

1 INTRODUCCIÓN

El empleo de elementos encolados de madera tiene una larga tradición. Las primeras referencias históricas existentes, aunque no sean aplicadas al uso estructural, provienen de las antiguas civilizaciones china y egipcia, que ya elaboraban tableros alistonados para mecanizar cajas y espigas empleando adhesivos de origen animal. Del mismo modo Leonardo Da Vinci ya dibujo en algunos de sus esbozos de ingenios militares la utilización de láminas de madera unidas mediante cuerdas y herrajes metálicos. (Mikel Puy Galarza, 2015)

La madera es un material heterogéneo, con propiedades y características que dependen no solo de su composición, también de su constitución. Debemos recordar que la madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos, que permite formar la estructura resistente del árbol. Al hablar de las propiedades mecánicas de la madera, se debe hacer hincapié en su constitución anatómica. La estructura se determina a través de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como ser: Flexión Estática, Compresión Paralela a la Fibra, Compresión Perpendicular al Grano, etc. (Talavera, 2011).

La madera laminada se define como la unión de tablas o láminas a través de sus cantos, caras y extremos, con sus fibras en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largos, y que funciona como una sola unidad estructural. Los elementos de madera laminada están formados por un determinado número de láminas (tablas), ubicadas paralelamente al eje del elemento. Las láminas, que pueden estar constituidas por una o más tablas unidas de canto, presentan sus fibras paralelas al largo de la pieza. [3]

Los usuarios de la madera con frecuencia enfrentan la necesidad de comparar entre si las diferentes maderas existentes en el mercado, con el fin entre otros de determinar posibles usos (Dávalos R, Bárcenas G. 1999)

El presente estudio pretende conocer las características mecánicas mediante el método de madera laminada encolada de la especie Timboy (*Enterolobium Contortisiliquum Vell. morong*) y así conocer los usos apropiados de esta especie aplicando dicho método.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Es importante conocer valores mecánicos de la especie forestal Timboy (*Enterolobium contortisiliquum Vell. morong*) con la finalidad de poder establecer posibles usos estructurales.

Las vigas de madera se constituyen como un material noble desde un punto de vista estético y técnico teniendo conocimiento de edificaciones catedrales y óperas que en su diseño estructural prefieren utilizar materiales de madera la cual no afecta la transmisión del sonido.

Es difícil obtener vigas u otros materiales de gran dimensión debido a la longitud, crecimiento y bifurcaciones de los troncos por lo que resulta imprescindible utilizar encolados, uniones de madera que cumplen las funciones requeridas.

1.2 HIPÓTESIS

Las propiedades mecánicas de madera laminada encolada (MLE) del Timboy permitirá conocer sus capacidades de resistencia y determinar sus usos conservando y mejorando las características mecánicas de la madera.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas de madera laminada encolada de la especie Timboy (*Enterolobium contortisiliquum Vell. morong*) Proveniente de la comunidad de Zapatera Norte ubicada en la Segunda Sección de la Provincia Gran Chaco del

departamento de Tarija, mediante la aplicación y adoptando las normas COPANT MADERAS.

1.3.2 Objetivos Específicos

Determinar las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada (MLE) con 2 tipos de colas vinílicas adoptando las NORMAS COPANT madera a cada uno de los ensayos que se mencionan a continuación:

- Flexión Estática de acuerdo a la norma COPANT 455
- Compresión Paralela al Grano de acuerdo a la norma COPANT 464
- Compresión Perpendicular al Grano de acuerdo a la norma COPANT 466
- Dureza de acuerdo a la norma COPANT 465
- Cizallamiento de acuerdo a la norma COPANT 463
- Contenido de humedad de acuerdo a la norma COPANT 460

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 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, higroscópica y deformable, susceptible a cambios de humedad ambiental, sufre alteraciones químicas por efectos del sol, y es atacada por insectos y hongos. (Sosa, 2005).

2.1.1 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.

2.1.2 La Estructura de la Madera

Desde el exterior hacia el interior, las diferentes partes del tronco de un árbol son las siguientes:

- **Corteza exterior, súber o corteza propiamente dicha:** Protege al árbol contra los peligros del exterior. Se renueva constantemente, no permite que pase el

agua de lluvia y evita que, cuando incide el sol, se produzca una evaporación demasiado fuerte. Sirve además de protección contra el frío, el calor y la invasión de hongos e insectos. [1]

- **Corteza interna, floema o líber:** está formada por tejido vivo y transporta, en sentido descendente, hasta las raíces, los alimentos fabricados en la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. El floema puede tener fibras de líber, que son muy fuertes, y en algunas especies constituyen la materia prima de la que se obtienen fibras comerciales. Estas células viven un tiempo relativamente corta, después mueren y se convierten en suber para finalmente formar parte de la corteza externa protectora. [1]
- **Cambium:** Esta capa de células se encuentra siempre en período de división y produce alternativamente células de floema y xilema. Cuando una célula del cambium se divide para formar células de xilema, la que ocupa una posición más interna de las dos resultantes se transforma en xilema, mientras que la exterior sigue actuando como cambium en la división siguiente. Cuando ésta ocurre, la célula más externa se transforma en célula del floema, y la interna sigue actuando como cambium, y así sucesivamente, produciendo cada año corteza nueva y madera nueva. Las auxinas, hormonas que se generan en los brotes de las hojas y extremos de las ramas tan pronto como comienzan a brotar en primavera son las responsables que se produzcan los cambios químicos que originan este crecimiento. [1]
- **Xilema:** es el término botánico de la madera, y está formado por tejido leñoso. Dado que las células de la xilema producidas en primavera son grandes y las formadas más tarde pequeñas, y que durante el invierno el crecimiento se interrumpe, la madera que se forma cada año adopta la forma de anillo anual o de crecimiento. Se diferencian unos de otros por una diferencia de color que alterna el claro (madera primeriza correspondientes al crecimiento primaveral),

y el oscuro (madera tardía correspondiente al crecimiento otoñal más lento), de forma que cada alternancia de anillo claro a anillo oscuro indica un año en la vida del árbol. La anchura de cada anillo se ve afectada por el clima, el tipo de árbol y otras variables. [1]

- **Albura:** Los anillos más jóvenes, de tonalidad más clara, constituyen la albura. Están formados por tejidos que transportan agua y nutrientes minerales disueltos desde el suelo, y también los productos gaseosos de la respiración, que se forman en todas las células vivas de la planta, hacia las hojas, desde las que pasan a la atmósfera. A medida que el tronco crece, la parte interna de la albura se ve desplazada de la zona de crecimiento activo, el cambium, y sus células mueren, sufriendo transformaciones químicas por acumulación de resinas, taninos, aceites esenciales y otras sustancias, transformándose en duramen. [1]

- **Duramen o corazón:** Los anillos anuales más antiguos de la xilema, de color más oscuro, casi nunca son funcionales. Es la parte central y sustentadora del árbol. Aunque no está viva, no se descompone, sino que conserva su fuerza sustentadora en tanto viven las capas exteriores. Constituido por un sistema de células de celulosa huecas unidas o conectadas por un producto similar a una cola química, es decir la lignina, es en muchos aspectos tan fuerte como el acero. Un trozo de tan solo 30 centímetros de largo, con una sección de 2,5 x 5 centímetros, soporta un peso de hasta 5 toneladas. [1]

2.1.3 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, ellas son: [2]

- **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]

2.1.4 Clasificación de la Madera

Las maderas pueden clasificarse de diversas formas según el criterio que se emplee. Uno de los más importantes es el de sus propiedades, las cuales están en función de su estructura, es decir, de su textura. La textura dependerá a su vez del modo de crecimiento del árbol. [1]

- **Maderas blandas:** Las maderas provenientes de árboles de crecimiento rápido presentan anillos de crecimiento anchos y son blandas
- **Maderas duras.** Las maderas provenientes de árboles de crecimiento lento presentan anillos muy estrechos que proporcionan una especial dureza. [1]

2.2 LA MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE)

La madera laminada se define como la unión de tablas o láminas a través de sus cantos, caras y extremos, con sus fibras en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largos, y que funciona como una sola unidad estructural. Los elementos de madera laminada están formados por un determinado número de láminas (tablas), ubicadas paralelamente al eje del elemento. Las láminas, que pueden estar constituidas por una o más tablas unidas de canto, presentan sus fibras paralelas al largo de la pieza. La madera laminada encolada ha supuesto una evolución tecnológica en la construcción con madera al lograr piezas de madera más estables dimensionalmente con formas, longitudes, anchuras y cantos difíciles o imposibles de conseguir con una pieza madera maciza. [3]

La madera laminada encolada está formada por láminas de madera libres de defectos con espesores comprendidos entre 6 y 45 mm colocadas paralelamente a la dirección longitudinal de la fibra, unidas con adhesivo por la testa mediante un empalme finger-joint y por el ancho a tope, se fabrica a partir de piezas de madera aserradas de pequeña escuadría. El primer paso es secar la madera hasta que alcanza un contenido de humedad entre 8 y 12% de humedad para posteriormente sanearlas eliminando nudos, fendas y bolsas de resina. Una vez que la madera está libre de defectos y seca se unen piezas longitudinalmente del mismo espesor y ancho por la testa con un empalme finger-joint, el cual se encola y se prensa hasta conseguir la longitud deseada. Tras el tiempo de fraguado de la cola las láminas son perfiladas y se encolan por su ancho para pasar el armado en un bastidor metálico que aplicará presión sobre el ancho. El tiempo, la presión y la temperatura se encargan de terminar el fraguado y tener casi lista la pieza a falta de un acondicionado y cepillado que elimina los excesos de cola y sobreanchos y la aplicación de un protector que aporta un efecto fungicida e insecticida y proteja a la madera de los rayos Ultravioletas del sol. [3]

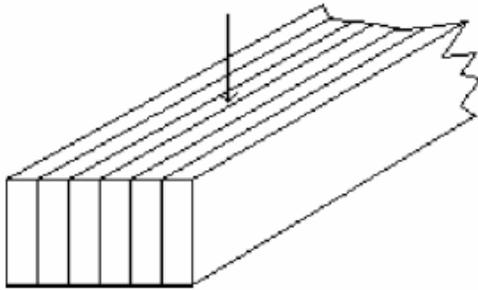


Figura 1: Laminado vertical

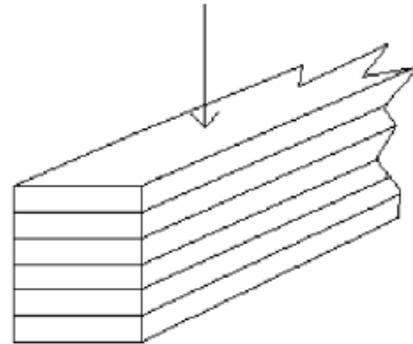


Figura 2: Laminado horizontal

2.2.1 Inicios de la Madera Laminada Encolada (MLE)

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 ensamblada para dar acabados curvos. Tres siglos después, también en Francia, el Coronel Emy imaginó el sistema que lleva su nombre, el cual consiste en vigas laminadas unidas con pernos y correas metálicas – en la actualidad se conservan algunas de ellas -. Sin embargo, no fue hasta principios del siglo XX cuando esta nueva tecnología se desarrolló completamente, gracias al espíritu emprendedor del suizo Karl Friedrich Otto Hetzer, el inventor oficial de la “madera laminada encolada para uso estructural”, algunas de sus patentes aún hoy conservan vigencia tecnológica. Posteriormente, durante la primera guerra mundial, se mejoró la tecnología de los adhesivos, entre ellos la caseína y se incrementó la fabricación de laminados de madera en la industria de la aviación y la madera estructural para la construcción. En el año de 1934, siguiendo principios de ingeniería se diseñaron vigas en forma de arco para construir un edificio del Laboratorio de Productos Forestales de Estados Unidos. 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 madera laminada comenzó así a utilizarse a principios del siglo pasado. Inicialmente se unieron piezas pequeñas de madera para fabricar laminados destinados a partes de muebles o artículos deportivos,

y con el paso del tiempo y el empleo de la tecnología, se ha utilizado para uso estructural, especialmente para grandes construcciones, como iglesias, gimnasios, hangares, fábricas, bodegas, coliseos cubiertos, puentes, etc. En la actualidad los métodos empleados para su fabricación y control de calidad, nos permiten afirmar que la madera laminada es un producto industrial normalizado y certificado en su diseño, producción y montaje lo cual garantiza su fiabilidad y durabilidad. Las estructuras de madera laminada están formadas fundamentalmente por láminas de madera de espesor constante, que son unidas longitudinalmente mediante entalladuras en sus testas y encoladas unas a otras hasta alcanzar las dimensiones deseadas. Esto permite realizar estructuras de grandes luces y proporciona una gran libertad de diseño pudiendo resolver geometrías complejas a un coste competitivo. [7]

2.2.2 Ventajas y Desventajas de la Madera Laminada Encolada

Si analizamos las ventajas y desventajas de la madera laminada podríamos destacar las siguientes:

Ventajas:

- Como se fabrica a partir de la unión de piezas de madera, con la madera laminada se pueden conseguir piezas estructurales de cualquier longitud, anchura o espesor.
- Al unir piezas de menor espesor, permite que se sequen más fácilmente, reduciendo los defectos que puede dar a la madera un secado no adecuado
- Al fabricarse permite usar láminas con menos calidad en zonas que van a requerir menos resistencia y usar láminas de mayor calidad en zonas que lo requieran.
- Frente a otros tableros como el aglomerado, la madera laminada no es necesario que se oculte con chapa ya que su acabado es estéticamente bonito.

