada encolada, los ensayos se realizó de acuerdo a lo estipulado a la norma COPANT 463, en la preparación de las probetas se debe tener especial cuidado de que las superficies indicadas como A y B, sean perpendiculares al grano. La cara indicada como C deberá ser 50% radial y 50 % tangencial. Las probetas a estudiar son 20, para la cara tangencial 10 y para la radial otras 10 probetas, las mismas fueron de las siguientes dimensiones 5 * 5 cm de sección transversal y 6,3 de longitud; al mismo tiempo las probetas presentaron una entalladura de 1,8 * 1,5 en la orientación radial o tangencial.

Para este ensayo se utilizó un accesorio adicional metálico donde se sujeta la probeta, quedando libre la parte de la entalladura (lado B) donde se aplicó la carga (con ayuda de la placa mecánica), con una velocidad uniforme de la cabeza móvil (plato metálico), de la maquina universal la velocidad del ensayo será de 0,6 mm/min, hasta la ruptura de la probeta.



Figura 14: Ensayo de Cizallamiento

Para la determinación del contenido de humedad se empleó la porción separada de cada una de las probetas.

Con los datos registrados en las planillas se calculó la resistencia al Cizallamiento con la fórmula: (Cruz 2006).

$$\sqrt{cizall} = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

\sqrt{cizall} = Resistencia al Cizallamiento (kg. /cm²).

P_{max} = Carga Máxima (kg.).

A = Área de la zona de Cizallamiento (cm².)

4.5.6. Contenido de Humedad

De acuerdo a la norma COPANT 460 se determinó el contenido de humedad para cada ensayo con la fórmula: (Cruz, 2006).

$$CH = \frac{Psa - Po}{Po} * 100$$

Donde:

CH = Contenido de Humedad (%)

Psa = Peso Seco al Aire (gr.)

Po = Peso Anhidro (gr.)



Figura15: Pesaje de las galletas para la determinación del CH.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

4.6. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó de acuerdo a la norma COPANT 30:1-012 para presentar los resultados y así determinar las propiedades mecánicas de la madera. Se tomó en cuenta las siguientes condiciones:

- ✓ Que todos los árboles del área no presenten defectos y tengan la misma posibilidad de entrar en el muestreo.
- ✓ La obtención de las probetas se realizó al azar.

Los datos requeridos son los siguientes:

- Número de árboles ensayados (k)
- Número de probetas por árboles (L)
- Total de probetas ensayadas (N)

Cuadro 8: Datos para el análisis estadístico

K = Número de árboles ensayados	3
L = Número de probetas por árbol	4
N = Total de probetas ensayadas	12

Estos datos permiten calcular:

4.6.1. Valor promedio total de todos los valores individuales

1. Cuando el número de probetas por árbol (L) sea igual en todos los árboles se utiliza:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{L}{N} \sum_{j=1}^K x_i$$

2. Si el número de probetas por árbol (L) no es igual en todos los árboles la fórmula a utilizar es:

$$\bar{X} = \frac{L}{K} \sum_{j=l}^K x_i$$

4.6.2. Estimación de la Varianza

Para la estimación de varianzas, se determinó en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y varianza total (S_1^2 ; S_2^2 ; S_T^2).

Cuadro 9: Fórmulas para determinar la varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados de la desviación	Variación
Entre los grupos	$n_1 = k - 1$	$A_1 = \text{II} - \text{I}$	$S_1^2 = \frac{A_1}{n_1}$
Dentro de los grupos	$n_2 = N - k$	$A_2 = \text{III} - \text{II}$	$S_2^2 = \frac{A_2}{n_2}$
Total	$n_1 + n_2 = k - 1$	$A_1 + A_2 = \text{III} - \text{I}$	$S_T^2 = \frac{A_1 + A_2}{n_2 + n_2}$

Fuente: Norma COPANT Maderas 30:1-012

Donde:

$$n_1 = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$n_2 = N - k = 12 - 3 = 9$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 11$$

Los números romanos son agrupadores de datos y/o fórmulas; para su desarrollo se presenta el siguiente ejemplo:

Donde:

$N = 12$ (número de probetas por ensayo)

$k = 3$ (número de árboles)

$l = 4$ (número de probetas dentro de un árbol por ensayo)

$$I = \frac{1}{N} * \left(\sum_{j=1}^N x_j \right)^2 = \frac{(13679,34)^2}{12} = 15593694,91$$

$$II = l * \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^k x_i \right)^2 = 15600677,32$$

$$III = \sum_{i=1}^N x_i^2 = 15704551,36$$

$$S_1^2 = \frac{II - I}{k - 1} = \frac{6982,41}{2} = 3491,20$$

$$S_2^2 = \frac{III - II}{N - k} = \frac{103874,04}{9} = 11541,56$$

$$S_T^2 = \frac{III - I}{N - 1} = \frac{110856,45}{11} = 10077,86$$

S_1^2 = Variación de los valores individuales entre los árboles

S_2^2 = Variación promedio

S_T^2 = Variación de todos los valores individuales al rededor del promedio total

4.6.3. Determinación del coeficiente de variación

Se desarrolla primeramente el cálculo de la desviación típica, que es la raíz cuadrada de los valores de variación, obteniéndose:

$$S_1 = \sqrt{3491,20} = \pm 59,09$$

$$S_2 = \sqrt{11541,56} = \pm 107,43$$

$$S_T = \sqrt{10077,86} = \pm 100,39$$

Coefficiente de variación (CV_1) para la varianza promedio de los valores individuales entre (k) árboles se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CV_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} * 100 = \frac{59,09}{1139,94} * 100 = 5,18 \%$$

Coefficiente de variación (CV_2) para la varianza promedio de los valores de las varianzas dentro de los (k) árboles se determina como sigue:

$$CV_2 = \frac{S_2}{\bar{X}} * 100 = \frac{107,43}{1139,94} * 100 = 9,42 \%$$

El coeficiente de variación total (CV_T) para la varianza de los valores individuales

(x_i) Alrededor del promedio total (\bar{X}) se obtiene según:

$$CV_T = \frac{S_T}{\bar{X}} * 100 = \frac{100,39}{1139,94} * 100 = 8,81 \%$$

4.6.4. Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio

Como el valor promedio total de un muestreo es solamente una estimación del promedio de la población, también se necesita presentar en el análisis estadístico el intervalo de confianza del valor promedio total, para una seguridad estadística postulada (generalmente 95 %). El valor del promedio total, es decir de todos los datos $\pm q$ (intervalo de confianza) incluye el valor promedio real de la población (N), con una probabilidad dada.

