

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La madera es material complejo, con unas propiedades y características que dependen no solo de su composición, también de constitución. Debemos recordar la madera no es material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos, que permite formar la estructura resistente del árbol. (Calderón, 2022)

Para el uso correcto de la madera requiera del conocimiento de sus características anatómicas y de sus propiedades físicas y mecánicas. Estas propiedades varían de una especie a otra, incluso en una misma especie puede existir diferencias entre arboles diferentes, piezas de un mismo árbol o de diferentes zonas. Las propiedades mecánicas están afectadas por serie de características fundamentales, donde el contenido de humedad de la madera es central. También, las propiedades mecánicas definen el comportamiento, aptitud y capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas externas. Los valores de resistencia tienen gran importancia en las aplicaciones de la madera en la construcción, especialmente en el dimensionado de las diferentes piezas según su resistencia y deformación. (Mercedes M. 2012)

La propiedad mecánica de la madera depende la especie botánica del árbol y de las condiciones de crecimiento de este, puesto que estos factores determinan la velocidad de crecimiento y la presentación de defectos. (Morin, 2018)

Por otra parte, las características de la madera varían según su contenido de humedad, la duración de la carga y la calidad de la madera (dureza, densidad, defectos...). Las características mecánicas de la madera pueden ser analizadas a través de la orientación de las fibras paralelas y las fibras perpendiculares. (Morin, 2018)

La caracterización mecánica puede realizarse basándose en el empleo de piezas de tamaño real, la cual aporta datos sobre la calidad verdadera actualmente existente en el mercado, pero poco se dice del potencial real de una madera en la que los tratamientos silvícolas hubieran sido los ideales. (Prieto, 2001)

Una segunda caracterización, más científica que real, se efectúa tradicionalmente mediante el uso de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos. Caracterización de este tipo nos sobre cuáles podrían ser los valores de resistencia de una madera. (Prieto, 2001)

1.2 JUSTIFICACIÓN

La madera ha sido para el hombre un elemento de vital importancia puesto que este material natural le ha brindado innumerables beneficios, actualmente, numeroso material ha ido remplazando a la madera en diversas funciones, pero ninguno de estos materiales se puede comparar con la belleza y estética que la madera nos puede ofrecer. Es que por esta situación el hombre desde hace mucho tiempo viene empleando y utilizando este recurso, nuestro país se ha caracterizado por hacer una explotación selectiva de ciertas especies, llegando en algunos casos a extinguirlas de algunas zonas y poniendo en peligro especies muy valiosas que ya no pueden ser aprovechadas, pero la demanda por la madera sigue aumentando.

Es por esta razón se requiere estudios de nuevas especies que se presentan en nuestro país para suplir la demanda, en este caso de la Quina Blanca que ya actualmente está siendo aprovechada.

Al determinar las propiedades mecánicas de la especie Quina blanca, se contará con una información técnica, necesaria para el diseño estructural en madera, como el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura en flexión, así como de los esfuerzos de compresión y de corte.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas de la especie Quina blanca (*Lonchocarpus lilloi*-(Hassler) Burkart), proveniente de la comunidad de Chiquiaca Norte, municipio de Entre Ríos, departamento de Tarija, mediante la aplicación de las normas COPANT MADERAS.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar las propiedades mecánicas de la especie Quina blanca ***Lonchocarpus lilloi (Hassler) Burkart***, en base a las normas COPANT MADERAS:

- Cizalladura (COPANT 463)
- Compresión paralela al grano (COPANT 464)
- Dureza (COPANT 465)
- Compresión perpendicular al grano (COPANT 466)
- Flexión estática (COPANT 555)
- Extracción de calvos (COPANT 744)
- Tracción paralela a las fibras (COPANT)

CAPITULO II

2.1. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1.1. Descripción botánica

Es un árbol mediano, que alcanza de 15 a 20 metros de altura. Con un tronco recto y cilíndrico de 50 cm de diámetro, de corteza delgada grisácea oscura, lenticelada. Hojas alternas pinnaticompuestas, con 5-7 folíolos opuestos de borde entero. Las flores son pequeñas azuladas-violáceas, en racimos axilares. El fruto es una vaina alargada coriácea, castaña a la madurez y semillas de una a numerosas. (Altamirano & Lara Rico, 1992)

2.1.2. Taxonomía

Reino: Vegetal

Phylum: Telemophytae

División: Tracheophytae

Sub división: Anthophyta

Sub clase: Dicotyledoneae

Grado evolutivo: Archichlamydeae

Grado de ordenes: Corolinos

Orden: Rosales

Familia: Leguminosae

Sub familia: Papilionoideae

Nombre científico: *Lonchocarpus lilloi (hassler) burkart*

Nombre común: Quina blanca

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2022

2.1.3. Morfología

2.1.3.1. Forma del tronco y la copa

La forma del tronco recto y cilíndrico, de diámetro de 50 cm, corteza grisácea oscura, lenticelada, ramas inermes. (Fernández, 2012)

2.1.3.2. Corteza y madera

La especie *lonchocarpus lilloi*, presenta una corteza, grisácea oscura, lenticelada, el duramen es de color blanco amarillento; no está claramente demarcado de la albura. El grano es irregular; no hay sabor o aroma distintivo, anillos de crecimiento claramente diferenciados por un espaciamiento de las bandas de parénquima axial. La madera es duradera; funciona bien y produce un buen acabado. Se utiliza en la construcción y para la fabricación de muebles. (Ken Fern, 2014)

2.1.3.3. Hojas

Presenta hojas compuestas de 4 a 6 folíolos opuestos y un folíolo terminal.

2.1.3.4. Flores

En racimos axilares con flores zigomorfas azul-violáceas.

2.1.3.5. Frutos

Fruto vaina coriácea y semillas de 1 a numerosas

2.1.4. Características ecológicas

2.1.4.1. Distribución

Se encuentra distribuida en América del Sur, donde más abunda la especie *lonchocarpus lilloi*, son los países en Argentina y en Bolivia, su habita es en bosques húmedos.