- Permite fabricar elementos curvos.
 - La colocación de las piezas que lo conforman, le otorgan más estabilidad que contrarresta el movimiento natural de la madera.
 - Se reduce su relación peso / resistencia, con lo cual se pueden fabricar piezas de menor peso que sin embargo a nivel estructural ofrecen buena resistencia.
- [3]

Desventajas:

- En ocasiones su coste es superior a la madera, sobre todo en el caso de vigas rectas.
- Requieren adhesivos específicos y es necesario trabajar bien la madera laminada para que dé un buen resultado.
- Para su fabricación se requieren equipos y conocimientos específicos.
- Suelen fabricarse de forma específica en empresas determinadas con lo que se pueden añadir costes adicionales de transporte a obra.
- Los elementos que tienen grandes dimensiones son difíciles de manejar y transportar y esto afecta al coste final
- Elimina la belleza imperfecta natural de la madera, como los nudos o imperfecciones propias de la madera. [3]

2.2.3 Unión por adhesivos

Existen multitud de colas y pegamentos que permiten unir y ensamblar piezas y distintos materiales sin tener que recurrir a herramientas más complejas. A la hora de

elegir el sistema de adherencia hay que tener en cuenta el material que se va a unir, ya que existen distintos tipos de pegamentos según sus características y modos de empleo. Aunque se pueden encontrar numerosas marcas comerciales es importante conocer los tipos genéricos de pegamentos y cómo utilizarlos. [4]

Los adhesivos comúnmente utilizados en la fabricación de madera laminada estructural son:

- **Resorcinol Formaldehido.** De color oscuro, alta resistencia a la exposición directa a la intemperie (humedad) y temperaturas elevadas, pudiendo usarse para todas las condiciones de servicio.
- **Urea Formaldehido.** Menor resistencia a exposiciones prolongadas a la intemperie, se limita su uso a ambientes interiores, línea de cola casi invisible, económica y de mezclado fácil.
- **Fenol Formaldehido.** Adhesivo para encolar en caliente (110-140 grados centígrados), adecuado para la fabricación de tableros de madera con líneas de cola de color marro oscuro.
- **Caseína.** Usado solamente en las primeras estructuras, reemplazándose más tarde por resinas sintéticas. Es limitado a ambientes interiores.
- **Melamina formaldehido.** De menor duración, se aplican adecuadamente para servicio interior, en donde no están sometidos a exposiciones prolongadas a la intemperie y a condiciones de humedad. Se les conoce como del tipo termo fraguado, a pesar de que curan a la temperatura ambiente, debido a que no se pueden refundir o ablandar con el calor una vez curados.

- **Resinas sintéticas termoplásticas.** Basada en emulsiones de acetato de polivinilo, partículas disueltas en agua y endurecidas por evaporación, de resistencia muy elevada en condiciones normales, pero resistencia muy reducida en condiciones adversas.

En los últimos años se observa una clara tendencia a utilizar combinaciones de adhesivos con el fin de aprovechar las mejores propiedades de cada uno de los componentes.

2.2.4 La Resina de Poliéster

El poliéster es un polímero cuya consistencia es líquida y algo viscosa que pasa a estado sólido al agregarlo un acelerador y un catalizador. La resina de poliéster es sumamente resistente a condiciones de presión, a productos químicos, a la humedad y al calor.

El poliéster es un polímero cuya consistencia es líquida y algo viscosa que pasa a estado sólido al agregarlo un acelerador y un catalizador. La resina de poliéster es sumamente resistente a condiciones de presión, a productos químicos, a la humedad y al calor.

- **Acelerador de cobalto.** - Cuando se agrega el acelerador de cobalto a la resina, no se causa ninguna reacción de endurecimiento. Sólo se produce resina de poliéster pre acelerada que puede ser guardada por un tiempo moderado.
- **Catalizador de la resina de poliéster.** - también conocido como Peróxido de Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek es un peróxido orgánico que en contacto y mezcla con una resina acelerada y con el empuje de la temperatura ambiente adecuada, se descompone en radicales libres. Esos radicales libres son los que provocan la reacción de endurecimiento.

Las proporciones de mezcla recomendadas para climas templados son para cada 100 g

de resina, utilizar 1,5% de acelerador de cobalto y 2% de catalizador. Es importante que los ingredientes queden bien integrados ya que, de lo contrario, podrían quedarse sectores sin solidificar.

2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas van de la mano relacionadas con la resistencia de las maderas cuando se aplican cargas sobre ellas, las propiedades mecánicas se determinan de forma indirecta, los datos para los cálculos se obtienen de los ensayos realizados en las probetas elaboradas.

La orientación de las fibras que componen la madera dan lugar a la anisotropía de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra. En este hecho radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales utilizados en estructuras como el acero y el hormigón. Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular. [5]

Es el resultado del comportamiento ante la aplicación de fuerza, comportamiento que varía de acuerdo a la clase de fuerzas, extensión de la madera y, sobre todo, su organización anatómica. La fuerza expresada por unidad de área es conocida como esfuerzo. 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).

Cuando la carga aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente, en el eje de las ordenadas se coloca los incrementos de la carga, y en el eje de las abscisas, los correspondientes aumentos de deformación. La línea resultante está formada por una recta hasta el límite elástico de la madera, es decir en el cual termina la porción recta del gráfico y empieza la parte curva. A la carga

correspondiente a este punto se denomina carga al límite proporcional y representa la carga máxima que puede someterse un material sin que se produzcan deformaciones permanentes. La curva representa la deformación, y llega a una resistencia máxima del material produciéndose la rotura. Los factores que afectan el comportamiento mecánico de la madera son los nudos. (Paco, 2005).

2.3.1 Factores que inciden sobre las Propiedades Mecánicas

La madera, es un material heterogéneo, que se ve reflejado por la variabilidad que es posible encontrar en probetas extraídas de una misma especie maderera y de diferentes árboles, o aún más de probetas provenientes de un mismo árbol, lo que muestra una marcada diferencia en su densidad y resistencia. Esta variabilidad responde a diferencia genéticas, de ambiente y/o ambas. Es por esto que posee valores de resistencia variables. Incluso pueden resultar más variables debido a que algunas de sus características no son controladas o controlables. (Díaz-vaz J.; Cuevas H. 1982).

Entre las más importantes cabe señalar:

- Contenido de humedad
- Densidad
- Angulo de fibras
- Nudosidad
- Temperatura
- Otras influencias

2.3.1.1 Contenido de Humedad

El contenido de humedad en la madera afecta en general a propiedades mecánicas tales como, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, tracción, cizalle, dureza, clivaje, sobre el P.S.F. (punto de saturación de las fibras), la resistencia mecánica se mantiene constante y a medida que el contenido de humedad disminuye, desde el P.S.F. hasta estado anhidro la resistencia mecánica de la madera aumenta

(Díaz-vaz J.; Cuevas H. 1982), excepto en la propiedad mecánica de tenacidad, ya que disminuye.

2.3.1.2 Densidad

La densidad indica la cantidad de sustancia celular presente en una unidad de volumen de madera, es por esto que especies con madera densa tienen resistencias altas y maderas livianas resisten menos que las anteriores.

2.3.1.3 Angulo de las Fibras

La dirección de la carga que se aplica, puede coincidir o no con la dirección en que se encuentra el eje mayor de las células. El ángulo que se forma entre la carga aplicada y la fibra, se denomina ángulo de las fibras.

Las mayores resistencias se alcanzan en sollicitaciones paralelas a las fibras, por ser las resistencias mecánicas inversamente proporcionales al ángulo de las fibras.

2.3.1.4 Nudosidad

La presencia de nudos en la madera afecta a las propiedades mecánicas por:

- Variación de la dirección de las fibras,
- Diferencia de la densidad entre madera y nudo, y
- Presencia de grietas cuando la madera está seca.

Los nudos disminuyen la resistencia de la madera por inducir a una distribución irregular de las tensiones (Díaz-vaz J.; Cuevas H. 1982).

2.3.1.5 Temperatura

El incremento de la temperatura provoca un aumento de la deformación disminuyendo la cohesión en el material.

Las resistencias estáticas disminuyen cuando la temperatura cambia de valores negativos a positivos. Para las resistencias dinámicas los cambios que se producen son irregulares y dependientes de la densidad y el contenido de humedad de la madera ensayada.

2.3.1.6 Otras Influencias

Cabe destacar que los ataques de algún modo modifican o destruyen la pared celular, deterioran las resistencias mecánicas, especialmente las resistencias a solicitaciones dinámicas. Cabe destacar que existen algunos hongos patógenos, como hongos y mohos cromógenos que no influyen por lo general en las resistencias, a no ser que estén acompañados de degradadores de la madera. (Díaz-vaz J.; Cuevas H. 1982).

2.3.2 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.

2.3.3 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.

2.3.4 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).** - Este dato es obtenido en el laboratorio mediante los ensayos.

2.3.5 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).

2.3.6 Cizallamiento

El corte o cizallamiento de la estructura interna de la madera es semejante al comportamiento de un paquete de tubos que se hallan adheridos entre ellos; por esta razón, en el caso de “corte o cizallamiento paralelo al grano”, el esfuerzo de corte es resistido básicamente por la sustancia cementante, es decir, la lignina, mientras que el esfuerzo de corte o cizallamiento perpendicular al grano”, son fibras las que aumentan la resistencia al Cizallamiento. La madera es mucho más resistente al corte perpendicular que al corte paralelo. La densidad de la especie es un factor importante para el incremento de la resistencia al corte o cizallamiento. La humedad de la madera tiene influencia en la resistencia al Cizallamiento, a mayor humedad menor resistencia al corte. (Sosa 2005).

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

2.4.1 Identificación

Nombre Científico: *Enterolobium contortisiliquum* - (Vell.) Morong.

Enterolobium, viene del griego entero por intestino y lobion significa lóbulo, aludiendo a la forma de sus frutos. *Contortisiliquum*, del latín contortus-a-um = significa retorcido y siliqua significa vaina, un tipo de fruto capsular seco, aludiendo a la forma de su fruto retorcido.

Familia: Fabácea

Otros Nombres

Conacaste (América Central), Timboy, Pacara, Toco (Bolivia) Guanacaste, Timbo (Argentina.), Timboúva, Tamboril (Brasil.), Carito (Colombia.), Timbo (Paraguay.), Caro-caron(Venezuela). [6]

2.4.2 Taxonomía

Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Mimosoideae
Género:	<i>Enterolobium</i>
Especie:	<i>E. contortisiliquum</i> (VELL.) MORONG
Nombre Común:	Timboy, Pacara, Toco

Fuente: [6]

2.4.3 Descripción del Árbol

○ Copa

La copa del Timboy tiene las siguientes características: Grande, extendida, frondosa y con un follaje verde claro.

○ Tronco

Cilíndrico a irregular, no presenta espinas con altura total hasta 30 m.



- **Corteza**

Color pardo grisácea a rojiza, fibrosa, con lenticelas de gran tamaño con forma de labios.



○ **Hojas**

Alternas, compuestas, bipinnadas, raquis principal (incluyendo el peciolo) de 9-15 cm de largo, subglabro, amarillo-castaño con 3-7 pares de pinnas opuestas o subopuestas, cada pinna con su raquis secundario de 5-9 cm de largo, pubescente, cilíndrico amarillo-castaño con 8-23 pares de foliolos opuestos, subsesiles, asimétricamente lanceolados de 1-1,5 cm de largo por 0,5-0,8 cm de ancho, haz verde oscuro, glabro, envés verde claro, algo pubescente, borde entero, nervadura principal submarginal.