Se empleó la siguiente fórmula:

$$q = \pm t_{(k-1)} \frac{S_1}{\sqrt{N}} * 100$$

En esta fórmula “t” es un factor que depende de k-1 grados de libertad y que tiene los siguientes valores para una seguridad estadística de 95 % como demuestra la tabla siguiente:

k-1	2	3	4	5	7	9	14	19	α
$t_{(k-1)}$	4,3	3,18	2,78	2,57	2,37	2,26	2,15	2,09	1,96

$$q = \pm(k-1) \frac{S_1}{\sqrt{N}} = 4,3 * \frac{59,09}{\sqrt{12}} = \pm 73,43$$

$$p = \frac{q}{X} * 100 = \frac{73,43}{1139,94} * 100 = 6,44\%$$

4.6.5. Determinación del valor relativo del intervalo de confianza

Los límites del valor promedio total, calculados según la fórmula anterior, se puede expresar también en forma relativa en porcentaje según:

$$p = \pm \frac{q}{\bar{X}} * 100$$

PROPIEDADES MECÁNICAS

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO: FLEXIÓN ESTÁTICA CARPICOLA MONOPOL
(MÓDULO DE RUPTURA)**

Nº de probeta	Análisis Estadístico, Módulo de Ruptura			Σ lineal
	Nº de arboles			
	1	2	3	
1	1199,19	1242,02	1053,57	
2	1036,44	1156,36	1139,23	
3	1250,58	1267,72	1250,58	
4	1027,88	1027,88	1027,88	
I	4	4	4	12
$\sum_{i=1}^l xi$	4514,10	4693,98	4471,27	13679,34
$j \bar{X}$	1128,52	1173,49	1117,82	3419,83
$\sum_{i=1}^l xi^2$	5132767,87	5543421,58	5028361,90	15704551,36 (III)
$\frac{1}{l} = \left(\sum_{i=1}^l Xi \right)^2$	5094266,79	5508350,57	4998059,95	15600677,32 (II)

Formula	Σx	N	Resultado
$X = \frac{\sum x}{N}$	13679,34	12	1139,94
I	187124338,90	12	15593694,91
II			15600677,32
III			15704551,36

k= Número de árboles ensayados	3
L= Número de muestras por árbol	4
N= Total de probetas ensayadas	12

Formula	Resultado
A1= II-I	6982,41
A2= III-II	103874,04
A3= III-I	110856,45
S_1^2	3491,20
S_2^2	11541,56
S_T^2	10077,86
S_1	59,09
S_2	107,43
S_T	100,39
CV_1	5,18
CV_2	9,42
CV_T	8,81
$\pm q$	73,43
p%	6,44

Datos requeridos para el análisis estadístico:

Nº árboles ensayados (K) = 3

Nº probetas por árbol (I) = 4

Nº total de probetas por especie (N) = 12

Promedio total (\bar{X}) = 1139,94

GRADOS DE LIBERTAD		VARIANZA	DESV. TÍPICA
n1 = k - 1 = 2	I = 15593694,91	A1= II-I = 6982,41	S1 = 59,09
n2 = N - k = 9	II = 15600677,32	A2= III-II = 103874,04	S2 = 107,43
n3=n1 +n2 =N - 1 = 11	III = 15704551,36	A3= A1+A2= III- I = 11077,86	ST = 100,39
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		INTERVALO DE CONFIANZA	
CV1 = 5,18		$q = 73,43$	
CV2 = 9,42		$p = 6,44 \%$	
CVT = 8,81		$\bar{X} \pm q = 1139,94 \pm 73,43\%$	
		$\bar{X} \pm p = 1139,94 \pm 6,44 \%$	

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

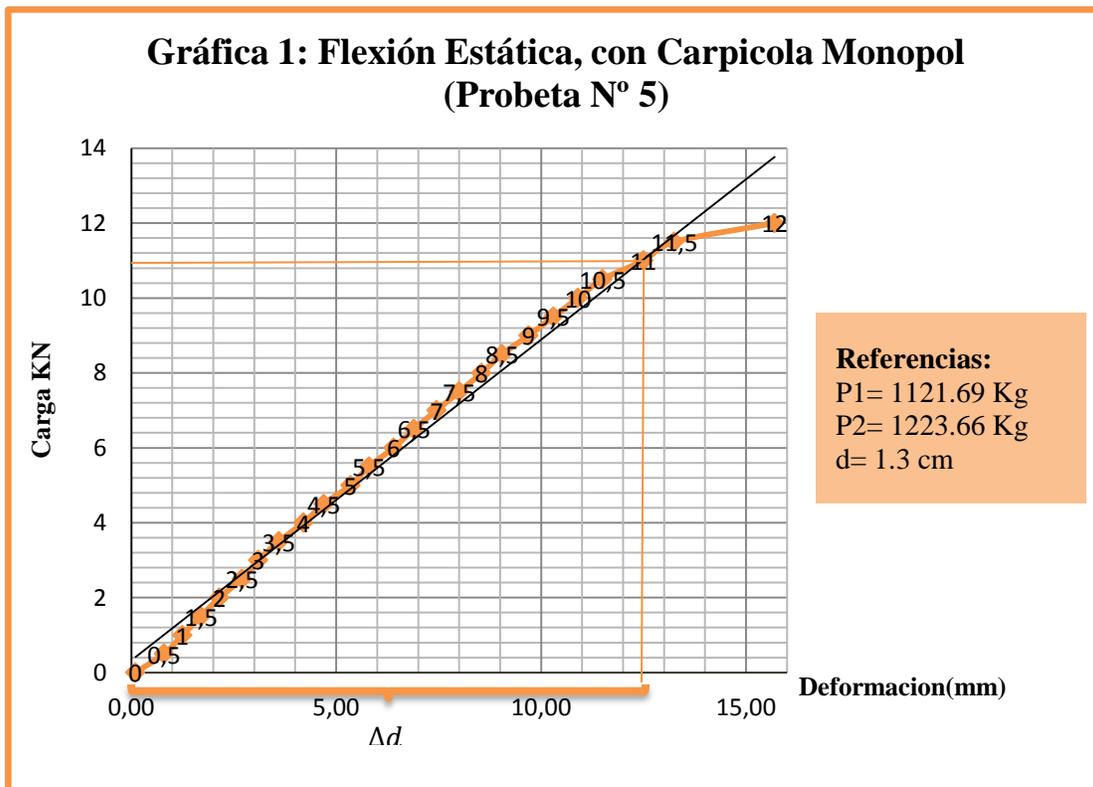
4.7. Presentación de los resultados

Concluido los ensayos de las propiedades mecánicas en madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanedae* L.), la misma que se realizó con dos pegamentos Carpicola para carpinteros (Monopol) y cola de carpintero (Cola Vegetal), y obteniendo los valores correspondientes de cada etapa se procedió a realizar los diferentes cálculos y el análisis estadístico según lo establecido en la norma COPANT 30:1-012 en lo relativo al proceso de los resultados individuales.

4.7.1. Resultados de los ensayos realizados con Carpicola Monopol

4.7.2. Flexión Estática

Fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 455:



ESTADO	CH %	ELP kg/cm ²	MOR kg/cm ²	MOE kg/cm ²
Seco Al Aire	11,98	1017,17	1139,94	120498,15
Clasificación según su resistencia (MOR)			Muy Alta	

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS		
Tipo de Falla	Cant. Probetas	Observaciones
Tracción Simple	6	Las fallas se presentaron en la lámina "3" en las mismas no se produjo el desprendimiento del pegamento.
Tracción de Grano Entrecruzado	6	Las fallas se presentaron en las láminas "2 y 3", este tipo de falla causo el desprendimiento del pegamento en dos de las probetas.