Presente en los departamentos de Chuquisaca y Tarija desde los 235 hasta los 1500 m s.n.m.

2.1.4.2. Usos y aplicaciones de la madera

Es apta para vigas, carrocerías y plataformas de automotores, torneado, piso parquet, molduras, marcos de puertas y ventanas.

2.1.5. Propiedades mecánicas de la madera

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

Existe diferentes tipos de esfuerzos a los que puede estar sometida una pieza de madera: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, dureza, cizallamiento, tracción, extracción de clavos. (paco 2005)

La madera se comporta de manera diferente a otros materiales desde el punto de vista mecánico, esencialmente debido a su anisotropía (variaciones de la resistencia mecánica). En la madera se pueden reconocer tres direcciones entre sí denominadas: longitudinal, tangencial y radial. Pero en la práctica se consideran dos direcciones principales: la longitudinal o paralela al grano y la transversal o perpendicular al grano. (Nevado, 2003)

Las principales cualidades mecánicas que se estudian en las maderas son:

- Flexión estática
- Compresión paralela al grano
- Compresión perpendicular al grano
- Dureza
- Cizallamiento radial y tangencial
- Extracción de clavos
- Tracción paralela a las fibras

2.1.5.1. Contenido de humedad

Es la cantidad de agua que contiene la madera, expresada en porcentaje. La variación del contenido de humedad en la madera, produce una variación de sus dimensiones; cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae a partir del punto de saturación de las fibras. (Associats, 2014)

El contenido de humedad influye en el peso de la madera, a la vez que afecta a otras propiedades físicas (como el peso específico y contracción o hinchamiento de sus dimensiones. Respecto al comportamiento, la humedad es un factor determinante en su

durabilidad, resistencia, peso y sobre todo en sus dimensiones, se hincha cuando gana humedad y contrae cuando la pierde humedad. (Associats, 2014)

2.1.5.2. Flexión estática

“Es la resistencia a una carga que actúa en una viga, dependerá de los defectos de crecimiento (nudos, desviaciones de fibras, etc.) y varios factores”. La resistencia a la flexión de la madera es muy elevada, sobre todo comparada con su densidad. (Cartelle (2009)

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 ensayo de la flexión estática es un paso importante para el estudio comparativo de las especies maderables, pues pone de relieve importantes y numerosas propiedades indicativas de las maderas.

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

La flexión estática se expresa en los siguientes valores:

- **El esfuerzo de las fibras en el límite proporcional (ELP)**

Esfuerzo que se produce en las fibras de una viga sometida a tensión y compresión hasta la larga al límite proporcional, es decir hasta cuando deja de existir una correlación lineal entre el esfuerzo y la deformación. También se los 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 empleado la carga máxima, en vez de la carga en el límite proporcional.

- **Módulo de elasticidad (MOE)**

Es las medidas de la rigidez o resistencia a la flexión, cuando mayor es el MOE, menor es la deformación.

2.1.5.3. Compresión paralela al grano

“Viene a ser la resistencia a una fuerza actuando en dirección paralela a las fibras, importante en la construcción de puntales y columnas”. Aróstegui (1975)

Cartelle (2009) indica que, a mayor densidad, mayor resistencia (relación lineal con la densidad). Resistencias altas a la compresión paralela será fundamental para su uso estructural (pilares, montantes, etc.) pero no para chapas o ebanistería. Una resistencia media también es apta para los usos en carpintería interior. (Jauregui Socualaya, 2019)

- **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.

2.1.5.4. Compresión perpendicular al grano

Aróstegui (1975) refiere que, “es la resistencia de la madera a una carga en dirección perpendicular a las fibras, carga que es ilimitada al tratar de romper la madera, pero si logrando comprimirla y disminuyendo su espesor, logrando ser más apta para soportar una mayor carga”.

La compresión perpendicular a las fibras, es la resistencia que ofrece la madera a la carga que es ejercida sobre ella, tiene una gran importancia en las construcciones como ser (vigas), en los que se transmite cargas mediante piezas de madera, ésto se puede observar en los durmientes, donde se realiza una compresión normal al grano o fibras. Puede resistir grandes cargas sin que se produzca una ruptura en la madera, al comprimirse va disminuyendo de espesor, aumenta su densidad, razón por la que se hace más resistente para soportar cargas mayores. (Ibarra, 1993).

2.1.5.5. Dureza

Es la resistencia opuesta por la madera a la penetración o rayado. Interesa por lo que se refiere a la facilidad de trabajo con las distintas herramientas y el empleo de la madera en pavimentos. Es mayor la dureza del duramen que la de la albura y la madera vieja que la de la joven. (Arquitectura, 2018)

La dureza es la resistencia de la madera a la abrasión, penetración y compresión que en ella se ejerce. Esta propiedad depende por lo general de la cohesión de las fibras y su estructura y consiste en la mayor o menor dificultad puesta por la madera a la penetración de otros cuerpos. (Ibarra1993).

La dureza 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. En otro sentido, las maderas duras son más difíciles de aserrar y clavar, causando mayor tendencia a rajarse, en esta última operación. La dureza es un factor positivo en material para pisos, mueblería y para la selección de maderas destinadas a marcos de puertas, ventanas, umbrales y en general en sitios de vivienda en que la madera está sujeta a un desgase pronunciado.

El tipo de maderas medianamente duras son preferidas en el comercio debido a su baja y uniforme dureza, y la facilidad con que estas maderas pueden aserrarse y clavarse dan hecho que ocupen un lugar preferencial para usos generales.

Esta propiedad guarda estrecha relación con el peso específico. Su conocimiento es importante para la selección de las máquinas a usar para trabajar la madera (Ibarra1993).