○ **Flor**

Inflorescencias en cabezuelas pedunculadas de 2-2,5 cm de diámetro, generalmente dispuestas en racimos axilares de 4-8 cm de largo. Flores blanco verdosas reunidas de 10-20 por cabezuela. La flor abierta mide 15 mm de largo, con pedicelo de 1 mm de largo. Cáliz pubescente-seríceo, soldado en tubo campanulado de 2,5 mm de largo con 5 lóbulos triangulares, pequeños. Corola seríceo-pubescente con tubo de 5 mm de largo, con 5 lóbulos triangulares. [6]



○ **Fruto**

vaina indehiscente, glabra, reniforme sub-orbicular de 4-7 cm de diámetro, comprimido, al principio coriáceo, luego duro, sub-leñoso, cuando maduro casi negro. Semillas numerosas, castañas, ovoideo-comprimidas de 1 cm de largo por 0,5 cm de ancho, lisas y duras, dispuestas en compartimentos transversales. [6]



2.4.4 Características Organolépticas de la Madera

Color Albura: Blanco amarillento

Color Duramen: Marrón amarillento

Olor: No distintivo

Sabor: No distintivo

Grano: Recto

Veteado: Intenso

Fuente: [6]

2.4.5 Descripción Anatómica

Poros

Visibilidad: Visibles A Simple Vista

Porosidad: Difusa

Tipo: Solitarios Y Múltiplos Radiales De 3

Forma: Muy Grandes, Algunos Ocluidos

Parénquima

Visibilidad: Visible A Simple Vista

Cantidad: Escaso

Tipo: Paratraqueal Vasicéntrico

Radios

Visibilidad: Visibles Con Lupa De 10 X

Contraste: Presente

Estratificación: Presente

Fuente: [6]

2.4.6 Ecología

- **Fenología** Es un árbol caducifolio

Esta tabla nos muestra los meses de fructificación y floración durante el año.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FRUTO	FRUTO	FRUTO	FRUTO						FLOR	FLOR	FLOR

Fuente: [6]

- **Área de Distribución**

Esta especie se encuentra en Bosques de tipo: Bosque húmedo subtropical, bosque húmedo templado, en los Departamentos. de Santa Cruz, Cochabamba, Tarija, Chuquisaca, Beni. (VH. Gutierrez R. - J. Silva.1995)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación

La comunidad de Zapatera Norte se encuentra ubicada en el Distrito N° IV de la Segunda Sección de la Región Autónoma del Gran Chaco del Departamento de Tarija Estado Plurinacional de Bolivia, hacia el Oeste. Se identifica por 3 sectores (choere, Zapatera y Carahuatarenda). Limita al Norte con la comunidad de Palos Blancos y Algodonal, al Sur con la comunidad de Zapatera Centro, al Este colinda con las comunidades de Acheral y Berety Chaco, y a dirección Oeste limita con la provincia O'Connor. (PDM, 2012)

3.1.2 Ubicación Geográfica

Geográficamente la comunidad de Zapatera Norte se encuentra ubicada entre los paralelos

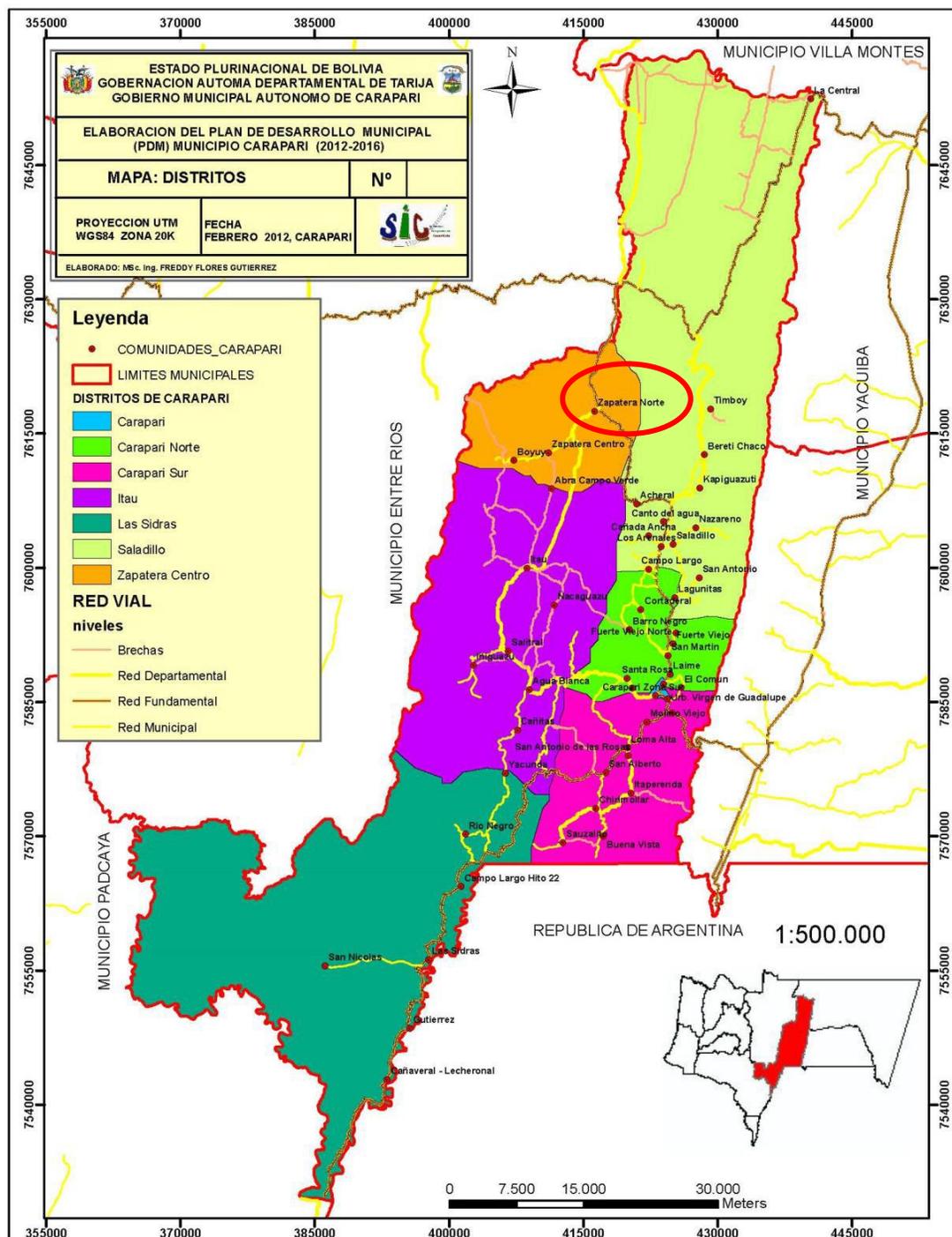
Latitud $-21^{\circ}33'32.64''$ S y Longitud $63^{\circ}49'48.91''$ O.

3.1.3 Accesibilidad

Se cuenta con una sola vía de acceso la cual está en buenas condiciones, ya que se cuenta con carretera asfaltada, ingresando por Choere cruce de la carretera Tarija - Yacuiba o viceversa, aproximadamente a 5 km del cruce hacia el sur

3.1.4 Extensión Territorial

La extensión territorial con la que cuenta la comunidad de Zapatera Norte es de aproximadamente de 15000 hectáreas de terreno. (PDM, 2012)



FUENTE: Plan de Desarrollo Municipal (PDM) Municipio de Carapari 2012 - 2016

ELABORACIÓN: SIC S.R.L.

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NATURALES

3.2.1 Altitud

La comunidad de Zapatera Norte se encuentra a una altura de 270 msnm

3.2.2 Topografía

La zona de estudio presenta una topografía de terreno con formaciones en las zonas planas con pendientes suaves, disecciones ligeras que presentan pendientes que son menores a 2%, sin pedregosidad o rocosidad superficial, sus llanuras están constituidas por depósitos areno-limosos de origen aluvial. (PDM, 2012)

3.3 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS

3.3.1 Clima

Las características climáticas del lugar son templado-cálido, en la zona la temperatura oscila entre 30°C a 40°C en las épocas calurosas de Noviembre y Diciembre, en cuanto a las heladas es un tema de mucha importancia para los comunarios de Zapatera Norte debido a que si llega muy temprano representa un peligro para su cosecha de su temporada en especial para la producción de la papa. La temporada de sequía se da en épocas calurosas en estos casos se recurre a las vertientes ya que para esa época no es posible encontrar agua para consumo humano ni para la producción.

3.3.2 Suelo

Los suelos son livianos y profundos y las pendientes varían entre 0,5 y 5%, con una disponibilidad natural de nutrientes de baja a media. En esta zona se presentan suelos moderadamente salinos formados por arena fina limosa, bien drenados en las terrazas y moderadamente drenados en las cañadas, donde existe riesgo de inundación durante el año en épocas de lluvia. Es zona árida donde se desarrolla un monte semiárido bajo xerofítico con dominación de especies caducifolias, la ganadería soporta una época

muy crítica, lo cual ocasiona problemas serios debido a la alta concentración del ganado a nivel de las aguadas. (PDM, 2012)

3.3.3 Recursos Vegetales (Flora)

Esta zona presenta bosques de diferente tipología y potencialidad entre las principales especies que predominan en la zona podemos mencionar: Cebil chico (*Anaderantherasp*), algarrobo blanco (*Prosopis alba*) (*Prosopis nigra*) guayacán (*Caesalpinia paraguariensis*), cebil colorado o corupay (*Piptadenia macrocarpa*), mistol o quillay (*Ziziphus mistol*), palo borracho (*Chorizandina signis*), nogal (*Juglans australis*) (*Juglans boliviana*), palo blanco (*Calyx phyllum multiflorum*) quina colorada (*Myroxylum peruiferum*), tipa colorada (*Pterogenia nitens*), chañar (*Geoffroea decorticans*), palo zapallo (*Pisonia zapallo*), timboy árbol mitológico o pacara (*Enterolobium contortisiliquum*), tipa blanca (*Tipuana tipa*), lanza (*Saccolium lanceolatum*), roble (*Amburana cearensis*), lecherón de río, guayabilla (*Eugenia mato*), tala (*Celtis espinosa*), coca de cabra (*Capparis retusa*), tusca (*Acacia aroma*), tabaquillo (*Solanum riparium*), brea (*Cercidium australe*), entre otras.

3.3.4 Recursos Animales (Fauna)

Existe una gran diversidad de especies de animales silvestres entre mamíferos, aves, reptiles pero las que predominan por la zona de estudio son: Zorro Corzuela (*Ondocodytes virginia*) Acuti (*Agouti paca*) Chanco del monte (*Tayassu pecari*, *T. albirostris*) Quirquincho (*Dasyprocta septemcinctus*) Puma (*Felis concolor*), Gato montés, Anta (*Tapirus terrestris*), Primates de la especie *Cebus alleifrons*, *C. ornatus*, algunos roedores del género *Oryzomys*, entre las Aves podemos mencionar Palomas Gallaretas Pava de monte (*Opisthocomis*) Tucán (*Hoazin, Penelope jacquacu*).

3.3.5 Recursos Hídricos

Los recursos hídricos con los que cuenta Zapatera Norte vendrían a ser La quebrada que lleva el mismo nombre de la comunidad La quebrada Zapatera y la quebrada de

Caraguatarenda estas nacen de las cuencas de la comunidad de Llanadas, arrayal y Altos los Zarzos y desembocan sus aguas a Puerto Margarita a la cuenca del Rio Pilcomayo. (PDM, 2012)

3.4 ASPECTOS SOCIOCULTURALES

3.4.1 Población

La comunidad de Zapatera Norte tiene una población de 280 habitantes que están agrupados en 135 familias, La dinámica poblacional de la zona ocurre debido a las pocas fuentes de empleos en la zona y en busca de mejores condiciones de vida e ingresos económicos algunos comunarios migran temporalmente o de manera permanente a otras regiones. (Censo de Población y Vivienda 2012)

3.4.1 Educación

En la comunidad se cuenta con un núcleo educativo el cual está conformado por 6 profesores, 1 Director de Núcleo y una secretaria, se brinda una educación de tipo regular que está compuesto por nivel Inicial (Primera Sección- Segunda Sección), Nivel Primario y Nivel Secundario (Primero y Segundo de Secundaria) con 102 Alumnos matriculados y Educación Alternativa con los cursos de Primaria y Secundaria con un total de 20 Estudiantes. (PDM, 2012)

3.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

3.5.1 Accesos y Usos de Suelos

Los tipos de uso actual de las tierras en cuanto a la agricultura podemos decir que ocupa un espacio menor, aunque están ingresando a la zona de cultivos la papa, el maíz, etc. esta zona también cuenta con tierras privadas, comunitarias y fiscales aproximadamente 15000 hectáreas pero tan solo unas 500 hectáreas son cultivables debido a las condiciones climáticas fundamentalmente por el déficit de humedad las

cuales limitan y condicionan la producción agrícola principalmente afectando a las familias de más escasos recursos. ya que la mayoría cuenta con un sistema de riego con ayuda de la tecnología, las parcelas para la agricultura en la mayoría varían de pequeña a mediana, así que pocos productores de esta zona tienen una importante producción para el mercado y el resto de las cosechas son mayormente dirigidas al consumo familiar. (PDM, 2012)

3.5.2 Producción Agrícola

La producción agrícola en la comunidad de Zapatera Norte se basa en los cultivos de maíz, papa, cítricos, sandía, arveja, y cebolla, en la etapa de siembra y riego la gran mayoría de los productores utiliza una tecnología mecanizada la cosecha generalmente se la hace de manera manual.

Otra de las actividades es la ganadería que contempla la cría de ganado bovino, caprino, porcino, equino y avícola como una alternativa de ingresos económicos para los pobladores, el ganado vacuno es al que se le da mayor preferencia porque genera mejores ingresos.

3.5.3 Producción Forestal

La deforestación y explotación selectiva de especies maderables, determinan una reducción progresiva de la cobertura boscosa, particularmente en la región localizada de Tarija que corresponde a la zona árida del Chaco boliviano, la explotación lo practican sin ningún plan de manejo ni autorización de las instituciones responsables en algunos casos fue tan intensa, que hoy no existe la posibilidad de un aprovechamiento forestal rentable, por la escasez de árboles maderables, pero también en especial la Comunidad de Zapatera Norte tiene grandes recursos forestales que no son debidamente aprovechados. (PDM, 2012).

3.5.4 Principales Riesgos Ambientales

De acuerdo a los testimonios de los comunarios y a los diagnósticos de los planes municipales, una de las actividades que representa mayor riesgo ambiental son las empresas petroleras que están destruyendo severamente los recursos naturales por medio del aflojamiento de tierras como efecto de la exploración (sísmica), la apertura de sendas, caminos carreteros, la eliminación de residuos desconocidos y expulsión de basura de toda clase, lavado de vehículos de diversos tamaños en los ríos, contaminando las aguas, el ruido, la quema permanente de gas, entre otros. Aunque cada empresa cuenta con planes medio ambientales que deben ser ejecutados, la percepción es que no existen los controles necesarios que verifiquen el cumplimiento de los mismo. (PDM, 2012)

3.5.5 Riesgos en Suelo

Los elementos abióticos del sistema, son afectados en menor medida, siendo los efectos significativos los ocasionados sobre los suelos por los cultivos en laderas de pendientes muy pronunciadas y el sobre pastoreo del ganado mayor y menor. Otro factor, muy raras veces señalado, constituye la sismicidad, que es otro fenómeno natural que se debe tomar muy en cuenta, porque la provincia del Gran Chaco, tiene las tres zonas sísmicas con intensidades de uno, dos y tres. (PDM, 2012)

3.5.6 Riesgo en Agua

En la zona norte ya existe la escasez de agua dulce, compiten los humanos y el ganado por los pocos puntos de agua dulce.