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de humedad

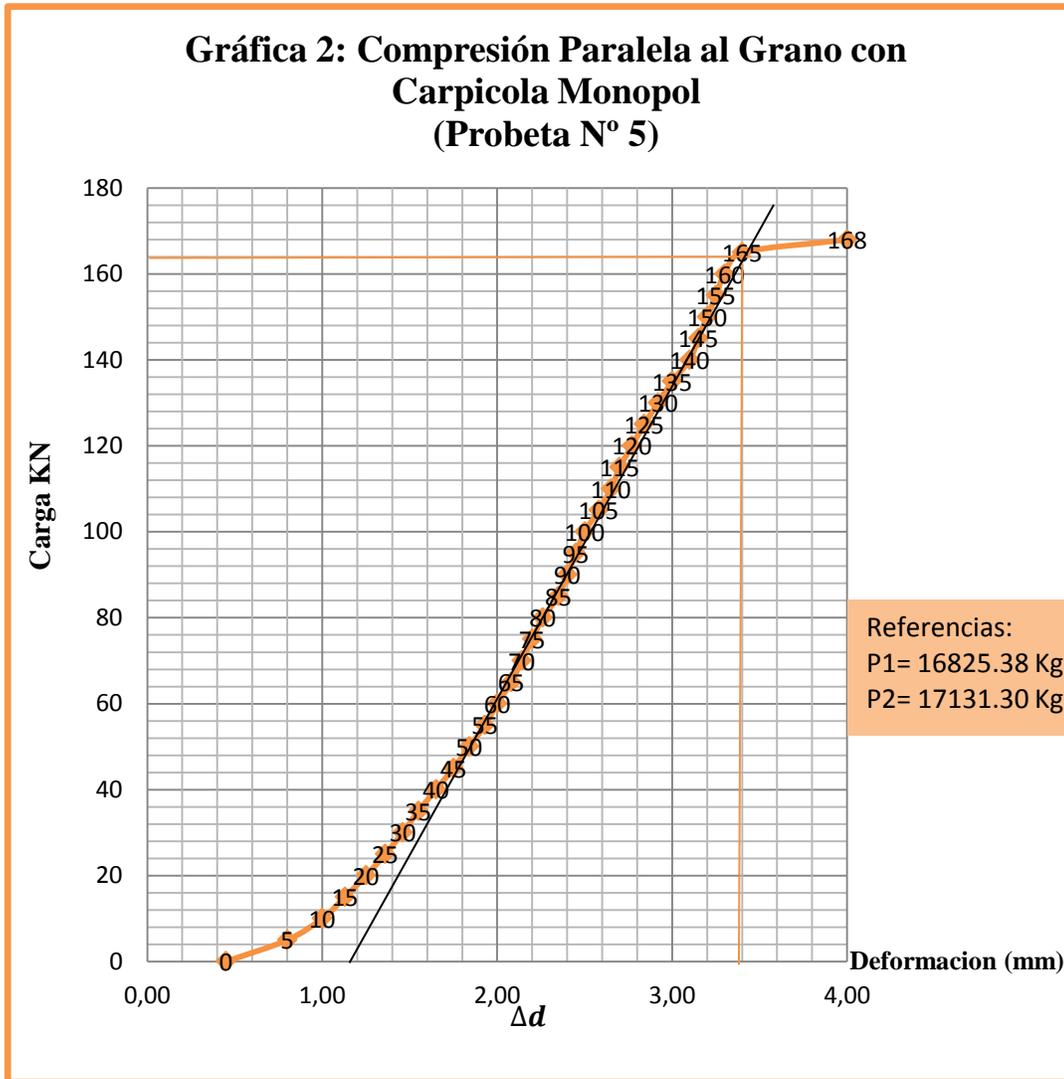
Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Flexión Estática			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	61,55	55,03	11,85
2	62,26	55,46	12,26
3	56,57	50,39	12,26
4	58,40	52,21	11,86
5	55,78	49,77	12,08
6	61,61	55,03	11,96
7	67,41	60,25	11,88
8	52,56	47,06	11,69
9	53,86	48,31	11,49
10	51,16	45,64	12,09
11	56,25	50,02	12,46
12	58,54	52,32	11,89
Media	58,00	51,79	11,98

Fuente: (Elaboración propia. 2018)

4.7.3. Compresión Paralela al Grano

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 464:



ESTADO	CH %	ELP kg/cm ²	MOR kg/cm ²	MOE kg/cm ²
Seco Al Aire	11,92	749,15	797,76	61987,48
Clasificación según su resistencia (MOR):			Muy Alta	

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS		
Tipo de Falla	Cant. Probetas	Observaciones
Aplastamiento	8	El plano de ruptura es aproximadamente horizontal. Las fallas fueron mínimas y no se presentó el desprendimiento del pegamento.
Cuña y Ajustamiento con Rajadura	4	Se puede observar la dirección de la fibra radial o tangencial. Las fallas fueron mínimas y no se presentó el desprendimiento del pegamento.

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de humedad

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Compresión Paralela			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	58,36	52,36	11,46
2	54,36	48,41	12,29
3	53,73	47,56	12,97
4	49,94	44,87	11,30
5	51,47	45,81	12,36
6	53,47	48,09	11,19
7	53,07	47,61	11,47
8	55,36	49,03	12,91
9	54,98	49,35	11,41
10	54,56	48,62	12,22
11	53,45	47,56	12,38
12	49,95	44,98	11,05
Media	53,56	47,85	11,92

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.7.4. Compresión Perpendicular al Grano

Se determinó los siguientes resultados de acuerdo a la norma COPANT 466:

ESTADO	CH %	ELP kg/cm ²
Seco al Aire	11,80	245,41
Clasificación según su resistencia (ELP):		Muy Alta

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de humedad

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Compresión Perpendicular			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	51,10	45,98	11,14
2	54,10	48,68	11,13
3	52,94	46,90	12,88
4	49,97	44,54	12,19
5	51,64	46,50	11,05
6	50,54	45,33	11,49
7	52,84	47,12	12,14
8	53,63	47,82	12,15
9	52,21	46,49	12,30
10	54,30	48,73	11,43
11	53,26	47,72	11,61
12	51,95	46,34	12,11
Media	52,37	46,85	11,80

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.7.5. Dureza

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 465:

ESTADO	CH %	RADIAL kg/cm ²	TANGENCIAL kg/cm ²	EXTREMOS kg/cm ²
Seco al Aire	11,95	1100,02	1734,68	993,89
Clasificación según su resistencia:		Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de humedad

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Dureza			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	53,41	47,87	11,57
2	53,54	48,01	11,52
3	54,34	48,25	12,62
4	54,28	48,37	12,22
5	53,68	47,80	12,30
6	54,18	48,65	11,37
7	52,61	46,98	11,98
8	48,83	43,54	12,15
9	55,55	49,47	12,29
10	53,53	47,63	12,39
11	53,16	47,77	11,28
12	52,95	47,42	11,66
Media	53,34	47,65	11,95

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.7.6. Cizallamiento

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 463.

ESTADO	RADIAL kg/cm ²	TANGENCIAL kg/cm ²
Seco al Aire	150,15	60,83
Clasificación según su resistencia:	Muy Alta	Mediana

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de Humedad:

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

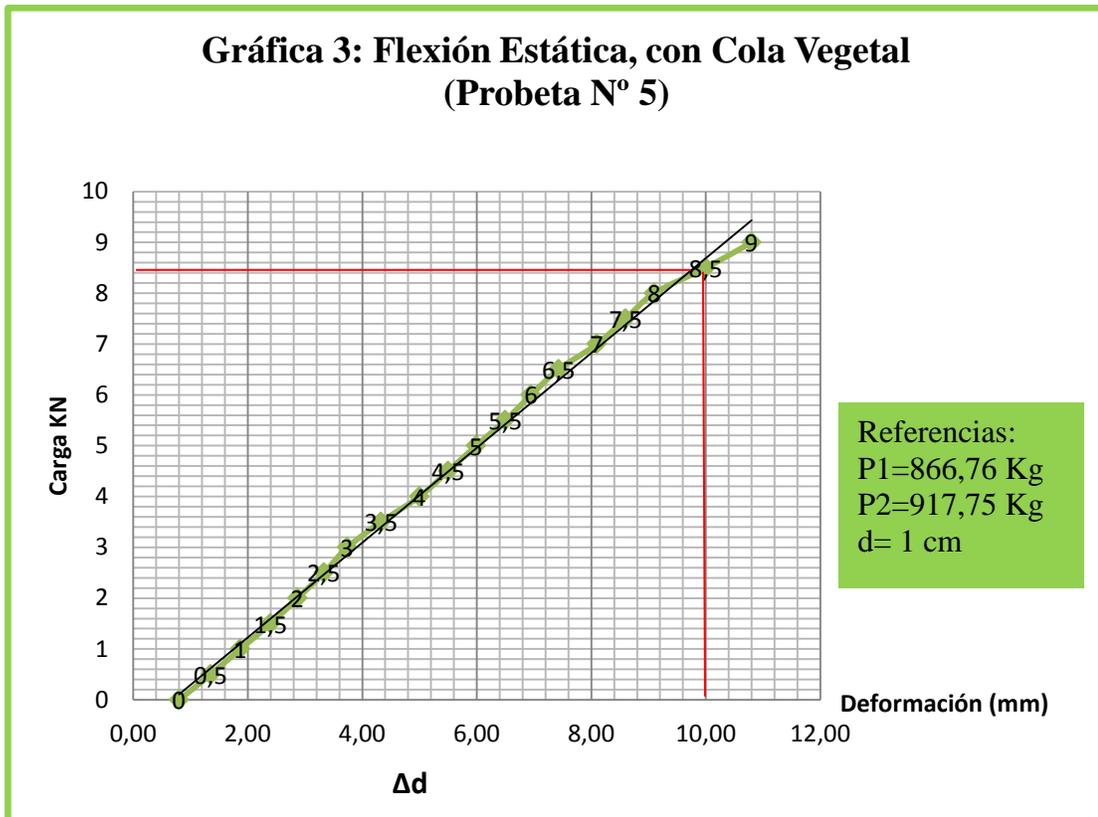
Cizallamiento			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	38,13	34,19	11,52
2	43,14	39,01	10,59
3	41,47	37,33	11,09
4	41,83	37,78	10,72
5	42,05	37,72	11,48
6	41,73	37,79	10,43
7	41,58	37,64	10,47
8	36,74	33,01	11,30
9	43,06	39,00	10,41
10	38,49	34,56	11,37
11	41,54	37,25	11,52
12	41,32	37,34	10,66
Media	40,92	36,89	10,96

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.8. Resultados de los Ensayos realizados con Cola Vegetal

4.8.1. Flexión Estática

Fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 455:



ESTADO	CH %	ELP kg/cm ²	MOR kg/cm ²	MOE kg/cm ²
Seco Al Aire	10,65	581,72	635,25	123177,52
Clasificación según su resistencia (MOR)			Mediana	

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS		
Tipo de Falla	Cant. Probetas	Observaciones
Tracción Simple	9	Las fallas se presentaron en la lámina "3" en 5 probetas no se presentó el desprendimiento del pegamento.
Tracción de Grano Entrecruzado	3	Las fallas se presentaron en las láminas "2 y 3", este tipo de falla causo el desprendimiento del pegamento en dos de las probetas.

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de Humedad:

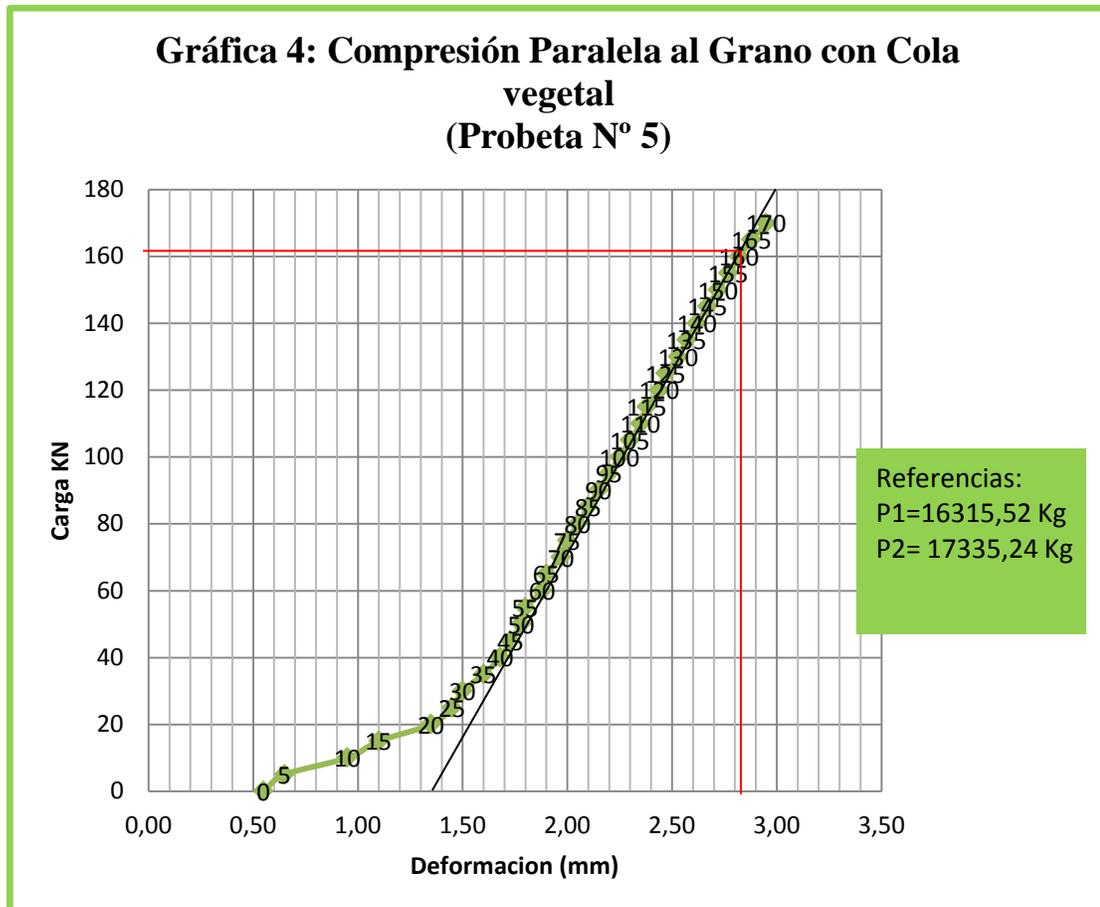
Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Flexión Estática			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	58,56	53,13	10,22
2	57,43	51,82	10,83
3	59,13	53,51	10,50
4	53,30	48,16	10,67
5	59,79	54,06	10,60
6	49,98	45,11	10,80
7	51,96	46,90	10,79
8	54,32	49,20	10,41
9	53,71	48,43	10,90
10	54,43	49,26	10,50
11	59,79	54,04	10,64
12	53,71	48,43	10,90
Media	55,51	50,17	10,65

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.8.2. Compresión Paralela al Grano

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 464.



ESTADO	CH %	ELP kg/cm ²	MOR kg/cm ²	MOE kg/cm ²
Seco Al Aire	11,13	589,40	698,17	46954,67
Clasificación según su resistencia (MOR)			Muy Alta	

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS		
Tipo de Falla	Cant. Probetas	Observaciones
Aplastamiento	7	El plano de ruptura es aproximadamente horizontal. Las fallas fueron mínimas y no se presentó el desprendimiento del pegamento.
Cuña y Ajustamiento con Rajadura	5	Se puede observar la dirección de la fibra radial o tangencial. Las fallas fueron mínimas y no se presentó el desprendimiento del pegamento.