2.1.5.6. Cizallamiento

El esfuerzo de cizallamiento es una medida de la capacidad de la madera para resistir fuerzas que tienden a producir deslizamientos de un plano interno de la madera sobre su plano adyacente. Los esfuerzos de cizallamiento tienen lugar, en mayor o menor grado, en casi todos los usos de la madera, y se clasifican de acuerdo a la dirección en que la fuerza actúa respecto a los planos estructurales de la madera. (JOSÉ FRANCO ALVIS-GORDO, 2017)

La prueba de cizallamiento es cuando la resistencia de la madera se manifiesta al corte por las acciones de dos fuerzas paralelas, pero en sentido contrario. Este típico ensayo puede observarse en la práctica en construcciones estructurales de la madera y uniones de vigas.

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.

Como la madera es un material heterogéneo, el esfuerzo al corte toma valores distintos según el requerimiento del cizallamiento sea perpendicular o paralelo a las fibras, y proviene de la capacidad del cementante de las fibras (lignina). Aplicadas las fuerzas en sentido perpendicular a las fibras, la resistencia es de 3 ó 4 veces mayor a la resistencia en el sentido paralelo a las fibras. (Ibarra, 1993).

2.1.5.7. Extracción de clavos

Como principio general las uniones son los eslabones más débiles en toda forma de construcción y tipo de material, siendo por ello muy importante la resistencia que pueda ofrecer una madera a la extracción de clavos, generalmente cuanto más densa sea la madera, mayor será su aptitud para retener clavos, aceptando que la madera no se raje, ésto se basa en la capacidad de retención de los clavos y al esfuerzo requerido para extraerlos. La humedad es un factor muy importante para la resistencia a la extracción; a mayor humedad es menor la resistencia.

Los valores son mayores en la sección transversal (tangencial o radial) que en los extremos de la probeta, debido a que las fibras son normalmente células largas y estrechas con extremos ahusados de longitud muy variable que se encuentran paralelas al eje del árbol; al penetrar el clavo en forma perpendicular a las fibras, éstas proporcionan mayor rozamiento al clavo, que en los extremos.

Otro factor determinante en cuanto el clavo empleado en un ensayo es rugoso o estriado, dándole así mayor adherencia en la madera, por lo tanto, será mayor la resistencia a la extracción que en los clavos lisos.

La resistencia de los clavos a la extracción aumenta directamente con su diámetro. Si el diámetro del clavo es el doble, la resistencia a la extracción será el doble, siempre que el clavo no produzca rajaduras en la madera cuando se lo introduce. (Ibarra 1993).

2.1.5.8. Tracción paralela a las fibras

La resistencia a la tracción, es el esfuerzo máximo al que está sometida la madera, por dos fuerzas de sentido opuesto. Ofrece alta resistencia en la dirección paralela a la fibra. Esta calidad es descendiente en madera estructural según los defectos que posea.

CAPÍTULO III

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1. Descripción del área de estudio

3.1.1.1. Ubicación

El área de estudio está ubicada en la comunidad de Chiquiaca Norte, perteneciente al distrito 5 del municipio de Entre Ríos, provincia O'Connor del departamento de Tarija. Localizada geográficamente entre las coordenadas 21° 49' 20" S de latitud sur y 64° 06' 42" W de longitud oeste a una altura de 500-1500 msnm.

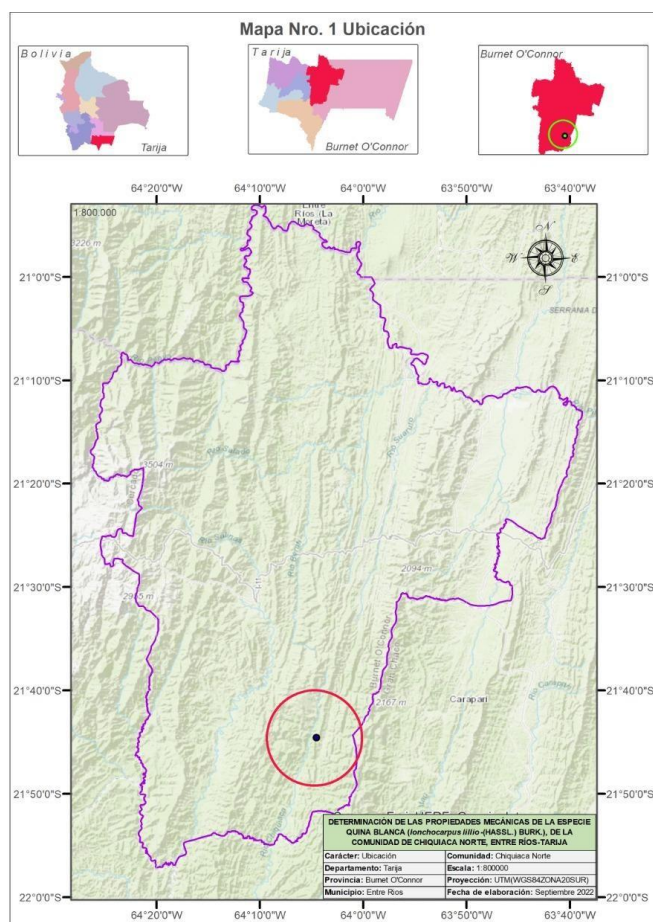


Figura 1. Localización de la zona de obtención de la madera

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2. Accesibilidad

La comunicación vial actual existente de la comunidad de Chiquiaca y el municipio de Entre Ríos, es mediante un camino carretero de tierra y grava, que integra la zona sur del municipio. (Montes, 2021)

Cabe señalar que en tiempo de lluvia se dificulta el acceso por la falta de mantenimiento de los caminos.