3.5.4.3 Riesgo en Inclemencias.

Entre los principales riesgos en cuestiones de inclemencias del tiempo podemos mencionar las siguientes:

- **Heladas.** Las temperaturas más bajas se registran en los meses de junio, julio y fundamentalmente el mes de agosto, en los que en algunos años se producen heladas que perjudican a cultivos de invierno (hortalizas). Este fenómeno afecta principalmente el valle central del municipio, además esta zona es de mayor potencial agrícola, este fenómeno afecta en los rendimientos de los cultivos.
- **Sequía.** La escasez de aguas superficiales y bajas precipitaciones que año tras año ocasionan pérdidas de consideración en la producción agropecuaria, además el periodo de estiaje es prolongado. Por otra parte, está la desuniformidad de distribución de precipitación como la no- ocurrencia de lluvias oportunas afecta de sobremanera a la zona norte del municipio. Las consecuencias son, retardo del rebrote del forraje, disminución de las fuentes de agua, por ende declinación de la producción pecuaria, por otra parte el período de siembras es alterado por falta de lluvia en períodos críticos, llegando a afectar de esta forma en los rendimientos de los cultivos.
- **Viento** La dirección de los vientos en el municipio es de Sur a Norte y a veces a la inversa, lo que ocasiona un vuelco en los cultivos y pérdidas de la capa arable, especialmente en el mes de agosto. (PDM, 2012).

3.6 MATERIALES

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales:

3.6.1 Material biológico

- Madera de la especie Timboy

3.6.2 Material de Campo

- Carta geográfica
- Cámara fotográfica
- Motosierra

- Machetes
- Pintura en aerosol
- Cinta diamétrica
- Planillas de campo
- Brújula
- GPS

3.6.3 Material de Aserradero

- Sierra sin fin
- Escuadra de carpintería
- Marcadores
- Planillas de registro
- Sierra circular
- Cepilladora
- Flexómetro

3.6.4 Material para Encolado de Probetas

- Carpicola MONOPOL
- Cola Vinílica FORTEx A20
- Prensas
- Brocha

3.6.5 Material de Laboratorio

- Prensa AMSLER (con accesorios para los diferentes ensayos)
- Deflectómetro
- Probetas de madera laminada encolada
- Vernier
- Estufa
- Balanza electrónica (0,01 gr de precisión)
- Soporte universal
- Martillo
- Planillas para los diferentes ensayos

3.6.6 Material de Gabinete

- Libreta de anotaciones
- Planillas de registro
- Computadora
- Calculadora
- Material de escritorio.
- Normas COPANT maderas

3.7 METODOLOGÍA

El trabajo se realizó bajo la metodología establecida por las normas técnicas de la Comisión Panamericana (COPANT) Maderas, las cuales se emplearon para la determinación de las propiedades mecánicas de las probetas de madera laminada encolada (MLE) de la especie Timboy proveniente de la comunidad de Zapatera - Tarija – Bolivia.

En el siguiente cuadro se mencionan los ensayos que se realizaron:

NORMAS	TEMAS
COPANT 458	Selección y colección de muestras
COPANT 460	Método de determinación del contenido de humedad
COPANT 455	Método de determinación de flexión estática
COPANT 463	Método de determinación de cizallamiento
COPANT 464	Método de determinación de compresión paralela al grano
COPANT 465	Método de determinación de la dureza
COPANT 466	Método de determinación de compresión perpendicular al grano
COPANT 30:1-02	Análisis estadístico

3.7.1 Selección y Recolección de Muestras

Según las normas COPANT madera 458 se hizo la selección de las muestras mediante un sistema de selección al azar, puesto que toda 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, el diámetro, su altura, diferencias de fibras y de anillos de crecimiento entre otros.

3.7.2 Definición de la Población

En la realización del presente estudio de propiedades mecánicas de madera laminada encolada (MLE) de la especie Timboy, se tomaron en cuenta las características de cada individuo como ser: diámetro a una altura de 1.30 m, edad, sanidad, entre otros.

3.7.3 Selección de la Zona

Se tomó en cuenta la representatividad de la especie, también la sanidad y calidad de los individuos. En la comunidad de Zapatera provincia Gran Chaco Departamento de Tarija, la selección de los árboles fueron al azar se dividió el área en bloques y cada bloque se subdividió en parcelas de las cuales se eligió una parcela por cada bloque.

Cuadro Nro. 1

Coordenadas de los Arboles

ARBOL	COORDENADAS Este	COORDENADAS Norte
1	414038	7615775
2	414243	7615782
3	414243	7615781
4	414093	7615740
5	414173	7615769

Fuente: Elaboración propia

3.7.4 Selección de Árboles

De cada parcela elegida al azar se seleccionaron los mejores arboles considerando la sanidad, el buen fuste y el diámetro mínimo de corta.(Dap. Refencial de 1,30 m)

3.7.5 Selección de la Troza

Luego de realizar el apeo de los árboles, se realizó el desramado, posteriormente se procedió a dividir el árbol en secciones de 1,5 a 1,7 metros de longitud a los cuales se los marco para que sean de una fácil identificación.

3.7.6 Selección de la Vigueta dentro de la Troza

Las viguetas fueron obtenidas de los tablonces centrales y laterales, teniendo en cuenta la escuadría adecuada para una mejor orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras. Las viguetas fueron colocadas en un ambiente con buena circulación de aire para su correcto secado, cabe resaltar que estos ensayos son solo en estado seco al aire.

3.7.7 Tratamiento Profiláctico

Una vez obtenidos los tablonces centrales en el aserradero se procedió a realizar la limpieza del aserrín que queda después del corte y se procedió a fumigar con insecticida y fungicida para evitar el ataque de hongos y otros insectos.

3.7.8 Obtención de las Probetas dentro de las Viguetas

Se realizaron de acuerdo a las normas propuestas para cada ensayo y se procedió de la siguiente manera:

- a) Como primer paso se procede aserrar los tablonces centrales de espesor adecuado según nos plantea el ensayo.

- b) La obtención de los listones para los ensayos en seco al aire Fueron los siguientes:

Cuadro Nro. 2

Ensayo	Dimensiones Cm	Cant. Probetas Seco al Aire	
		PEGAMENTO1 (CARPICOLA MONOPOL)	PEGAMENTO2 (FORTEX A20)
Flexión Estática	5*5*75	10	10
Compresión Paralela	5*5*15	10	10
Compresión Perpendicular	5*5*15	10	10
Dureza	5*5*15	10	10
Cizallamiento Radial	5*5*6,3	10	10
Cizallamiento tangencial.	5*5*6,3	10	10

Fuente: Elaboración propia.

3.7.9 Elaboración de las Probetas de Madera Laminada Encolada

En este sentido se elaboraron las probetas con las dimensiones conforme manda la norma **COPANT maderas** 455, 463, 464, 466, 465.

Se secciono los listones de madera en laminadas de dimensiones de 1.6cm de espesor x 5 cm de ancho dejando un milímetro para la línea de encolado la cual sumando nos da una probeta de dimensiones de 5x5 cm². tal cual nos plantea la norma **COPANT maderas** para los distintos ensayos mencionados antes. (cuidando siempre la orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras).

Una vez dimensionadas y aserradas las laminadas se procede a hacer la unión con encolado, para este trabajo de investigación se utilizó dos tipos de pegamentos vinílicos (que serán descritos posteriormente) 10 probetas con CARPICOLA MONOPOL y 10 probetas con COLA VINILICA A20 FORTEX para cada ensayo especificado anteriormente.

Para la aplicación del pegamento se utilizó una brocha la cual nos sirvió para distribuir el pegamento sobre la superficie de madera de una manera uniforme. siempre tomando en cuenta que la superficie a encolar este totalmente limpia.

Posteriormente una vez realizado el encolado de las tres laminas se procede a prensar las probetas fabricadas con el fin de crear una unidad cohesiva. el tiempo de prensado fue de 24 hrs. (*Ver fotografía 1*)

Prensado de Probetas



Fuente: Elaboración propia

3.7.10 Codificación de las Probetas

La codificación de las probetas se realizó para mantener un registro de las probetas con las que se realizaron los ensayos y así poder facilitar la correcta toma de datos y poder ubicar más fácilmente las probetas de una manera más fácil y para así poder reemplazar en el caso de que alguna de ellas presente alguna falla.

esta codificación fue escrita en la parte lateral de cada probeta de forma visible y un tamaño considerable con un marcador indeleble. Ejemplo (*Ver fotografía 2*).

Codificación de Probeta de Compresión Paralela



Fuente:Elaboración propia

3.8 DESCRIPCIÓN DEL PEGAMENTO (1)

3.8.1 Carpicola Pegamento Vinílico para Carpintería (Monopol)

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 Nro.3

Envase de Presentación del Producto



Fuente: Monopol.com

3.8.2 Usos

- Su utilización principal está en el pegado y ensamblaje de muebles, puertas, ventanas, enchapes, terciados, etc., 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).

3.8.3 Ventajas

- 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.

3.8.4 Preparación de la Superficie

Se constató que las superficies estén limpias, secas, libres de polvo, suciedad, grasa, aceite, etc.

3.8.5 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.

3.9 DESCRIPCIÓN DEL PEGAMENTO (2)

3.9.1 Cola Vinílica A20 (Fortex)

Para trabajos generales de carpintería. Cola vinílica de base acuosa, NO TOXICA, de alta calidad y gran resistencia a la tracción, su mayor contenido de sólidos, comparado con la Cola A 10, la hace de una calidad superior.

Figura Nro.4

Envase de Presentación del Producto



Fuente: Fortexadhesivos.com

3.9.2 Presentación del Producto

El producto viene en envases plásticos se los puede encontrar en presentaciones de: 1/8, 200, 1/4, 1/2, 800, 1, 6, 24 y 220 Kg.

3.9.3 Aplicaciones y Recomendaciones

Enchapado de placas. Pegado de laminados a placas, juntas y uniones, espigados, machimbres, telas vinílicas con género sobre madera, sillas y todo tipo de muebles, puertas, etc. Se puede utilizar pincel, espátula, rodillo y/o máquina de encolar. El tiempo de armado y el de prensa están relacionados directamente con la temperatura ambiente. Con baja temperatura o humedad elevada, aumenta el tiempo de prensado.

3.10 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Los Ensayos de propiedades mecánicas son determinados de acuerdo a las estipulaciones establecidas por las normas COPANT Maderas, de estos ensayos se obtuvieron datos para la realización de los cálculos de los ensayos realizados.

Los ensayos de las propiedades mecánicas se determinaron de acuerdo a las normas COPANT MADERAS, para la realización de los ensayos se utilizó la prensa AMSLER que se encuentra en el Laboratorios de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales ubicado en los predios del Campus Universitario Zona el Tejar.

3.10.1 Flexión Estática (COPANT 455)

Para esta Prueba se utilizaron las probetas de 5*5*75 cm. de longitud establecido en la Norma COPANT 455, antes de los ensayos se midieron el ancho, largo y espesor en cm. a cada una de las probetas, se procedieron a colocar los apoyos cilíndricos con una luz de 70 cm, se tomaron los datos de la deformación mediante el defléctometro hasta el límite de ruptura y su deformación correspondiente registrada en la planilla, para

interpretar las fallas, la velocidad que se aplicó en el ensayo fue de 2,5mm/min. finalizado este proceso se tomó una muestra de 2 cm cerca de donde ocurrió la falla de cada probeta ensayada.

En base a las lecturas registradas se trazaron las curvas para ver la deformación y se calcularon los Esfuerzos al Límite Proporcional (ELP), Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de Elasticidad (MOE), en función a las siguientes fórmulas: (Cruz ,2006).