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de Humedad:

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Compresión Paralela			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	42,13	37,80	11,46
2	50,08	45,22	10,75
3	48,06	43,24	11,15
4	55,98	50,62	10,59
5	47,19	42,63	10,70
6	50,37	45,39	10,97
7	46,05	41,19	11,80
8	44,75	39,96	11,99
9	48,13	42,98	11,98
10	46,89	42,09	11,40
11	55,63	50,32	10,55
12	48,10	43,63	10,25
Media	48,61	43,76	11,13

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.8.3. Compresión Perpendicular al Grano

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 466:

ESTADO	CH %	ELP kg/cm ²
Seco al Aire	11,80	199,19
Clasificación según su resistencia (ELP):		Muy Alta

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de Humedad:

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Compresión Perpendicular			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	53,09	47,72	11,25
2	49,02	44,16	11,01
3	48,20	43,02	12,04
4	48,56	43,26	12,25
5	53,09	47,42	11,96
6	48,36	43,46	11,27
7	44,76	39,82	12,41
8	46,56	41,46	12,30
9	45,64	41,02	11,26
10	45,78	41,08	11,44
11	53,25	47,42	12,29
12	46,25	41,25	12,12
Media	48,55	43,42	11,80

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.8.4. Dureza

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 465:

ESTADO	CH %	RADIAL kg/cm ²	TANGENCIAL kg/cm ²	EXTREMOS kg/cm ²
Seco al Aire	12,50	701,91	1618,38	650,24
Clasificación según su resistencia:		Alta	Muy Alta	Alta

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de Humedad:

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Dureza			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	53,30	47,24	12,83
2	53,74	47,89	12,22
3	47,66	42,26	12,78
4	55,58	49,49	12,31
5	56,30	50,11	12,35
6	54,56	48,52	12,45
7	52,58	46,74	12,49
8	53,78	47,85	12,39
9	55,55	49,47	12,29
10	53,53	47,63	12,39
11	53,16	47,23	12,56
12	52,95	46,87	12,97
Media	53,56	47,61	12,50

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.8.5. Cizallamiento

Se encontró los siguientes resultados utilizando la norma COPANT 463.

ESTADO	RADIAL kg/cm ²	TANGENCIAL kg/cm ²
Seco al Aire	128,73	24,83
Clasificación según su resistencia:	Muy Alta	Muy Baja

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Contenido de Humedad:

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460:

Cizallamiento			
Nº	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	CH%
1	32,82	29,72	10,43
2	43,82	39,74	10,27
3	36,14	32,78	10,25
4	38,19	34,65	10,22
5	39,97	36,27	10,20
6	41,26	37,35	10,47
7	42,42	38,34	10,64
8	38,90	35,18	10,57
9	40,94	37,02	10,59
10	40,10	36,18	10,83
11	39,97	36,27	10,20
12	41,26	37,43	10,23
Media	39,65	35,91	10,41

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

En las siguientes tablas, se presentan los resultados de las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada de la especie lapacho rosado (*Tabebuia avellaneda* L.), con sus respectivos análisis estadístico de cada ensayo realizado en el presente estudio. Dicho análisis contiene los siguientes valores:

- \bar{X} = valor promedio
- CV_1 = coeficiente de variación entre árboles
- CV_2 = coeficiente de variación dentro de los árboles
- CV_T = coeficiente de variación total
- S_1 = desviación típica entre árboles
- S_2 = desviación típica dentro de los árboles
- S_T = desviación típica total
- S_1^2 = varianza entre árboles
- S_2^2 = varianza dentro de los árboles
- S_T^2 = varianza total
- $\pm q$ = intervalo de confianza
- $\pm p\%$ = porcentual

Cuadro 10: Resumen de los Resultados de las Propiedades Mecánicas con Carpicola Monopol

ENSAYOS	SECO AL AIRE			
	Media	P %	CV ₁	CV _T
FLEXIÓN ESTÁTICA				
Contenido de Humedad (%)	11,98	1,62	1,31	2,23
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm ²)	1017,17	4,53	3,65	6,25
Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	1139,94	6,44	5,18	8,81
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	120498,15	13,28	10,69	13,82
COMPRESIÓN PARALELA				
Contenido de Humedad (%)	11,92	2,72	2,22	5,70
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm ²)	749,15	6,81	5,48	5,97
Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	797,76	11,95	9,62	4,88
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	61987,48	18,73	15,09	11,29
COMPRESIÓN PERPENDICULAR				
Contenido de Humedad (%)	11,80	1,72	1,39	4,85
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm ²)	245,41	3,91	3,15	3,60
DUREZA				
Contenido de Humedad (%)	11,95	0,81	0,65	3,74
Radial (kg/cm ²)	1100,02	4,14	3,33	5,13
Tangencial (kg/cm ²)	1734,68	1,39	1,12	2,61
Extremos (kg/cm ²)	993,89	2,02	1,62	4,18
CIZALLAMIENTO				
Contenido de Humedad Radial (%)	10,95	2,62	1,50	4,53
Esf. Unit. Max. Radial (EUM) (kg/cm ²)	150,15	5,63	3,21	7,97
Contenido de Humedad Tangencial (%)	10,97	1,74	0,01	4,25
Esf. Unit. Max. Tangencial (EUM) (kg/cm ²)	60,83	4,01	2,29	2,36

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 11: Resumen de los Resultados de las Propiedades Mecánicas con Cola Vegetal

ENSAYOS	SECO AL AIRE		
	Media	P %	CV ₁
FLEXIÓN ESTÁTICA			
Contenido de Humedad (%)	10,65	2,10	1,69
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm ²)	581,72	6,99	5,63
Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	635,25	6,42	5,16
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	123177,52	16,96	13,64
COMPRESIÓN PARALELA			
Contenido de Humedad (%)	11,13	4,54	3,65
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm ²)	589,40	5,23	4,21
Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	698,17	3,04	2,45
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	46954,67	16,96	13,65
COMPRESIÓN PERPENDICULAR			
Contenido de Humedad (%)	11,80	3,67	2,96
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm ²)	199,19	3,89	3,13
DUREZA			
Contenido de Humedad (%)	12,50	1,38	1,11
Radial (kg/cm ²)	701,91	5,42	4,36
Tangencial (kg/cm ²)	1618,38	1,26	1,01
Extremos (kg/cm ²)	650,24	2,54	2,05
CIZALLAMIENTO			
Contenido de Humedad Radial (%)	10,51	6,16	3,51
Esf. Unit. Max. Radial (EUM) (kg/cm ²)	128,73	2,97	1,69
Contenido de Humedad Tangencial (%)	10,31	1,52	0,86
Esf. Unit. Max. Tangencial (EUM) (kg/cm ²)	24,83	3,34	1,90

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

**Datos totales de las propiedades mecánicas madera laminada encolada del Lapacho
Rosado**

Cuadro 12: Flexión Estática con Carpicola Monopol

FLEXIÓN ESTÁTICA CARPICOLA MONOPOL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		C.H. %	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE Kg/cm²
1	1	11,85	1027,88	1199,19	111924,47
	2	12,26	985,05	1036,44	123762,63
	3	12,26	1070,71	1250,58	124915,70
	4	11,86	942,22	1027,88	118381,65
2	1	12,08	1113,53	1242,02	113673,29
	2	11,96	985,05	1156,36	123762,63
	3	11,88	1113,53	1267,72	129912,33
	4	11,69	942,22	1027,88	90527,14
3	1	11,49	985,05	1053,57	160891,42
	2	12,09	1027,88	1139,23	104929,19
	3	12,46	1070,71	1250,58	124915,70
	4	11,89	942,22	1027,88	118381,65
X		11,98	1017,17	1139,94	120498,15
S₁		0,16	37,09	59,09	12876,69
S₂		0,29	68,09	107,43	17380,28
S_T		0,27	63,59	100,39	16652,29
CV₁ %		1,31	3,65	5,18	10,69
CV₂ %		2,39	6,69	9,42	14,42
CV_T %		2,23	6,25	8,81	13,82
Q		0,19	46,04	73,43	16002,83
P %		1,62	4,53	6,44	13,28