3.1.1.3. Uso de la tierra

Por el tipo de vegetación y el clima, en esta provincia fisiográfica la actividad silvopastoril es la que ocupa mayor extensión. La actividad principal es la ganadería extensiva con base en el ramoneo del bosque y de matorrales, pastoreo del estrato herbáceo, y pequeños pastizales dentro del bosque, así como las cimas de serranías. (ZONISIG, 2000)

Por otra parte, el uso agropecuario extensivo es la que predomina en esta parte del municipio de Entre Ríos, con una agricultura tradicional a secano principalmente de maíz, maní, papa, y cítricos, en su mayoría con maquinaria agrícola y empleando otros insumos, La actividad agrícola se combina con la ganadería mixta compuesta por vacunos, ovinos, caprinos, y porcinos. (ZONISIG, 2000)

3.1.2. Características biofísicas

3.1.2.1. Clima

En la comunidad de Chiquiaca no existe estación meteorológica, por lo tanto, se hará referencia a datos de la estación Termo-pluviométrica ubicada en la comunidad de Salinas, que es la zona más próxima al área de estudio. (Montes, 2021)

De acuerdo a los datos registrados en la estación termo-pluviométrica de la comunidad de Salinas, esta zona presenta un clima cálido húmedo, con una temperatura media anual que alcanza los 25.6°C, sin embargo por las condiciones de altura y la diferencia marcada de las estaciones, en la zona la temperatura puede alcanzar valores máximos de hasta 40.9 °C, en las estaciones de primavera y verano, cuando se presentan los denominados surazos, Como una explicación de este fenómeno se puede decir que en el área de estudio los vientos que provienen del Norte o Noroeste son cálidos y secos provocando ocasionalmente temperaturas

superiores a los 40 °C, incluso en los meses de agosto a diciembre, y las precipitaciones varían entre 1200 a 1700 mm anuales. (SENAMHI, 2018)

3.1.2.2. Vegetación

Es un bosque generalmente ralo, el dosel superior alto, el estrato arbustivo y herbáceo es denso. Florísticamente complejo, por estar formado por una mezcla de especies características de los bosques transicionales como *Anadenanthera colubrina* (Cebil colorado), *Diatenopteryx sorbifolia* (Suiquillo, Anco, Quebrachillo), *Trichilia* sp. (Pata de gallo), *Myroxylon peruiferum* (Quina colorada), *Calycophyllum multiflorum* (Palo blanco) y entre otras. (ZONISIG, 2000)

Tabla 1. Especies arbóreas de la zona

Nombre Común	Nombre Científico	Familia
Perilla	<i>Phyllostylon rhamnoides</i> (Poisson) Taub.	Ulmaceae
Aliso	<i>Alnus</i> sp.	Betulaceae
Cedro	<i>Cedrela</i> sp.	Meliaceae
Guaranguay	<i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth.	Bignoniaceae
Carnaval	<i>Cassia carnavall</i> Speg.	Leguminosae
Pácara	<i>Enterolobium</i> <i>contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Leguminosae
Tipa blanca	<i>Tipuana tipu</i> (Beth.)	Leguminosae
Quina blanca	(<i>Lonchocarpus lílloi-</i> (Hassler) Burkart)	Leguminosae
Lapacho rosado	<i>Tabebuia avellanadae</i> (Lorentz ex Griseb.) Mattos	Bignoniaceae
Quina colorada	<i>Miroxylon peruiferum</i> L.	Leguminosae
Nogal silvestre	<i>Juglans</i> sp.	Juglandaceae
Algarrobo	<i>Prosopis</i> sp.	Leguminosae

Palo barroso	<i>Blepharocalix gigantea</i> <i>Lilloi</i>	Myrtaceae
Lapacho amarillo	<i>Tabebuia heteropoda</i> (A.D.C) Sandw.	Bignoniaceae
Roble	<i>Amburana sp.</i>	Leguminoseae
Sahuinto	<i>Myrcianthes sp.</i>	Myrtaceae

Fuente: Elaboración HERBARIO UNIVERSITARIO (T.B).

3.1.2.3. Suelo

Gonzales, (2018), citado por (Montes, 2021); Los suelos presentan características diferentes en cuanto a su estructura es muy encontrar suelos arenosos, francos, franco arcilloso, franco limoso y en las partes más altas suelos muy arcillosos.

3.1.2.4. Relieve

Gonzales, (2018), citado por (Montes, 2021); Está constituido por una serie de serranías altas disectadas paralelas, de rumbo norte a sur atravesadas por ríos que forman valles angostos y anchos este conjunto pertenece a la faja del sub andino.

El área de estudio presenta un paisaje montañoso y sub montañoso con 4 clases de relieves constantes en términos de pendiente, sin embargo, por las características fisiográficas del territorio de esta zona, domina el relieve con pendiente escarpadas a muy escarpadas, es decir con pendientes que van de 30ª 60% y mayores a 60%.

3.1.2.5. Fisiografía

El cantón Chiquiaca fisiográficamente pertenece a la provincia del sub andino, con paisajes de Serranía media con disección moderada. Esta unidad se presenta cubriendo las laderas y cimas entre las comunidades de El Puesto y el cantón Chiquiaca, alcanzando altitudes que oscilan entre los 500 a 2.00 msnm, con presencia de litología, correspondiente a rocas de limonitas, areniscas con algunas intercalaciones de arcillolitas, calizas y otras rocas carbonatadas, relieve con pendiente escarpada a muy escarpada presenta un clima templado semihúmedo, laderas generalmente de disección moderada, cubiertas por un bosque ralo, xeromórfico, deciduo por sequía (Plan de Desarrollo Integral, 2018)

3.1.2.6. Hidrografía

Gonzales, (2018), citado por (Montes, 2021); El cantón Chiquiaca forma parte de sistema hídrico de la cuenca del río Bermejo se abarca la cordillera oriental y la subandina, con afluentes importantes como el río San Bartolo y Río Chiquiaca que drenan sus aguas a esta cuenca.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales de gabinete

Libreta de anotaciones

Materiales de escritorio

Computadora

Calculadora

Planillas de registro

Bibliografía (normas COPANT)

3.2.2. Materiales de campo

Motosierra

Cámara fotográfica

Brújula

Planilla de campo

Otros

3.2.3. Materiales de laboratorio

Balanza electrónica

Estufa eléctrica

Planillas para diferentes ensayos

Prensa AMSLER (con accesorios para diferentes ensayos)

Deflectometro

Vernier

Soporte universal

Probeta de madera

3.2.4. Materiales de aserradero

Sierra sin fin

Sierra circular

Cepilladora

Escuadra de carpintería

Flexómetro

3.3. METODOLOGÍA

El trabajo se realizó bajo la metodología establecida de las Normas Técnicas de la Comisión Panamericana (COPANT) Maderas, la cual se emplea para determinar las propiedades mecánicas de la madera Quina Blanca, proveniente del municipio de Entre Ríos, Departamento Tarija.