- Esfuerzo unitario en el límite proporcional (ELP)

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

ELP = Esfuerzo unitario en el límite proporcional (Kg/cm²)

P1 = Carga en el límite proporcional (Kg)

L = Luz de la probeta (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

- Esfuerzo unitario máximo (MOR)

$$MOR = \frac{3 P2 xL}{2 bxh^2}$$

MOR = Módulo de ruptura

P2 = Carga máxima (Kg)

- Módulo de elasticidad (MOE)

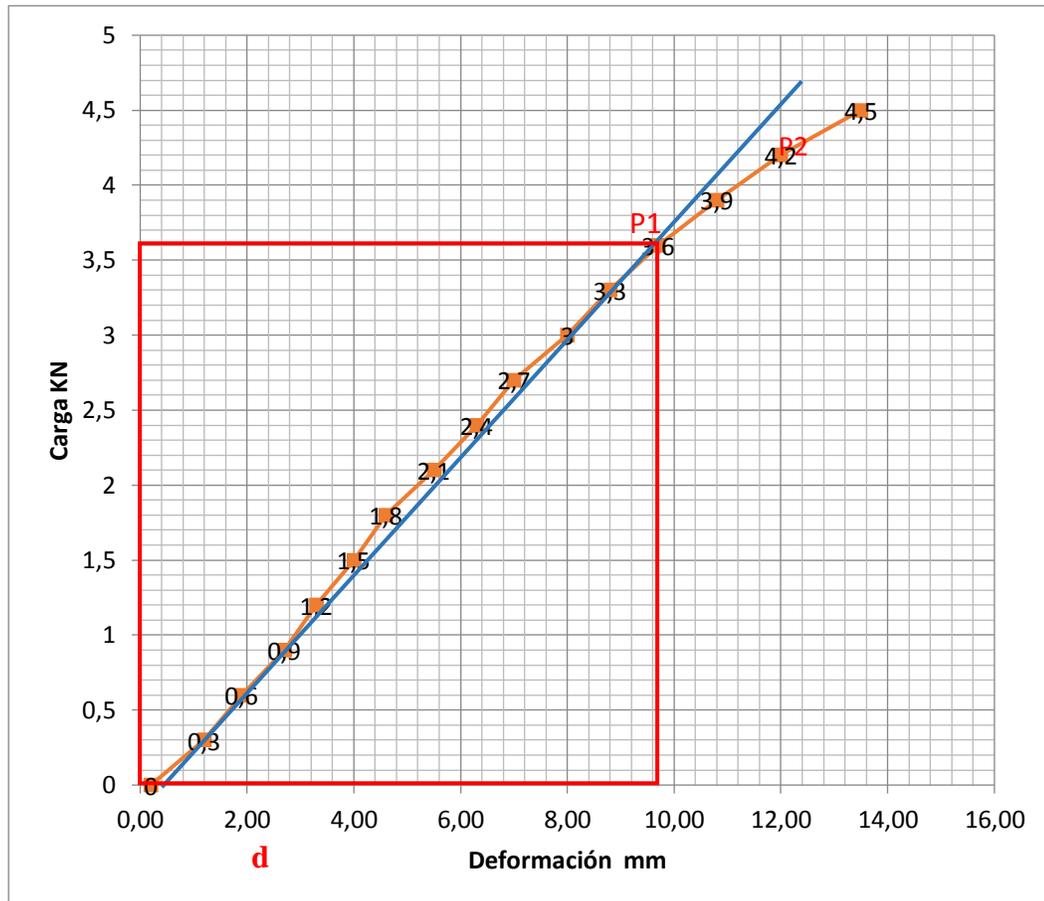
$$MOE = \frac{1 P1 xL^3}{4 bx\Delta Lxh^3}$$

MOE = Módulo de elasticidad (Kg/ cm²)

ΔL = Deflexión en el límite proporcional (cm)

GRÁFICA Nro. 1

GRÁFICA DE FLEXIÓN ESTÁTICA SECO AL AIRE
 CON PROBETA ENCOLADA CON PEGAMENTO1 (CARPICOLA MONOPOL)
 Ejemplo Probeta A1F-7

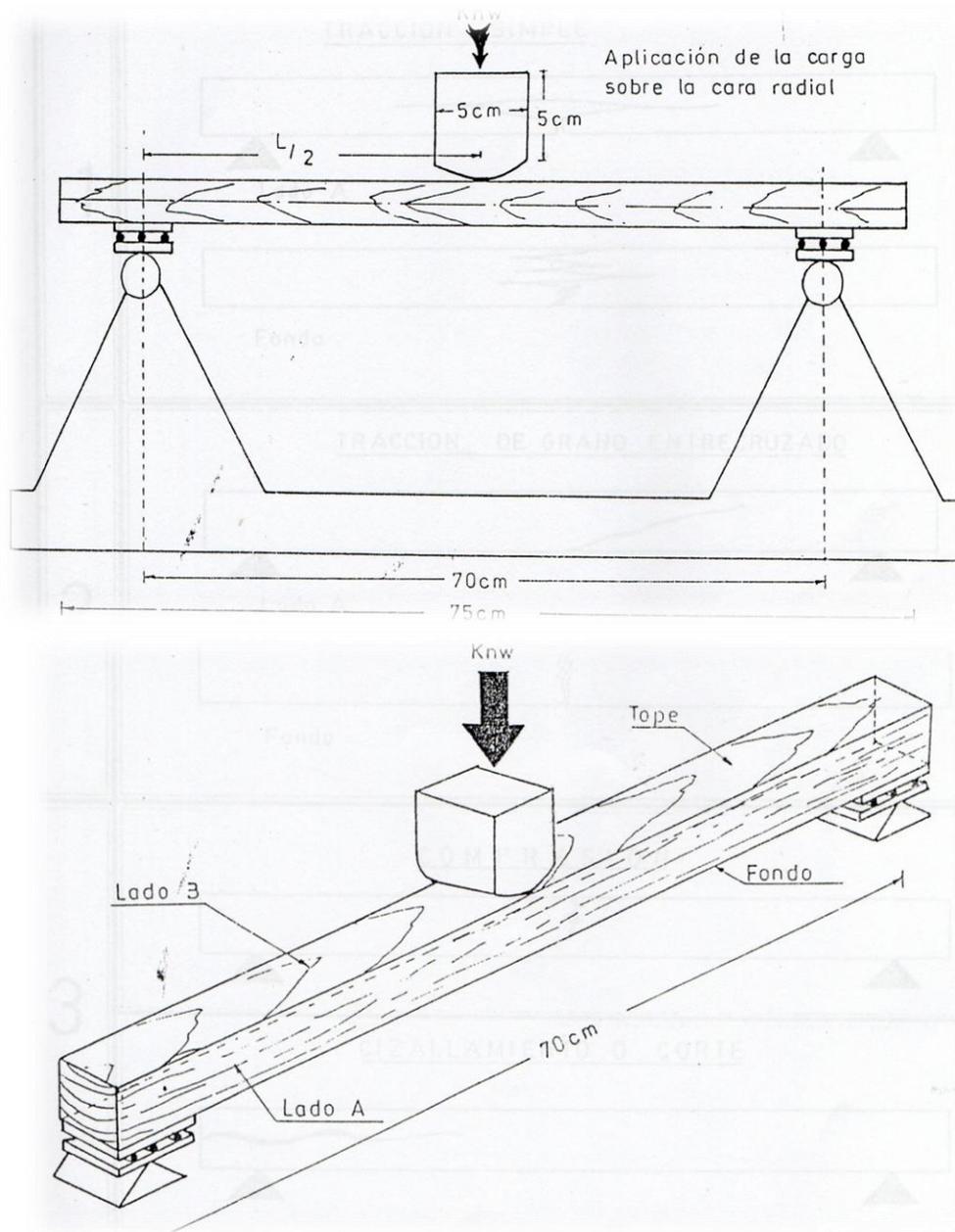


Fuente: Elaboración propia 2018.

P1	367.099 kg/cm ²
P2	458.874 kg/cm ²
d	0.97cm
L	70cm
A	5
H	5
ELP	308.363
MOR	385.454
MOE	51.923.722

Figura Nro:

Esquema del Ensayo de Flexión Estática



Fuente: (Cruz 2006)

3.10.2 Determinación de Compresión Paralela al Grano (COPANT 464)

Este ensayo se realizó sobre las probetas de 5x5 cm. de sección transversal y de 20 cm de longitud, las probetas se disponen verticalmente sobre la base fija de la prensa para aplicar gradualmente la fuerza de compresión a través del plato móvil o cabezal, a una velocidad constante de 0.6mm/min. provista de una articulación esférica para compensar posibles fallas por escuadría que puedan presentarse en las probeta este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 464 y se graficó las fallas de las probetas para realizar una clasificación según “fallas típicas de compresión paralela al grano.

Se incrementó a intervalos constantes la carga y se registraron las lecturas del defléctometro hasta la ruptura de la probeta y en base a estos datos se graficaron las curvas carga-deformación de esta manera se realizaron los cálculos del ELP, MOR, MOE, con las siguientes formulas:

- Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P1}{A}$$

P1 = Carga al límite proporcional (kg)

A = Área de compresión (cm²)

- Módulo de ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{P2}{A}$$

P2 = Carga máxima soportada por la probeta (Kg)

A = Área de compresión (cm²)

- Módulo de elasticidad (MOE)

$$MOE = \frac{P1 \times L}{A \times \Delta L}$$

P1 = Carga al límite proporcional (kg)

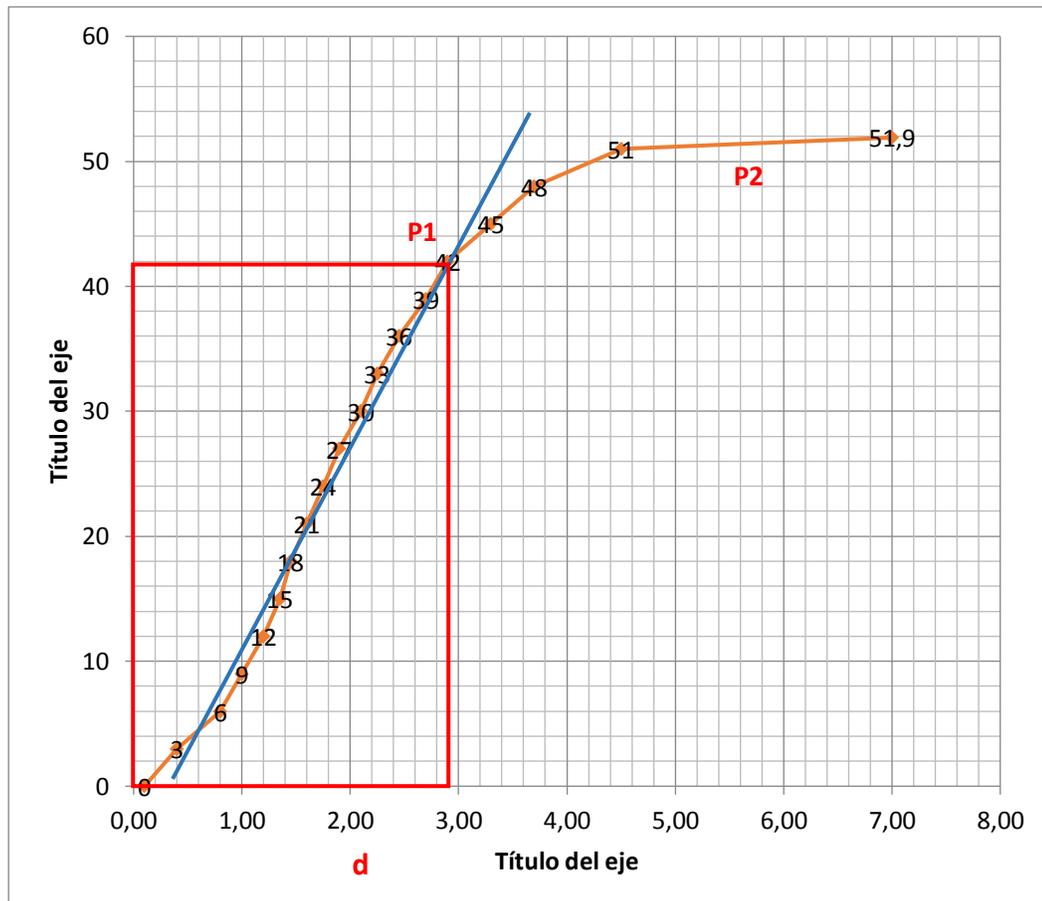
A = Área de compresión (cm²)

L = Longitud de la probeta en que se midió la deformación (cm)

ΔL = Deformación de la probeta (cm).

GRÁFICA Nro. 2

GRÁFICA DE COMPRESIÓN PARALELA SECO AL AIRE
 CON PROBETA ENCOLADA CON PEGAMENTO2 (FORTEX A20)
 Ejemplo Probeta A2CP-6



Fuente: Elaboración propia 2018.

P1	4282.824 kg/cm ²
P2	5292.346 kg/cm ²
d	0.29cm
L	20cm
A	5
H	5
ELP	171.312
MOR	211.693
MOE	11.814.687

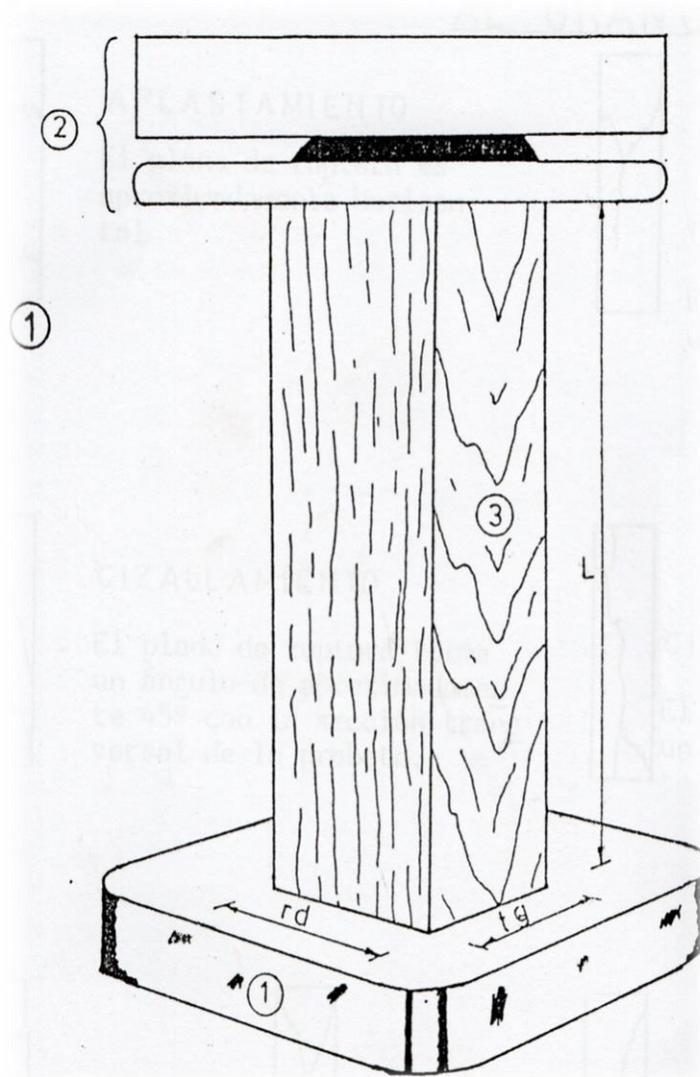
Figura Nro. 6

Esquema del Ensayo de Compresión Paralela al Grano

1 base fija

2 cabeza con articulación

3 probeta



Fuente: (Cruz 2006)

3.10.3 Determinación Compresión Perpendicular al Grano (COPANT 466)

Este ensayo se realizó sobre las probetas de 5x5 cm. de sección transversal y de 15 cm. de longitud de acuerdo a la Norma COPANT 466, antes de realizar los ensayos se colocaron los accesorios que se necesitan en la prensa AMSLER, posteriormente sobre una base metálica fija se colocó la probeta horizontalmente y aplicar la fuerza

de compresión transmitida por un platillo móvil a través de un bloque metálico de 5x5 cm de sección transversal ubicado en el centro de la cara radial de la probeta, Luego de aplicar la carga con una velocidad uniforme de 0.3 mm/min se procedió sacar galletas de la zona más cercana de la falla para la toma del contenido de humedad para cada una de las probetas.