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 13: Compresión Paralela al Grano con Carpícola Monopol

COMPRESIÓN PARALELA CARPICOLA MONOPOL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		C.H. %	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE Kg/cm²
1	1	11,46	673,02	807,62	79178,26
	2	12,29	803,54	844,33	61810,72
	3	12,97	709,73	807,62	64520,47
	4	11,30	799,46	807,62	63956,84
2	1	12,36	713,80	717,88	57104,32
	2	11,19	746,44	774,99	64907,39
	3	11,47	734,20	774,99	58735,87
	4	12,91	726,04	746,44	58083,25
3	1	11,41	779,07	856,56	50262,33
	2	12,22	795,38	819,85	56812,97
	3	12,38	709,73	807,62	64520,47
	4	11,05	799,46	807,62	63956,84
X		11,92	749,15	797,76	61987,48
S₁		0,26	41,06	76,78	9352,84
S₂		0,74	45,46	23,24	6356,39
S_T		0,68	44,69	38,91	6997,30
CV₁ %		2,22	5,48	9,62	15,09
CV₂ %		6,22	6,07	2,91	10,25
CV_T %		5,70	5,97	4,88	11,29
Q		0,33	51,03	95,31	11609,71
P %		2,76	6,81	11,95	18,73

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 14: Compresión Perpendicular al Grano con Carpícola Monopol

COMPRESIÓN PERPENDICULAR CARPICOLA MONOPOL			
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE	
		C.H. %	ELP Kg/cm²
1	1	11,14	236,58
	2	11,13	244,73
	3	12,88	240,65
	4	12,19	248,81
2	1	11,05	256,97
	2	11,49	261,05
	3	12,14	240,65
	4	12,15	240,65
3	1	12,30	232,50
	2	11,43	256,97
	3	11,61	244,73
	4	12,11	240,65
X		11,80	245,41
S₁		0,16	7,72
S₂		0,63	9,07
S_T		0,57	8,84
CV₁ %		1,39	3,15
CV₂ %		5,33	3,70
CV_T %		4,85	3,60
Q		0,20	9,60
P %		1,72	3,91

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro15: Dureza con Carpicola Monopol

DUREZA CARPICOLA MONOPOL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		C.H. %	Radial Kg/cm²	Tangencial Kg/cm²	Extremos Kg/cm²
1	1	11,57	1022,78	1687,80	953,97
	2	11,52	1185,93	1798,89	974,36
	3	12,62	1177,78	1681,68	1059,97
	4	12,22	1091,10	1814,18	1023,28
2	1	12,30	1121,69	1696,97	952,95
	2	11,37	1040,11	1768,31	1033,47
	3	11,98	1045,21	1758,12	974,36
	4	12,15	1124,75	1685,76	1004,93
3	1	12,29	1076,82	1756,08	1014,10
	2	12,39	1136,99	1702,06	958,05
	3	11,28	1142,09	1730,60	1044,68
	4	11,66	1035,02	1735,70	932,57
X		11,95	1100,02	1734,68	993,89
S₁		0,08	36,67	19,36	16,12
S₂		0,49	59,96	49,14	45,29
S_T		0,45	56,45	45,21	41,54
CV₁ %		0,65	3,33	1,12	1,62
CV₂ %		4,12	5,45	2,83	4,56
CV_T %		3,74	5,13	2,61	4,18
Q		0,10	45,57	24,06	20,03
P %		0,81	4,14	1,39	2,02

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro16: Cizallamiento con Carpicola Monopol

CIZALLAMIENTO CARPICOLA MONOPOL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		Radial		Tangencial	
		C.H. %	EUM Kg/cm ²	C.H. %	EUM Kg/cm ²
1	1	10,47	139,52	11,52	59,96
	2	11,30	161,21	10,59	60,54
2	1	10,41	141,79	11,09	60,35
	2	11,37	151,50	10,72	63,58
3	1	11,52	167,36	11,48	61,01
	2	10,66	139,52	10,43	59,54
X		10,95	150,15	10,97	60,83
S₁		0,16	4,81	0,11	1,39
S₂		0,63	14,94	0,60	1,47
S_T		0,50	11,97	0,47	1,44
CV₁ %		1,50	3,21	0,01	2,29
CV₂ %		5,72	9,95	5,42	2,41
CV_T %		4,53	7,97	4,25	2,36
Q		0,29	8,45	0,19	2,44
P %		2,62	5,63	1,74	4,01

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 17: Flexión Estática con Cola Vegetal

FLEXIÓN ESTÁTICA COLA VEGETAL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		C.H. %	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE Kg/cm²
1	1	10,22	513,94	556,77	209858,38
	2	10,83	685,25	728,08	44769,79
	3	10,50	513,94	556,77	83943,35
	4	10,67	685,25	770,91	122993,92
2	1	10,60	727,71	770,52	132065,67
	2	10,80	513,94	556,77	139905,58
	3	10,79	513,94	556,77	239838,14
	4	10,41	556,77	599,60	16534,30
3	1	10,90	556,77	599,60	239312,18
	2	10,50	513,94	599,60	41971,68
	3	10,64	513,94	556,77	83943,35
	4	10,90	685,25	770,91	122993,92
X		10,65	581,72	635,25	123177,52
S₁		0,18	32,73	32,80	16807,34
S₂		0,22	94,36	103,38	82729,84
S_T		0,21	86,49	94,55	75174,35
CV₁ %		1,69	5,63	5,16	13,64
CV₂ %		2,05	16,22	16,27	67,16
CV_T %		1,99	14,87	14,88	61,03
Q		0,22	40,68	40,76	20887,74
P %		2,10	6,99	6,42	16,96

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 18: Compresión Paralela al Grano con Cola Vegetal

COMPRESIÓN PARALELA COLA VEGETAL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		C.H. %	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE Kg/cm²
1	1	11,46	530,25	603,67	42420,35
	2	10,75	571,04	762,75	49655,93
	3	11,15	652,62	681,17	45008,33
	4	10,59	628,15	766,83	46529,45
2	1	10,70	554,73	603,67	34670,48
	2	10,97	673,02	754,59	46414,84
	3	11,80	652,62	693,41	52209,66
	4	11,99	509,86	701,57	44335,65
3	1	11,98	513,94	701,57	68525,18
	2	11,40	505,78	660,78	42148,43
	3	10,55	652,62	681,17	45008,33
	4	10,25	628,15	766,83	46529,45
X		11,13	589,40	698,17	46954,67
S₁		0,41	24,81	17,10	6409,22
S₂		0,63	70,56	63,31	8351,27
S_T		0,59	64,69	57,73	8033,16
CV₁ %		3,65	4,21	2,45	13,65
CV₂ %		5,62	11,97	9,07	17,79
CV_T %		5,32	10,98	8,27	17,11
Q		0,51	30,83	21,26	7965,22
P %		4,54	5,23	3,04	16,96

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 19: Compresión Perpendicular al Grano con Cola Vegetal