Las normas que se empleó son:

Tabla 2. Normas para realizar los Ensayos (COPANT 1974).

NORMAS	TEMAS
COPANT 458	Selección y colección de muestras
COPANT 460	Método de determinación del CH
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	Método de tracción paralela a las fibras

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Selección y recolección de muestra

De acuerdo con la norma COPANT 458 se recomienda seleccionar las muestras mediante un sistema de selección al azar, esto, debido a que toda madera presenta variaciones en sus propiedades mecánicas, en árboles, de la misma especie, que se desarrolla en distintos sitios y se ven afectados por diferentes factores como la edad, el diámetro, su altura, diferencias de fibras y de los anillos de crecimiento entre otro.

3.3.2. Selección de la zona

La zona donde se extrajeron los árboles pertenece a la comunidad de Chiquiaca Norte, municipio de Entre Ríos, provincia O'Connor del departamento de Tarija, debido a la existencia de una cantidad significativa de la especie en el bosque.

Se tomará en cuenta la representatividad de la especie en cuanto a sanidad y calidad de los individuos. La zona se dividió en cinco parcelas representativas de 30×30 metros cuadrados.

Para empezar con la instalación, se ubicará un punto de origen, que será en el futuro el vértice o esquina SW (sudoeste) cuyas coordenadas serán (0;0), se tomara las coordenadas geográficas de este punto con GPS; idealmente este punto GPS será tomado en el mismo punto (0;0), pero por problemas de visibilidad no siempre es posible; por lo tanto, el punto GPS se tomara en el lugar más cercano al vértice, de ser así se debe determinar la distancia y azimut desde el punto (0;0) al punto GPS.

A partir del punto (0;0) se abrirán dos picas, una con rumbo Este y otra con rumbo Norte hasta alcanzar los 30 metros. Para evitar malos cierres de las parcelas, los rumbos deben ser controlados, desde el inicio, con brújula y ajustados con la declinación magnética.

Sobre las picas se dejará jalones o estacas cada 10 metros pintados o con un pedazo de cinta flagging (plástico de un color adecuado) amarrados al jalón donde se indique el valor de la distancia acumulada.

En las parcelas seleccionadas se realizará un censo total de especies arbóreas

3.3.3. Selección de los arboles

En cada parcela elegida al azar se seleccionó 1 árbol, tomado en cuenta la sanidad, buen fuste y el diámetro de 1,30 metros a la altura del pecho. Se tomaron las coordenadas de cada árbol utilizando el GPS.

Tabla 3. Datos dasométricos de los arboles

N° Árbol	DAP (cm)	AT (m)	AC (m)	Estado sanitario		
				1	2	3
I	50	25	8		x	
II	42	28	10	x		
III	40	28	9	x		
IV	35	25	9		x	
V	45	25	12	x		

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Selección de la troza

De los árboles que fueron tumbados, sus fustes fueron dividido en secciones de 1,20 m de longitud, de las cuales cada sección será marcada en ambos extremos para facilitar su identificación. La troza se eligió por sorteo, anotando los datos de cada troza en las planillas.

El fuste fue dividido en 5 secciones de 1.20 m, para poder obtener una sección diferente de cada árbol.

3.3.5. Sección de las trozas

Se realizó el apeo, desramado y se dividió el fuste en secciones de 1.20 m, los cuales fueron marcados con pintura desde la parte inferior a la superior de la troza, para poder identificarlos rápidamente. Las trozas se seleccionaron por sorteo, anotando los datos de cada troza en las planillas.

El fuste se dividió en 5 secciones de 1.20 m, para poder obtener una sección diferente de cada árbol.

Tabla 4. Selección de las trozas

N° Árbol	Secciones
I	D
II	E
III	C
IV	A
V	B

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Selección de la vigueta dentro de la troza

Las viguetas se obtendrán de los tablones centrales y laterales, las cuales serán de 100 cm de sección longitudinal, 6 cm de sección transversal teniendo en cuenta la escuadría adecuada para una buena orientación de los anillos de crecimiento, y dirección de las fibras para que posteriormente se pueda darle sección transversal será de 5×5 cm.

3.3.7. Tratamiento profiláctico

Una vez obtenidos los tablones centrales en el aserradero, se procederá inmediatamente al limpiar el aserrín que queda después del corte, para evitar el ataque de insectos u hongos con los diferentes tratamientos como recomienda la norma.

3.3.8. Obtención de las probetas.

La preparación de las probetas se realizó de acuerdo a las normas correspondientes para cada ensayo y se procedió de la siguiente manera:

- a) Primeramente, se procede a aserrar los tablones centrales de espesor adecuado según el ensayo, para luego ser apilados en un galpón.