Se registraron las deformaciones en el defléctometro y las cargas correspondientes y en base a estos datos se graficó la curva carga-deformación de esta manera se realizaron los cálculos con las siguientes formulas.

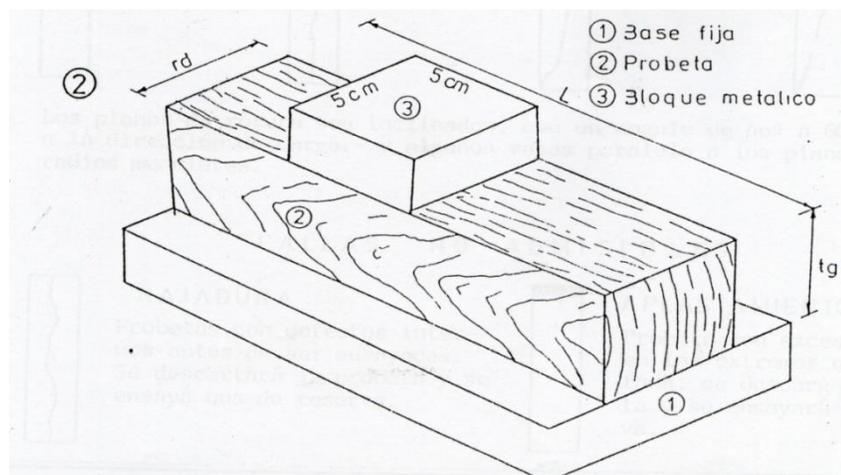
- Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P1}{A}$$

P1 = Carga en el límite proporcional, obtenida del diagrama (Kg)

A = Área de compresión (cm²)

Figura Nro. 7



Fuente: (Cruz 2006)

3.10.4 Método de Determinación de Dureza (COPANT 465)

Para el ensayo de dureza de la madera, se realizó con probetas de sección transversal de 5x5 cm. y 15 cm. de longitud de acuerdo a la norma COPANT 465.

Se utilizó la prensa AMSLER agregando un accesorio que se encarga de medir la resistencia que presenta la madera a la penetración de la esfera metálica de 11.284 mm de diámetro según Janka, aplicando este una carga continua, controlando la penetración mediante el collarín móvil. En cada probeta se realizó 6 penetraciones; en las caras radiales, en las caras tangenciales y en cada uno de los extremos con una velocidad uniforme de 6 mm/min, luego de realizar ese ensayo se tomó una muestra de la probeta de 2 cm de una sección próxima a la penetración para la determinación del contenido de humedad.

La determinación de la dureza se calculó con la siguiente fórmula:

- Dureza (HB)

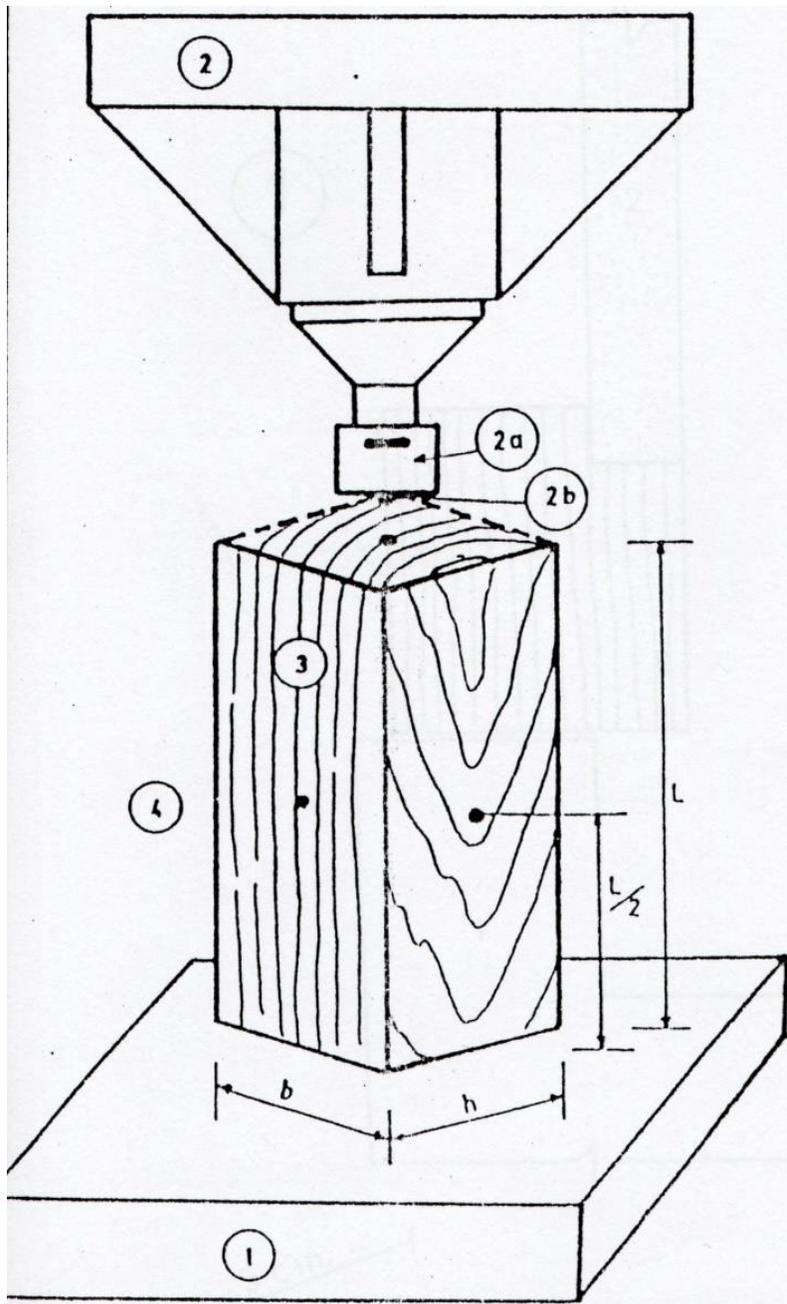
$$HB = \frac{F}{A}$$

F = fuerza registrada (Kg.)

A = Área de penetración según Janka es de 1 cm²

Figura Nro: 8

Esquema del Ensayo Dureza



Fuente: (Cruz 2006)

3.10.5 Determinación de Cizallamiento (COPANT 463)

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 463, las dimensiones de las probetas son de 5*5*6,3 cm. de longitud radial como tangencial, recortadas en una de sus caras en la forma indicada más adelante. La probeta se sujetó en el accesorio, donde la carga se aplica uniformemente por medio de un disco metálico hasta la ruptura de la probeta a una velocidad constante de 0.6 mm/min, La parte menor de cada probeta ensayada se usó como muestra para determinar el contenido de humedad. Con los datos registrados en las planillas se calculó la resistencia al Cizallamiento con la fórmula:

- Cizallamiento

$$\text{Cizallamiento} = \frac{P. \text{max}}{A}$$

P. Max. = carga máxima soportada por la probeta (Kg)

A = Área de cizallamiento (cm²)

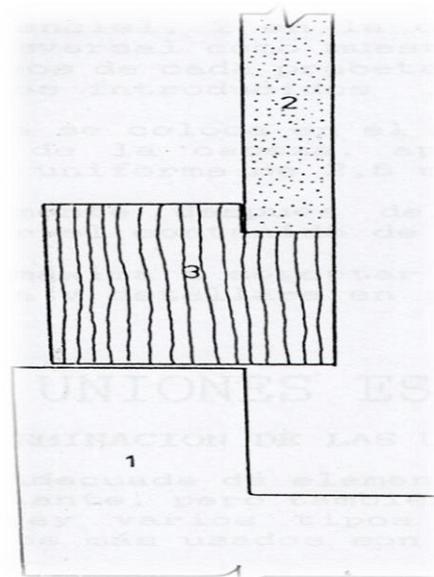
Figura Nro: 9

Esquema del Ensayo de Cizallamiento

1 base metálica de cizallamiento

2 pieza móvil central

3 probeta



Fuente: (Cruz 2006)

3.10.6 Contenido de Humedad (COPANT 460)

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

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

Dónde:

CH = Contenido de Humedad (%)

Ph = Peso Húmedo (gr.)

Po = Peso Anhidro (gr.)

4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

Para realizar el análisis estadístico, se tomó en cuenta las siguientes condiciones indispensables para el mismo:

- Que todos los árboles del área cuya madera no presenten defectos tengan la misma posibilidad de entrar en el muestreo.
- La recolección de las probetas fue realizada según el muestreo al azar.

El análisis se realizó de acuerdo a la norma COPANT 30:1-102 que establece el procedimiento de este análisis estadístico y la presentación de los resultados para poder determinar las propiedades de la madera.

Los datos estadísticos son:

- Número de árboles ensayados = k = 5
- Número de probetas por árbol = l = 2
- Número total de probetas por ensayo = N = 10

Donde:

$$N = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + \dots \dots \dots l_k = \sum_{j=1}^k l_j$$

Los datos anteriores permiten calcular los siguientes valores:

4.1 Valor Promedio (\bar{x}) de los Valores Individuales por Árbol

$$\bar{x} = \frac{1}{l} * (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots \dots \dots + x_l) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l x_i$$

(x) es la variable que indica cada uno de los valores de los resultados obtenidos para cada probeta.

4.2 Valor Promedio Total (x) de todos los Valores Individuales

Para el cálculo del promedio total, existen dos formas, las cuales dependen del número de probetas por árbol:

- Cuando el número de probetas por árbol (l) sea igual en todos los arboles a ensayar se utiliza la fórmula:

$$x = \frac{1}{k} * (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots \dots \dots + x_k) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j$$

- Cuando el número de probetas por árbol (l) no es igual para todos los árboles, se utiliza la siguiente fórmula:

$$x = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k x_{ij}$$

En el cálculo del promedio total se utiliza los valores individuales (x_y) que corresponde a cada uno de los valores.

4.3 Estimación de la Varianza

La estimación de las varianzas, se determina en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y la variancia total ($S_1^2: S_2^2 : S_T^2$).

Entre los grupos	Grados de Libertad	Suma de cuadrados de la desviación	Varianza
	$n_1 = k - 1$	$A_1 = \text{II} - \text{I}$	$s_1^2 = \frac{A_1}{n_1}$
Dentro de los grupos	$n_2 = N - k$	$A_2 = \text{III} - \text{II}$	$S_2^2 = \frac{A_2}{n_2}$
Total	$n_1 + n_2 = N - 1$	$A_1 + A_2 = \text{III} - \text{I}$	$S_T^2 = \frac{A_1 + A_2}{n_1 + n_2}$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$n_1 = k - 1 =$$

$$n_2 = N - k =$$

$$n_1 + n_2 = N - 1$$

Los números romanos son agrupadores de datos y/o formulas; para su desarrollo se presenta el siguiente ejemplo, utilizando datos de flexión estática (ELP) en estado seco al aire.

Donde:

N = (número de probetas por ensayo)

k = (número de árboles)

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

x =

$$\text{I} = \frac{1}{N} * (\sum_{j=1}^N x_j)^2 =$$

$$\text{II} = l * \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} (\sum_{i=1}^k x_i)^2 =$$

$$\text{III} = \sum_{i=1}^N x_i^2 =$$

$$S_1^2 = \frac{II - I}{k - 1} =$$

$$S_2^2 = \frac{III - II}{N - k} =$$

$$S_t^2 = \frac{III - I}{N - 1} =$$

S_1^2 = variación de los valores individuales entre los arboles

S_2^2 = variación promedio

S_t^2 = variación de todos los valores individuales alrededor del promedio total

4.4 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:

$$S_1 = \sqrt{S_1^2} =$$

$$S_2 = \sqrt{S_2^2} =$$

$$S_T = \sqrt{S_T^2} =$$

Coeficiente de variación (CV_2) para la varianza promedio de los valores de las varianzas dentro de los arboles (k) se determina de la siguiente manera:

$$CV_2 = \frac{S_2}{x} * 100$$

k-1	2	3	4	5	7	9	14	19	+
t (k-1)	4,3	3,18	2,78	2,57	2,37	2,26	2,15	2,09	1,96

El coeficiente de variación total (CV_t) para la varianza de los valores individuales (X_1) alrededor del promedio total (x) se obtiene según:

$$CV_t = \frac{S_t}{x} * 100$$

4.5 Cálculo del Intervalo de la Confianza para el Valor Promedio Total

Como el valor promedio total (x) de un muestreo, es solamente una estimación del promedio (N) de la población, también se necesita presentar en el análisis estadístico, el intervalo de confianza ($\pm q$) del valor promedio total (x) para una seguridad estadística postulada (generalmente 95%). El valor 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 calcula de la siguiente fórmula: $x \pm q = x \pm t_{(k-1)} * \frac{S_1}{\sqrt{N}} =$

En esta fórmula “t” es un factor que depende de (k-1) y que tiene los siguientes valores para una seguridad estadística de 95%.