COMPRESIÓN PERPENDICULAR COLA VEGETAL			
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE	
		C.H. %	ELP Kg/cm²
1	1	11,25	171,31
	2	11,01	183,55
	3	12,04	232,50
	4	12,25	220,26
2	1	11,96	163,16
	2	11,27	216,18
	3	12,41	183,55
	4	12,30	236,58
3	1	11,26	187,63
	2	11,44	212,10
	3	12,29	208,02
	4	12,12	175,39
X		11,80	199,19
S₁		0,35	6,23
S₂		0,54	27,23
S_T		0,51	24,77
CV₁ %		2,96	3,13
CV₂ %		4,58	13,67
CV_T %		4,33	12,44
Q		0,43	7,74
P %		3,67	3,89

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 20: Dureza con Cola Vegetal

DUREZA COLA VEGETAL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		C.H. %	Radial Kg/cm ²	Tangencial Kg/cm ²	Extremos Kg/cm ²
1	1	12,83	774,99	1646,85	769,89
	2	12,22	754,59	1677,44	565,94
	3	12,78	616,93	1585,66	729,10
	4	12,31	657,72	1549,97	565,94
2	1	12,35	627,13	1544,88	581,24
	2	12,45	718,90	1662,14	724,00
	3	12,49	729,10	1651,95	550,65
	4	12,39	673,02	1590,76	724,00
3	1	12,29	632,23	1641,75	520,06
	2	12,39	810,68	1697,83	774,99
	3	12,56	780,09	1575,47	754,59
	4	12,97	647,52	1595,86	542,49
X		12,50	701,91	1618,38	650,24
S₁		0,14	30,63	16,39	13,31
S₂		0,25	73,50	55,70	113,02
S_T		0,24	67,76	50,87	102,39
CV₁ %		1,11	4,36	1,01	2,05
CV₂ %		2,04	10,47	3,44	17,38
CV_T %		1,90	9,65	3,14	15,75
Q		0,17	38,06	20,37	16,54
P %		1,38	5,42	1,26	2,54

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 21: Cizallamiento con Cola Vegetal

CIZALLAMIENTO COLA VEGETAL					
Árbol N°	Prob.	ESTADO SECO AL AIRE			
		Radial		Tangencial	
		C.H. %	EUM Kg/cm²	C.H. %	EUM Kg/cm²
1	1	10,64	129,16	10,43	22,34
	2	10,57	131,43	10,27	26,58
2	1	10,59	130,79	10,25	22,98
	2	10,83	126,54	10,22	27,23
3	1	10,20	125,28	10,20	27,52
	2	10,23	129,16	10,47	22,34
X		10,51	128,73	10,31	24,83
S₁		0,37	2,18	0,09	0,47
S₂		0,10	2,53	0,13	3,24
S_T		0,25	2,39	0,11	2,52
CV₁ %		3,51	1,69	0,86	1,90
CV₂ %		1,00	1,96	1,25	13,03
CV_T %		2,35	1,86	1,11	10,17
Q		0,65	3,82	0,16	0,83
P %		6,16	2,97	1,52	3,34

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4.8.6. DISCUSIÓN

Análisis comparativo de la madera laminada encolada con madera maciza

Los datos de la madera maciza, presentados en la “Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia”, corresponde a valores promedios, por lo tanto la comparación se realiza con los valores medios determinados mediante los ensayos del presente estudio:

Cuadro 22: Análisis comparativo de la madera laminada encolada con madera maciza

ENSAYO	MADERA LAMINADA ENCOLADA		MADERA MACIZA	DESCRIPCIÓN
	CARPICOLA MONOPOL	COLA VEGETAL		
FLEXIÓN ESTÁTICA				
MOR (kg/cm ²)	1139,94	635,25	1371 (kg/cm ²)	La resistencia a la flexión de la madera laminada encolada del Lapacho rosado prácticamente mantiene la capacidad de la madera maciza presentando una mínima diferencia en los valores promedios, con respecto al uso del pegamento Carpícola Monopol. Los valores obtenidos con el uso del pegamento Cola Vegetal presentan una gran diferencia.
COMPRESION PARALELA				
MOR (kg/cm ²)	797,76	698,17	719 (kg/cm ²)	La resistencia al módulo de ruptura para la compresión paralela incrementa con el uso del pegamento Carpícola Monopol, mientras que con pegamento cola vegetal la resistencia disminuye ya que el mismo no es recomendable para este tipo de uniones encoladas.

COMPRESION PERPENDICULAR			
ELP (kg/cm ²)	245,41	199,19	-
DUREZA			
LADOS (kg/cm ²)	993,89	650,24	1428 (kg)
La resistencia de la madera a la penetración de herramientas en madera laminada encolada disminuye en el uso de ambos pegamentos, siendo más resistente en la madera maciza.			

Fuente: (Elaboración propia, 2018)

De acuerdo con los datos obtenidos, como se puede observar en los cuadros N° 10 y 11 las mayores resistencias en los ensayos realizados en la madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado corresponden al pegamento Carpícola Monopol.

Por otra parte, los valores de resistencia bajos se deben a la estructura anatómica de la especie en estudio ya que por ser una madera dura presenta poros más compactados lo que dificulta a la absorción del pegamento para una buena adherencia.

En este sentido, vale la pena mencionar que en la comparación de los valores promedios puede representar una baja diferencia entre los resultados de las propiedades mecánicas de la madera maciza y laminada en la especie Lapacho rosado.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.9. Conclusiones

Realizados los ensayos de propiedades mecánicas en madera laminada encolada se observó que existe una relación entre el contenido de humedad y la resistencia de la madera, lo cual permite afirmar que a menor contenido de humedad mayor es la resistencia de la madera,

Cumpliendo los objetivos trazados del presente estudio y obtenidos los resultados en estado seco al aire, de la especie Lapacho rosado (*Tabebuia avellanedae* L.), se establece las siguientes conclusiones según la utilización de la “Clave para la Clasificación de Maderas” y “Requisitos que deben Reunir las Maderas según sus Usos”. (Fromet, 1954).

a) Flexión Estática con Carpicola Monopol

De acuerdo al Módulo de Ruptura obteniendo un valor de $1139,94 \text{ kg/cm}^2$ se clasifica como madera de **muy alta resistencia** a la flexión estática, las fallas que se observaron fueron un 50% tracción simple y 50% de tracción de grano entrecruzado y con un contenido de humedad de 11,98%.

b) Compresión Paralela al Grano con Carpicola Monopol

Se clasifica como madera de **muy alta resistencia** a la compresión paralela al grano, de acuerdo al Módulo de Ruptura con un valor de $797,76 \text{ kg/cm}^2$, las fallas que se observaron fueron de aplastamiento en un 66%, cuña y ajustamiento con rajadura un 34% y con un contenido de humedad de 11,92%.

c) Compresión Perpendicular al Grano con Carpicola Monopol

Presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras, teniendo un Esfuerzo al Límite Proporcional de $245,41 \text{ kg/cm}^2$ indicando que es una madera de **muy alta resistencia** a la penetración de la placa metálica, según el rango de clasificación, con un contenido de humedad de 11,80%.

d) Dureza con Carpicola Monopol

Este ensayo mide la resistencia de la madera a la penetración de herramientas, como también el desgaste que tiene esta, se determina que los valores son más altos en estado seco al aire en todas sus caras, que son: radial $1100,02 \text{ kg/cm}^2$, tangencial $1734,68 \text{ kg/cm}^2$, extremos $993,89 \text{ kg/cm}^2$, clasificándose según sus lados como una madera **muy alta resistencia** a la penetración, con un contenido de humedad de 11,95%.

e) Cizallamiento con Carpicola Monopol

Indica la acción de dos fuerzas paralelas, en dirección opuesta por ejemplo en la unión de varias piezas, los resultados obtenidos del Esfuerzo de Ruptura son: $150,15 \text{ kg/cm}^2$ en la cara radial la misma que se clasifica como madera de **muy alta** resistencia al corte y con $60,83 \text{ kg/cm}^2$ en su cara tangencial, clasificándola como una madera de **mediana** resistencia al corte.