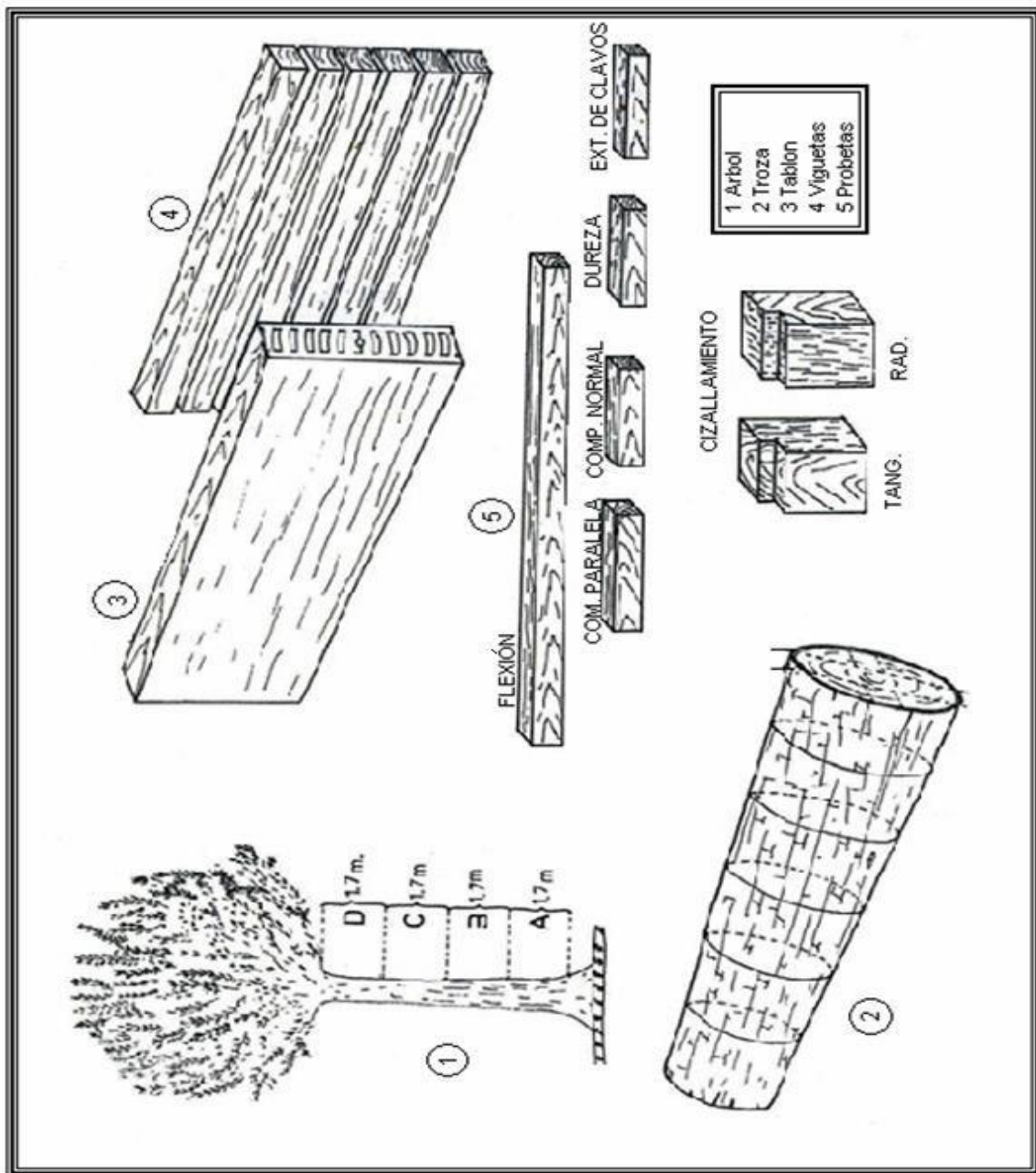


Figura 2. Esquema de obtención de las muestras

b) La obtención de listones para los ensayos en verde, son de 5*5 cm. elegidos al azar, el resto de los listones son para los ensayos de seco al aire, éstos fueron dejados a secar en un galpón al aire libre, hasta llegar a un contenido de humedad adecuada, en ambos ensayos se realizaron estos listones, mediante una sierra sin fin, una groseadora y una máquina cepilladora, tomando siempre la correcta orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras.

- c) Después de un tiempo determinado se comenzó la preparación definitiva de las probetas. Esta etapa es importante y se debe poner cuidado especial en la elaboración de las probetas, ya que una inadecuada orientación de los anillos de crecimiento, como asimismo de la dirección de las fibras traen resultados incorrectos.
- d) Sobre las viguetas (5 x 5 cm. de sección transversal) seleccionadas al azar se procedió a marcar la longitud requerida de las probetas para los diferentes ensayos y se evitaron los defectos que puedan presentarse en la madera (como rajaduras, nudos, pudriciones, etc.).

3.3.9. Codificación de las probetas

Para la codificación de las probetas, se tendrá un registro para cada una de ellas, con la finalidad de facilitar la correcta utilización de los datos a obtenerse en los ensayos, y en el caso de encontrarse fallos, poder remplazar la probeta indicada.

1AIFv4

1=Numero de árbol

A=Troza que puede ser A, B, C, etc.

I=Identificación de la vigueta seleccionada

F=El tipo de ensayo: F (Flexión Estática), CP (Compresión paralela), CPN (Compresión perpendicular), D (Dureza), etc.

V= Indica el estado de la probeta (v estado verde, s estado seco)

3= Numero de las probetas

3.4. MÉTODOS DE ENSAYO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas están relacionadas con la resistencia que ofrecen la madera cuando sobre ellas actúan las cargas externas. Las propiedades mecánicas son determinadas en forma indirecta. Obteniéndose los datos para los respectivos cálculos de los ensayos normalizados sobre pequeñas probetas libres de defectos.

Para la determinación de cada uno de los ensayos, se utilizó 20 probetas en estado verde y 20 probetas en estado seco al aire, obtenidas de 5 árboles de diferentes parcelas. Se utilizó para todos los ensayos la prensa AMSLER de 40 toneladas de capacidad que se encuentra en el laboratorio de tecnología de la madera (Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales), máquina universal de ensayos provista con todos los accesorios necesarios para regular la velocidad de ensayo.