4.6 Determinación del Valor Relativo del Intervalo de Confianza ($\pm p$)

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

Ejemplo:

$$\pm P = t_{(k-1)} * \frac{CV_1}{\sqrt{N}} = \pm$$

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO - ENSAYO DE DUREZA
DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN ESTADO SECO AL AIRE**

PROBETAS	ÁRBOLES ENSAYADOS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
1	13,44	14,11	12,50	13,99	14,35	
2	13,78	12,81	13,29	14,02	12,52	
L	2	2	2	2	2	10
SUMA	27,22	26,92	25,79	28,01	26,87	134,81
MEDIA	13,61	13,46	12,90	14,01	13,44	13,48
X2	370,52	363,19	332,87	392,28	362,67	1821,54
Y2	370,46	362,34	332,56	392,28	361,00	1818,65
X2 - Y2	0,06	0,84	0,31	0,00	1,67	2,89

N° ÁRBOLES ENSAYADOS (k) = 5

N° PROBETAS DENTRO EL ÁRBOL (L) = 2

N° TOTAL DE PROBETAS POR ESPECIE (N) = 10

PROMEDIO TOTAL (X) = 13.48 En caso de que L no sea igual para todo los árboles de una especie

GRADOS DE LIBERTAD		VARIANZA		DESVIACIÓN TÍPICO			
n1 = k - 1 =	4	I =	1817.37	A1 = II - I =	1.27	S1 =	0,564
n2 = N - k =	5	III =	1818.65	A2 = III - II =	2.89	S2 =	0,760
n1 + n2 = N - 1	9	II =	1821.64	A1 + A2 = III - I =	4.16	S2T =	0,680
		III - II =	2.99				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN		INTERV. DE CONFIAN.					
CV1 =	4.187 %	Q =	±0.496				
CV2 =	5.639 %	P =	±3.681				
CVT =	5.046 %						

CUADRO Nro.3

RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA												
		ESTADO SECO AL AIRE										
ARBOL	PROBETA	PEGAMENTO 1					PEGAMENTO 2					
		CH %	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)	CH %	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)			
1	1	14,39	256,969	382,430	38156,068	13,15	299,798	428,282	38255,433			
	2	12,63	231,272	385,454	56379,862	13,63	256,969	376,889	25132,740			
2	1	13,25	256,969	385,454	39973,024	12,93	239,838	265,535	27587,017			
	2	13,37	256,969	411,151	41971,675	13,35	282,666	411,151	51298,714			
3	1	12,24	256,969	334,060	36817,259	13,58	256,969	411,151	31796,724			
	2	12,91	256,969	402,585	29979,768	12,63	256,969	308,363	26232,297			
4	1	13,87	308,363	385,454	51923,722	12,73	282,666	419,717	37843,314			
	2	13,72	282,666	385,454	46168,843	13,86	299,798	428,282	38255,433			
5	1	14,35	231,272	359,757	26981,791	13,34	282,666	428,282	40146,820			
	2	13,83	282,666	394,020	43970,326	12,42	282,666	394,020	29786,350			
	X	13,46	262,109	383,582	41232,234	13,16	274,101	387,167	34633,484			
	S1	0,812	27,557	15,700	9799,430	0,407	20,540	51,501	6128,716			
	S2	0,621	19,905	25,572	8393,935	0,599	19,905	59,714	9343,028			
	ST	0,712	23,614	21,745	9045,601	0,523	20,189	56,212	8074,002			
	CV1%	6,031	10,514	4,104	23,766	3,067	7,493	13,302	17,696			
	CV2%	4,613	7,594	6,684	20,358	4,520	7,262	15,423	26,977			
	CVT	5,291	9,009	5,684	21,938	3,941	7,366	14,519	23,313			
	Q	0,713	24,226	13,802	8614,809	0,358	18,057	45,257	5387,835			
	P	5,302	9,243	3,608	20,893	2,696	6,588	11,694	15,557			

Fuente; Elaboración propia, 2018

CUADRO Nro.4

RESULTADOS ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA											
ESTADO SECO AL AIRE											
ARBOL	PROBETA	PEGAMENTO 1						PEGAMENTO 2			
		CH %	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)	CH %	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)
1	1	13,01	171,313	269,206	15573,905	12,71	195,786	256,969	16662,659		
	2	11,73	183,550	256,969	10488,549	13,13	183,550	238,614	15960,835		
2	1	11,37	171,313	269,206	20394,400	11,30	159,076	244,733	18180,151		
	2	13,76	183,550	232,496	17074,381	12,75	183,550	256,969	13110,686		
3	1	11,80	146,840	244,733	17275,256	13,28	195,786	256,969	14238,999		
	2	12,68	146,840	244,733	15573,905	13,80	195,786	211,694	11814,687		
4	1	13,46	146,840	171,313	15573,905	13,96	171,313	232,904	13177,920		
	2	14,37	195,786	244,733	20080,640	14,02	183,550	264,719	15960,835		
5	1	12,62	208,023	232,496	13868,192	12,81	195,786	226,378	9323,154		
	2	11,53	171,313	244,733	20394,400	13,20	171,313	244,733	14896,779		
	X	12,63	172,537	241,062	16629,753	13,09	183,550	243,468	14332,670		
	S1	1,045	22,397	29,086	3090,838	1,045	13,681	11,132	2484,116		
	S2	1,007	20,107	26,528	3204,373	0,520	12,237	19,712	2662,314		
	ST	1,024	21,155	27,694	3154,417	0,797	12,899	16,460	2584,632		
	CV1%	8,270	12,981	12,066	18,586	7,977	7,454	4,572	17,332		
	CV2%	7,971	11,654	11,005	19,269	3,971	6,667	8,096	18,575		
	CVT	8,106	12,261	11,488	18,969	6,086	7,027	6,761	18,033		
	Q	0,918	19,689	25,570	2717,197	0,918	12,027	9,786	2183,819		
	P	7,270	11,412	10,607	16,339	7,013	6,553	4,020	15,237		

Fuente: Elaboración propia, 2018

CUADRO Nro. 5

RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR					
ARBOL	PROBETA	ESTADO SECO AL AIRE			
		PEGAMENTO 1		PEGAMENTO 2	
		CH %	ELP (Kg/cm2)	CH %	ELP (Kg/cm2)
1	1	12,15	16,32	13,30	16,32
	2	12,55	16,32	11,45	8,16
2	1	12,30	24,47	12,67	16,32
	2	12,84	8,16	12,98	16,31
3	1	11,15	16,32	13,32	16,32
	2	13,35	24,47	12,95	16,32
4	1	13,11	16,31	12,76	32,63
	2	13,21	8,15	12,38	32,63
5	1	13,84	16,32	13,13	8,16
	2	12,52	8,16	13,15	8,16
X		12,70	15,50	12,81	17,13
S1		0,626	4.828	0,480	13.152
S2		0,839	6.825	0,616	2.580
ST		0,752	6.020	0,560	8.977
CV1%		4,929	31.144	3,750	76.765
CV2%		6,608	44.027	4,813	15.061
CVT		5,920	38.833	4,373	52.394
q		0,550	4.244	0,422	11.563
P		4,333	27.397	3,297	67.486

Fuente: Elaboración propia, 2018

CUADRO Nro. 6

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA											
ESTADO SECO AL AIRE											
ARBOL	PROBETA	PEGAMENTO 1						PEGAMENTO 2			
		CH %	RADIAL (Kg/cm2)	TANG. (Kg/cm2)	TRANSV. (Kg/cm2)	CH %	RADIAL (Kg/cm2)	TANG. (Kg/cm2)	TRANSV. (Kg/cm2)		
1	1	13,44	305,92	209,04	377,30	13,44	198,85	183,55	249,83		
	2	12,78	219,24	198,85	280,42	13,28	244,73	173,35	265,13		
2	1	14,11	203,94	219,24	270,23	12,92	285,52	214,14	249,83		
	2	12,81	305,92	234,59	377,30	13,22	265,13	275,32	239,63		
3	1	12,50	260,03	178,45	295,72	13,64	178,45	260,03	265,13		
	2	13,29	173,35	260,03	316,11	12,37	163,16	244,73	290,62		
4	1	13,99	219,24	219,24	260,03	13,20	249,83	244,73	265,13		
	2	14,02	219,24	270,23	254,93	12,62	275,32	178,45	469,07		
5	1	14,35	188,65	219,24	234,54	14,00	254,93	254,93	219,24		
	2	12,52	203,94	224,34	270,23	13,58	188,65	198,85	295,72		
	X	13,38	229,95	223,32	293,68	13,23	230,46	222,81	280,93		
	S1	0,564	39,44	20,807	51,519	0,505	46,142	41,625	70,159		
	S2	0,760	50,654	31,016	47,502	0,473	47,282	34,088	69,592		
	ST	0,680	46,010	26,960	49,327	0,487	46,779	37,625	69,844		
	CV1%	4,187	17,154	9,317	17,542	3,814	20,949	18,682	24,974		
	CV2%	5,639	22,028	13,888	16,175	3,579	21,467	15,299	24,772		
	CVT	5,046	20,009	12,072	16,796	3,686	21,238	16,887	24,862		
	Q	0,496	34,676	18,291	45,291	0,444	40,564	36,593	61,678		
	P	3,681	15,08	8,191	15,422	3,353	18,416	16,423	21,955		

Fuente: Elaboración propia, 2018

CUADRO Nro. 7

RESULTADOS ENSAYO DE CIZALLAMIENTO									
ESTADO SECO AL AIRE									
ARBOL	PROBETA	PEGAMENTO 1				PEGAMENTO 2			
		CH %	RADIAL (Kg/cm2)	CH %	TANG. (Kg/cm2)	CH %	RADIAL (Kg/cm2)	CH %	TANG. (Kg/cm2)
1	1	13,11	38,85	12,73	61,51	13,72	49,21	13,85	60,86
	2	13,59	39,49	13,69	58,27	13,02	48,88	13,06	62,15
2	1	13,25	40,14	13,94	60,54	12,95	51,15	11,64	64,74
	2	13,52	40,47	13,18	59,89	11,52	47,26	12,76	60,54
3	1	11,94	38,52	14,29	56,65	14,30	47,91	13,94	62,48
	2	11,21	43,38	12,91	60,54	14,33	48,56	14,43	64,10
4	1	12,81	41,44	14,26	57,62	13,53	52,12	12,52	58,92
	2	13,58	40,79	15,52	59,24	12,33	51,15	11,93	59,89
5	1	13,07	37,23	14,35	62,15	12,64	46,29	12,16	63,45
	2	12,58	41,76	14,99	56,97	13,86	46,94	12,34	59,24
	X	12,87	40,21	13,99	59,34	13,22	48,95	12,86	61,64
	S1	1,068	1,218	1,053	1,117	1,053	2,573	1,289	2,100
	S2	0,409	2,123	0,735	2,354	0,735	1,303	0,500	2,016
	ST	0,774	1,778	0,890	1,906	0,890	1,971	0,936	2,054
	CV1%	8,299	3,029	7,529	1,882	7,529	5,256	10,017	3,408
	CV2%	3,175	5,280	5,255	3,968	5,255	2,662	3,886	3,272
	CVT	6,018	4,423	6,367	3,213	6,367	4,027	7,279	3,333
	Q	0,939	1,071	0,926	0,982	0,926	2,262	1,133	1,847
	P	7,296	2,663	6,619	1,654	6,619	4,62	8,806	2,996

Fuente: Elaboración propia, 2018

CUADRO Nro. 8

RESULTADO TOTAL DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

ENSAYOS	PEGAMENTO 1 CARPICOLA			PEGAMENTO 2 FORTEX A 20		
	Elp	Mor	Moe	Elp	Mor	Moe
Flexión Estática	262,109	383.582	41232,234	274.101	387.167	34633,484
Compresión Paralela	172,537	241,062	16629,753	183,550	243,468	14332,670
Compresión Perpendicular	ELP			ELP		
	15.50			17.13		
Dureza	Radial	Tang.	Transv.	Radial	Tang.	Transv.
	229.95	223.322	293.68	230.46	22.81	280.93
Cizallamiento Radial	40.21			48.95		
	59.34			61.64		
Cizallamiento Tangencial						

Fuente: *Elaboración propia, 2018*

En el siguiente cuadro se detalla los resultados de los respectivos ensayos realizado con los dos tipos de pegamentos cabe resaltar que los resultados obtenidos están en unidades de Kg/cm².