Conclusiones de las propiedades mecánicas con cola vegetal

a) Flexión Estática con Cola Vegetal

De acuerdo al Módulo de Ruptura obteniendo un valor de $635,25 \text{ kg/cm}^2$ se clasifica como madera de **mediana resistencia** a la flexión estática, las fallas que se observaron fueron un 75% tracción simple y 25% de tracción de grano entrecruzado y con un contenido de humedad de 10,65%.

b) Compresión Paralela al Grano con Cola Vegetal

Se clasifica como madera de **muy alta resistencia** a la compresión paralela al grano, de acuerdo al Módulo de Ruptura con un valor de $698,17 \text{ kg/cm}^2$, las fallas que se observaron fueron de aplastamiento en un 58%, cuña y ajustamiento con rajadura un 42% y con un contenido de humedad de 11,13%.

c) **Compresión Perpendicular al Grano con Cola Vegetal**

Presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras, teniendo un Esfuerzo al Límite Proporcional de $199,19 \text{ kg/cm}^2$ indicando que es una madera de **muy alta resistencia** a la penetración de la placa metálica, según el rango de clasificación, con un contenido de humedad de 11,80%.

d) **Dureza con Cola Vegetal**

Este ensayo mide la resistencia de la madera a la penetración de herramientas, como también el desgaste que tiene ésta, se determina que los valores son más altos en estado seco al aire en todas sus caras, que son: radial $701,91 \text{ kg/cm}^2$, tangencial $1618,38 \text{ kg/cm}^2$, extremos $650,24 \text{ kg/cm}^2$, clasificándose según sus lados como una madera de **alta - muy alta resistencia** a la penetración, con un contenido de humedad de 12,50%.

e) **Cizallamiento con Cola Vegetal**

Indica la acción de dos fuerzas paralelas, en dirección opuesta por ejemplo en la unión de varias piezas, los resultados obtenidos del Esfuerzo de Ruptura son: $128,73 \text{ kg/cm}^2$ en la cara radial la misma que se clasifica como madera de **muy alta** resistencia al corte y con $24,83 \text{ kg/cm}^2$ en su cara tangencial, clasificándola como una madera de **muy baja** resistencia al corte.

Se concluye que existe la posibilidad técnica de elaborar elementos laminados con diferentes especies y adhesivos de uso estructural empleados. Los valores de resistencia mecánica en los distintos ensayos en laboratorio no presentaron mucha variación, los ensayos con el pegamento Carpicola Monopol fueron más satisfactorios y existe una mínima diferencia en los resultados con los ensayos con cola vegetal, las mismas que están reflejados en el uso del adhesivo debido a su composición y el prensado de las láminas.

f) Usos

Se determinó de acuerdo a los valores obtenidos en los diferentes ensayos de las propiedades mecánicas y a la clasificación de “requisitos que deben reunir las maderas según sus usos”, se sugiere que la madera laminada encolada puede ser usada en diferentes rubros, tomando en cuenta la resistencia mecánica:

- Durmientes
- Maderas de Construcción – Estructuras.
- Carrocerías
- Construcciones pesadas en general

La madera laminada encolada de la especie lapacho rosado tiene una altísima resistencia mecánica, por ende es apta para ser utilizada en el rubro de la construcción como materia prima de elementos estructurales.

La madera laminada encolada presenta varias ventajas frente a otros materiales los mismos que pueden ser reemplazados a la hora de ejecutar diversos tipos de construcción. Éstas son algunas de las ventajas:

- Ligereza y estabilidad. El menor peso que otros materiales como el hormigón y el acero la hace especialmente interesante para su empleo en cubiertas.
- Rapidez de instalación y obra en seco. Se trata de un producto prefabricado, por lo que llega a obra acabado y listo para ser colocado.

Conclusiones sobre el tipo de pegamento más resistente

- Luego del estudio de selección de colas y la obtención de los resultados se concluye que la Carpicola Monopol tiene una alta resistencia mecánica, una alta capacidad de adherir piezas de madera, tiempo mínimo de secado, resistente a altas temperaturas y sobre todo es accesible en todos los mercados de nuestro país y a un precio económico.
- Después de los resultados que se obtuvieron se concluye que la cola vegetal es un pegamento antiguo que tiene buena resistencia mecánica, tiene capacidad de adherir piezas de madera, pero no es resistente a altas temperaturas, es económico y de fácil adquisición.

Basándose en el proceso de fabricación y en las observaciones del comportamiento de las probetas de tres láminas, se concluye que es conveniente, desde el punto de vista constructivo y económico, usar la menor cantidad de láminas posibles para la conformación de una escuadría pero sin descuidar las recomendaciones de espesores. A mayor cantidad de láminas, mayor línea de encolados lo que significa incremento directo en costo y tiempo.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de la madera laminada encolada de la especie Lapacho rosado son las siguientes:

- Para la construcción de elementos de madera laminada se recomienda respetar los espesores de las láminas que no deben ser mayores a 45 mm.
- Para el encolado de las láminas se recomienda que la madera esté con un contenido de humedad menor al 15 % ya permitirán mejor adherencia consiguiendo piezas altamente resistentes.
- Durante el prensado se debe evitar lagrimeo en exceso del adhesivo, además se debe poner apoyos en ambos lados al momento del prensado.
- En la preparación de la cola vegetal se recomienda tener mucho cuidado, la cola no debe entrar en proceso de ebullición ya que puede perder su poder adhesivo.
- Es muy importante el uso de la vestimenta apropiada como ser: cascos, guantes y otros, ya que al momento de realizar los ensayos las piezas de madera se desprenden y saltan en distintos lugares, lo que puede ocasionar algún accidente.

En el desarrollo de la investigación se presentaron dificultades, la principal fue al momento de adquirir la madera que cumpla con las exigentes normativas, en especial con la frecuencia de nudos no es tarea simple. Otra que fue una dificultad fue la fabricación de las probetas de cizalle, ya que los cortes tienen que ser muy exactos y un leve error puede alterar los resultados.

Uno de los parámetros que no se pudo controlar fue la presión ejercida durante el prensado, ya que no se disponía en el laboratorio de ningún instrumento para medir la fuerza necesaria, para una fuerza determinada de modo que ejerza la presión exigida en la bibliografía revisada.

La madera es un material que a lo largo del tiempo se ha ido introduciendo en la construcción por su menor costo y disponibilidad; por tanto, es un material que al ser mejorado con tecnologías como la madera laminada encolada aumentará la factibilidad de fabricar nuevos productos para diversas aplicaciones, lo cual mejorará los usos de las especies ya conocidas y la probable incursión de aquéllas aún no usadas.

- **Líneas de investigación**

Como futuras líneas de investigación sería interesante seguir con esta metodología, pero ahora incorporando uniones dentadas en las láminas, para ver la resistencia de la madera. Otra línea de investigación sería usar un adhesivo para exteriores y ver alguna alternativa de preservación innovadora, ya que los adhesivos no permiten impregnación. Además se podría investigar como respondería un elemento fabricado con las características descritas ya anteriormente, como pilares o columnas.

En resumen las líneas de investigación que quedan abiertas para estudios posteriores son muchas, y son desafíos que son muy viables de seguir por estudiantes que se interesen en este tema.