Las probetas para los ensayos en estado verde se colocaron en un recipiente con agua para conservar la humedad hasta el momento del ensayo y previo a cada ensayo se deja escurrir el agua.

Tabla 5. Dimensiones de cada probeta

Ensayo	Dimensiones cm	Cant. Probet. Estado Verde	Cant. Probet. Seco al Aire
Flexión Estática	5x5x75	20	20
Compresión Paralela	5x5x20	20	20
Compresión Perpendicular	5x5x15	20	20
Dureza	5x5x15	20	20
Cizallamiento	5x5x6,3	40	40
Extracción de clavos	5x5x15	20	20
Tracción paralela a las fibras		20	20

Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Método de Determinación de Flexión Estática (COPANT 455)

Serán determinadas según la norma COPANT 455, para lo cual se ensayarán probetas para estado verde y seco al aire, teniendo una sección transversal de 5x5 cm y una longitud de 75 cm.

La probeta es colocada entre dos apoyos cilíndricos, con una luz de 70 cm, y se aplica 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 de 2,5 mm/min.

Las cargas al aplicar serán medidas, como asimismo las deformaciones que presentara dentro del periodo del ensayo, por lo cual se utilizara un deflectometro para lo medición progresiva del periodo elástico, con intervalos de carga hasta el límite de ruptura y deflexión correspondiente, las cuales se registrarán en planillas acondicionadas para el efecto. (COPANT 455)



Foto 1. Ensayo De Flexión Estática

Posteriormente a la esquematización de la falla, de zona más cercana a la ruptura se procederá a realizar un corte de una galleta de 2 cm de espesor para obtener el contenido de humedad para todas las probetas ensayadas (de acuerdo a la norma COPANT 460).

En base a los valores obtenidos se traza la curva carga-deformación de donde se obtendrán los datos necesarios para los cálculos posteriores:

- **Esfuerzo al límite proporcional**

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

Dónde:

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

P_1 = Carga la Límite proporcional

(Kg.) L = Luz de la Probeta (70 cm.) a

= Ancho de la Probeta (cm.) h = Altura

de la Probeta (cm.)

- **Módulo de ruptura**

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

Dónde:

MOR = Módulo de Ruptura (Kg. /cm.²)

P_2 = Carga Máxima (Kg.)

- **Módulo de elasticidad**

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

Dónde:

MOE = Módulo de Elasticidad (Kg. /cm.²) d = Deformación en el

límite proporcional ajustado en el gráfico.

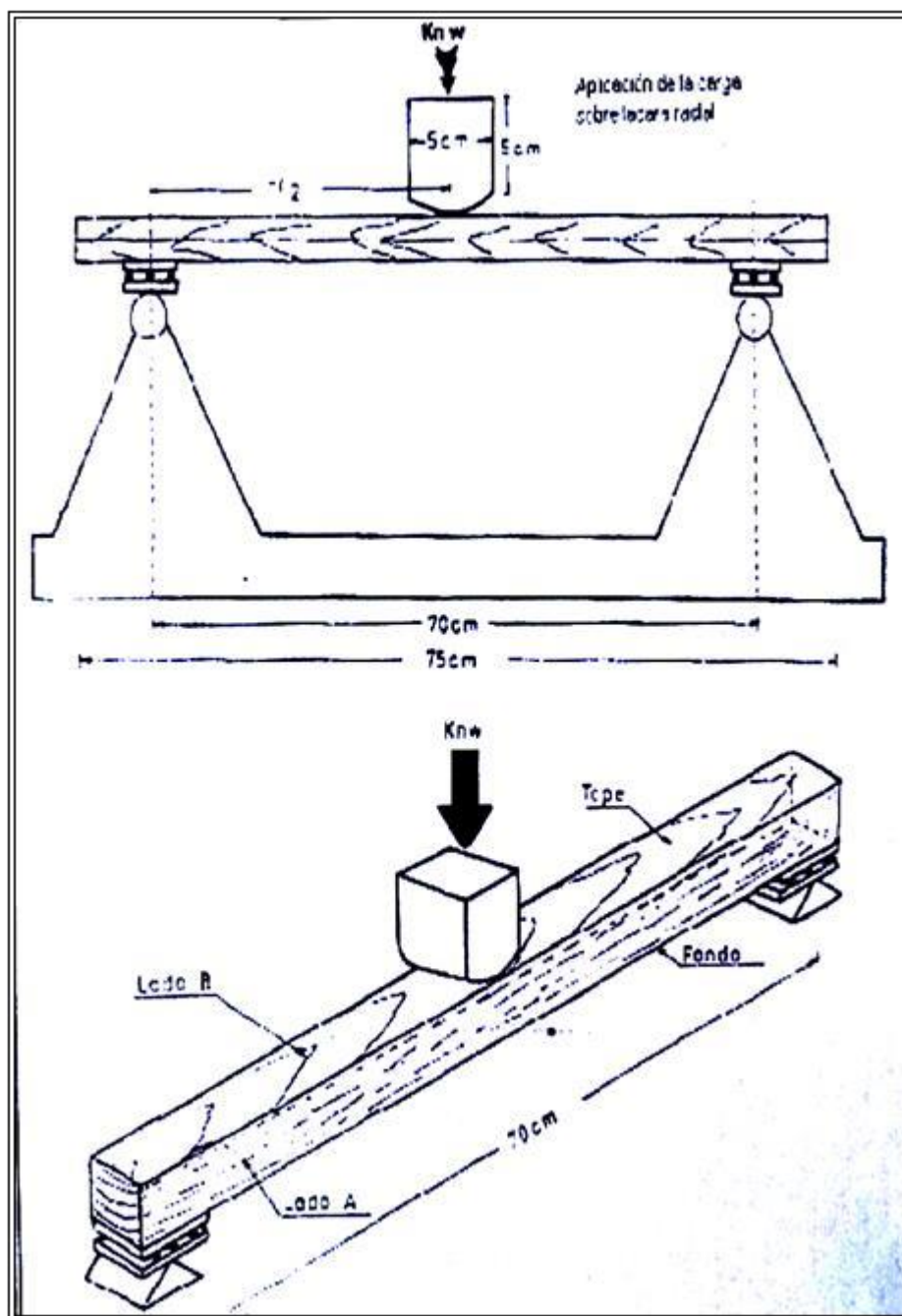


Figura 3. Esquema del Ensayo de Flexión Estática (Cruz 2006)

3.4.2. Método de Determinación de Compresión Paralela al Grano (COPANT 464)

Se realizará el ensayo de acuerdo a la norma COPANT 464 con probetas 5*5*20 cm. de longitud.