5 RESULTADOS

5.1 Propiedades Mecánicas

En primer lugar, se presenta los cálculos de los datos obtenidos en los ensayos, para luego realizar el análisis estadístico correspondiente, lo que permite utilizar con confiabilidad y proponer los usos adecuados de la madera laminada encolada (MLE) para la especie en estudio. Timboy (*Enterolobium contortisiliquum* Vell. morong) con 2 tipos de colas vinílicas.

- **Pegamento 1**
"CARPICOLA" PEGAMENTO VINÍLICO PARA CARPINTERÍA (MONOPOL)
- **Pegamento 2**
COLA VINILICA A20 "FORTEX"

A continuación, se presentan los promedios del contenido de humedad, como también los resultados de todos los ensayos realizados con los dos tipos de pegamentos:

a) Flexión Estática

Ensayo realizado de acuerdo a la norma COPANT 455, se obtuvieron los siguientes resultados:

PEGAMENTO 1 "CARPICOLA"			
ESTADO Seco al aire	ELP Kg./cm²	MOR Kg./cm²	MOE Kg./cm²
% Humedad (13,46%)	262,109	383,582	41232,234

Fuente: Elaboración propia, 2018

PEGAMENTO 2 COLA VINÍLICA A20 FORTEX			
ESTADO Seco al aire	ELP Kg./cm²	MOR Kg./cm²	MOE Kg./cm²
% Humedad(13,16%)	274,101	387,167	34633,484

Fuente: Elaboración propia, 2018

b) Compresión Paralela al Grano

Ensayo realizado de acuerdo a la norma COPANT 464, se obtuvieron los siguientes resultados:

PEGAMENTO 1 "CARPICOLA"			
ESTADO Seco al aire	ELP Kg./cm²	MOR Kg./cm²	MOE Kg./cm²
% Humedad (12,63 %)	172,537	241,062	16629,753

Fuente: Elaboración propia, 2018

PEGAMENTO 2 COLA VINILICA A20 FORTEX			
ESTADO Seco al aire	ELP Kg./cm²	MOR Kg./cm²	MOE Kg./cm²
% Humedad (13,09 %)	183,55	243,468	14332,67

Fuente: Elaboración propia, 2018

c) Compresión Perpendicular al Grano

Ensayo realizado de acuerdo a la norma COPANT 466, se obtuvieron los siguientes resultados:

PEGAMENTO 1 "CARPICOLA"	
ESTADO Seco al aire	ELP Kg./cm ²
% Humedad (12,70%)	15,50

Fuente: Elaboración propia, 2018

PEGAMENTO 2 COLA VINÍLICA A20 FORTEX	
ESTADO Seco al aire	ELP Kg./cm ²
% Humedad (12,81%)	17,13

Fuente: Elaboración propia, 2018

d) Dureza

Ensayo realizado de acuerdo a la norma COPANT 465, se obtuvieron los siguientes resultados:

PEGAMENTO 1 "CARPICOLA"			
ESTADO Seco al aire	RADIAL Kg./cm²	TANGENCIAL Kg./cm²	TRANSVERSAL Kg./cm²
% Humedad (13,38%)	229,95	223,32	293,68

Fuente: Elaboración propia, 2018

PEGAMENTO 2 COLA VINÍLICA A20 FORTEX			
ESTADO Seco al aire	RADIAL Kg./cm²	TANGENCIAL Kg./cm²	TRANSVERSAL Kg./cm²
% Humedad (13,23%)	230,46	222,81	280,93

Fuente: Elaboración propia, 2018

e) Cizallamiento

Ensayo realizado de acuerdo a la norma COPANT 463, se obtuvieron los siguientes resultados:

PEGAMENTO 1 "CARPICOLA"		
ESTADO Seco al aire	RADIAL Kg./cm²	TANGENCIAL Kg./cm²
%Humedad (12,87 %)	40,21	Humedad (% 13,99) 59,34

Fuente: Elaboración propia, 2018

PEGAMENTO 2 COLA VINÍLICA A20 FORTEX		
ESTADO Seco al aire	RADIAL Kg./cm²	TANGENCIAL Kg./cm²
%Humedad (13,22 %)	48,95	Humedad (% 12,86) 61,64

Fuente: Elaboración propia, 2018

5.2 Discusión

Para la discusión del presente estudio de las Propiedades mecánicas de madera laminada encolada de la especie Timboy (*Enterolobium contortisiliquum*Vell. morong) Proveniente de la comunidad de Zapatera, se comparó con los datos obtenidos de madera maciza realizados por Aquilina Zurita Mamani en la tesis titulada Determinación de las Propiedades Mecánicas del Timboy (*Enterolobium Contortisiliquum Morong*) de la Zona del Cantón de Chiquiaca, Provincia O'Connor en agosto del 2009. Ambos estudios realizados, utilizaron como base metodológica las normas COPANT Maderas.

A continuación, se presenta un cuadro con la comparación de valores obtenidos en Madera Laminada Encolada y Madera Maciza.

Cuadro Nro. 9

**TABLA DE COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROBETAS ENCOLADAS
Y PROBETAS DE MADERA MACIZA DE TIMBOY**

ENSAYOS	RESULTADOS DE ENSAYOS									
	PEGAMENTO 1 CARPÍCOLA			PEGAMENTO 2 FORTEX A20			MADERA MACIZA TESIS AQUILINA			
	ELP	MOR		ELP	MOR		ELP	MOR		MOR
FLEXION	262,109	383,582		274,101	387,167		284,43			408,21
COMPRESION PARALELA	172,537	241,062		183,55	243,468		186,80			246,11
COMPRESION PERPENDICULAR			ELP		ELP					ELP
	15,50			17,13			18,00			
DUREZA	RADIAL	TANG.	TRANSV.	RADIAL	TANG.	TRANSV.	RADIAL	TANG.	TRANSV.	TRANSV.
	229,95	223,32	293,68	230,46	222,81	280,93	276,65	220,36	332,48	
CIZALLAMIENTO RADIAL	40,21			48,95			59,76			
CIZALLAMIENTO TANGENCIAL	59,34			61,64			82,40			

Fuente: Elaboración propia, 2018

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En base a los resultados y cumpliendo los objetivos planteados en el presente estudio, de la especie Timboy (*Enterolobium contortisiliquum* Vell. morong) 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) y conociendo la Densidad $0,38 \text{ g/cm}^3$ que presenta la madera de esta especie Timboy. Podemos decir:

a) FLEXIÓN ESTÁTICA:

PEGAMENTO 1 (CARPICOLA MONOPOL)

De acuerdo al Módulo de Ruptura se obtuvo un valor de $383,582 \text{ kg/cm}^2$ clasificándose como madera de *BAJA RESISTENCIA* a la flexión estática (Fromet 1954), las fallas que se observaron en las probetas ensayadas fueron las siguientes: Tracción de grano entrecruzado 70% y falla de Tracción simple 30%.

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 13,46%.

PEGAMENTO 2 (FORTEX A20)

En el ensayo con el pegamento 2 el Módulo de Ruptura (MOR) que se obtuvo fue de $387,167 \text{ kg/cm}^2$ clasificándose como madera de *BAJA RESISTENCIA* a la flexión estática (Fromet 1954), las fallas que se observaron en las probetas ensayadas fueron las siguientes: Tracción de grano entrecruzado 60% y falla de Tracción simple 40%.

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 13,16%.

b) COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO

PEGAMENTO 1 (CARPICOLA MONOPOL)

En este ensayo de acuerdo al Módulo de Ruptura (MOR) con un valor obtenido de $241,62 \text{ kg/cm}^2$ se clasifica como madera de *RESISTENCIA MEDIA* (Fromet 1954), las

fallas que se observaron en las probetas ensayadas fueron las siguientes: Aplastamiento en un 100%.

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 12,63%.

PEGAMENTO 2 (FORTEX A20)

Este ensayo de acuerdo al Módulo de Ruptura (MOR) con un valor obtenido de 243,468 kg/cm² se clasifica como madera de *RESISTENCIA MEDIA* (Fromet 1954), las fallas que se observaron en las probetas ensayadas fueron las siguientes: Aplastamiento en un 100%.

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 13,09%.

c) COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO

PEGAMENTO 1 (CARPICOLA MONOPOL)

El resultado que se presenta en este ensayo es de 15,50 kg/cm², el cual le confiere una clasificación de *BAJA RESISTENCIA* a la penetración de materiales externos (Fromet 1954).

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 12,70%.

PEGAMENTO 2 (FORTEX A20)

Para este ensayo con el pegamento 2 el resultado es de 17,13 kg/cm², el cual lo clasifica como madera de *BAJA RESISTENCIA* a la penetración de materiales externos (Fromet 1954).

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 12,81%.

d) DUREZA

PEGAMENTO 1 (CARPICOLA MONOPOL)

El resultado de estos ensayos obtenidos en probetas secas al aire, presentaron los siguientes valores en sus caras radiales, 229,95 kg/cm² en sus caras tangenciales 223,32

kg/cm² y en la parte Transversal 293,68kg/ cm², que según la tabla de clasificación (Fromet 1954) es de BAJA RESISTENCIA a la penetración.

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 13,38%.

PEGAMENTO 2 (FORTEX A20)

El resultado obtenido con este pegamento presenta los siguientes valores en sus caras radiales, 230,46 kg/cm² en sus caras tangenciales 222,81 kg/cm² y en la parte Transversal 280,93 km/ cm², que según la tabla de clasificación (Fromet 1954) es de BAJA RESISTENCIA a la penetración.

El contenido de humedad promedio en este ensayo fue 13,23%.

c) CIZALLAMIENTO

PEGAMENTO 1 (CARPICOLA MONOPOL)

El ensayo nos indica la resistencia de la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en direcciones opuestas, como resultados promedios en condiciones secas al aire, del esfuerzo de ruptura son de 40,21 kg/cm² en sus caras radiales, y un valor de 59,34 kg/cm² en sus caras tangenciales, lo cual la clasifica según el rango (Fromet 1954) como una madera de *BAJA RESISTENCIA AL CORTE*. Cabe destacar que todos los ensayos para cizallamiento se hicieron sobre la línea de encolado en el caso de las probetas tangenciales.

PEGAMENTO 2 (FORTEX A20)

Como promedios con este pegamento obtuvimos los siguientes resultados del esfuerzo de ruptura: 48,95 kg/cm² en sus caras radiales, y un valor de 61,64 kg/cm² en sus caras tangenciales, lo cual la clasifica según el rango (Fromet 1954) como una madera de *BAJA RESISTENCIA AL CORTE*. Cabe destacar que todos los ensayos para cizallamiento se hicieron sobre la línea de encolado en el caso de las probetas tangenciales.

Nota: cabe resaltar que ninguno de los ensayos ocurrió delaminación (separación de láminas en la línea de encolado)

Las determinaciones de los usos más adecuados están de acuerdo a los valores obtenidos en los diferentes ensayos y a las “tablas de requisitos que deben reunir las maderas según sus usos”, es así que se sugiere que la madera Laminada Encolada (MLE) de Timboy (*Enterolobium contortisiliquum Vell. morong*) puede ser usada en los rubros, tomando en cuenta sus características como la resistencia mecánica al encolado, textura, comportamiento en el secado etc.

Sus posibles usos son los siguientes

- Carpintería
- Ebanistería
- Obras de torneado y artesanía
- Paredes divisorias
- Paneles

Como conclusión en cuanto a pegamentos podemos mencionar que El pegamento vinilico FORTEX A 20 demostró una mayor resistencia mecánica tomando en cuenta los resultados de los diferentes ensayos y una adherencia optima entre lamina ya que ninguna sufrió delaminación en ninguno de los ensayos realizados.

En cuanto a la Carpicola monopol podemos concluir que tambien demostro tener buena adherencia entre lamina, pero su resistencia mecánica fue un poco menor en la mayoria de los ensayos a comparacion del otro pegamento.

Ambos pegamentos demostraron una muy buena adhesión de laminas pero con diferencias en cuanto a valores de resistencia mecánica por lo que se podría atribuir a los compuestos que contienen dichos Pegamentos en su composición dando mayor rigidez al Producto.

6.2 Recomendaciones

Después de haber realizado los ensayos y elaboración de probetas de madera laminada encolada (MLE) de la especie Timboy (*Enterolobium contortisiliquum Vell. morong*) podemos recomendar los siguiente:

- Se recomienda utilizar el Pegamento vinilico Fortex A20 de acuerdo a los resultados obtenidos porque demostró una mejor adhesión en las laminas encoladas ya que aumenta poco más la resistencia, también es recomendable por tener un periodo de secado más rápido.
- La cantidad de adhesivo FORTEX A20 a aplicar depende de los materiales a encolarse, siendo suficiente una capa muy fina para materiales no porosos.
- Para tener líneas de encolado satisfactorias se recomienda que el contenido de humedad de la madera en el momento de realizar el encolado debe ajustarse entre un 12% y un 17%.
- Al momento del prensado de las láminas de madera laminada encolada evitar en excesivo lagrimeo de pegamento ya que esto puede incurrir en la perdida excesiva de pegamento y no lograr un óptimo encolado entre láminas de madera.
- Se recomienda que antes de hacer la unión de encolado verificar que las partes a unir deben estar limpias libre de aserrín, polvo, o otras sustancias que comprometan el correcto encolado.
- Al momento de elaborar elementos de madera laminada encolada se recomienda no realizar el cepillado las caras a encolar, debido a que el cepillado disminuye la adherencia específica entre el pegamento vinílico y la cara de encolado y la adherencia mecánica entre láminas a encolar.
- Se recomienda realizar ensayos de otras especies para poder tener más datos e información de cómo se comportan a los ensayos de propiedades mecánicas de madera laminada encolada.