En la maquina universal de ensayo se coloca la probeta descansando sobre la base fija de la prensa y en la parte superior se utiliza un plato móvil para compensar posibles pequeñas fallas de escuadría en la sección transversal.



Foto 2. Ensayo de compresión paralela al grano

Luego se aplica sobre la sección transversal de la probeta una carga externa continua de tal manera que el plato móvil avance a una velocidad constante de 0,6 mm/min; a través del deflectometro se mide la deformación producida en la probeta, asimismo se registrara la carga que fue aplicada hasta producir la falla de la probeta. (COPANT 464)



Foto 3. Probeta de paralela al grano

En base a los datos obtenidos se determinará la curva de carga-deformación, para la obtención de diferentes esfuerzos:

- **Esfuerzo al límite proporcional**

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

Dónde:

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

P₁ = Carga la Límite proporcional (Kg.)

A = Área de Comprensión (cm.²)

- **Módulo de ruptura**

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

Dónde:

MOR = Módulo de Ruptura (Kg. /cm.²)

P₂ = Carga Máxima (Kg.)

- **Módulo de elasticidad**

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

Dónde:

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

P₁ = Carga la Límite proporcional (Kg.)

L = Altura (cm.)

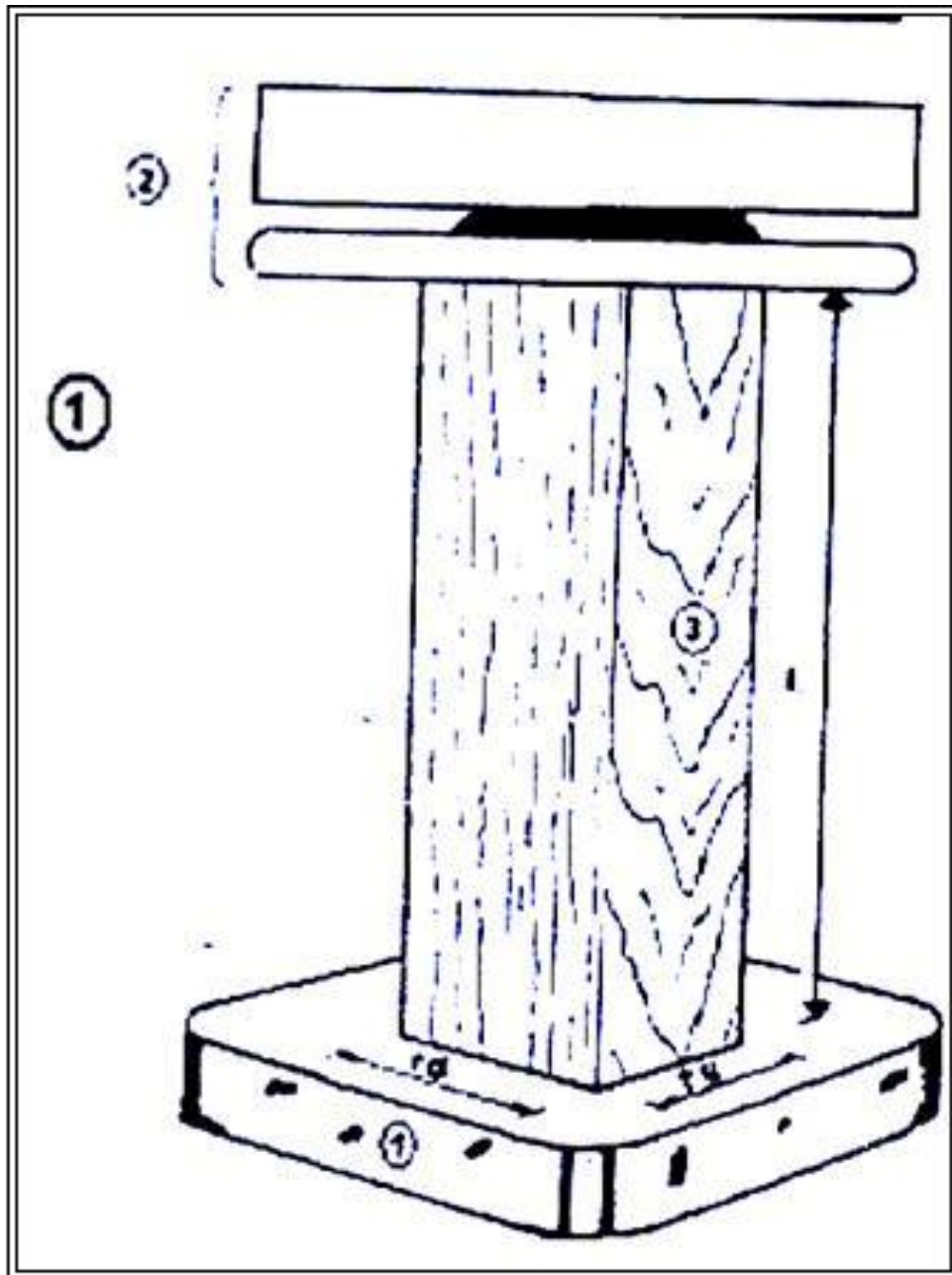


Figura 4. Esquema del Ensayo de Compresión Paralela al Grano

1= Base Fija.

2 = Cabeza o Articulación.

3 = Probeta

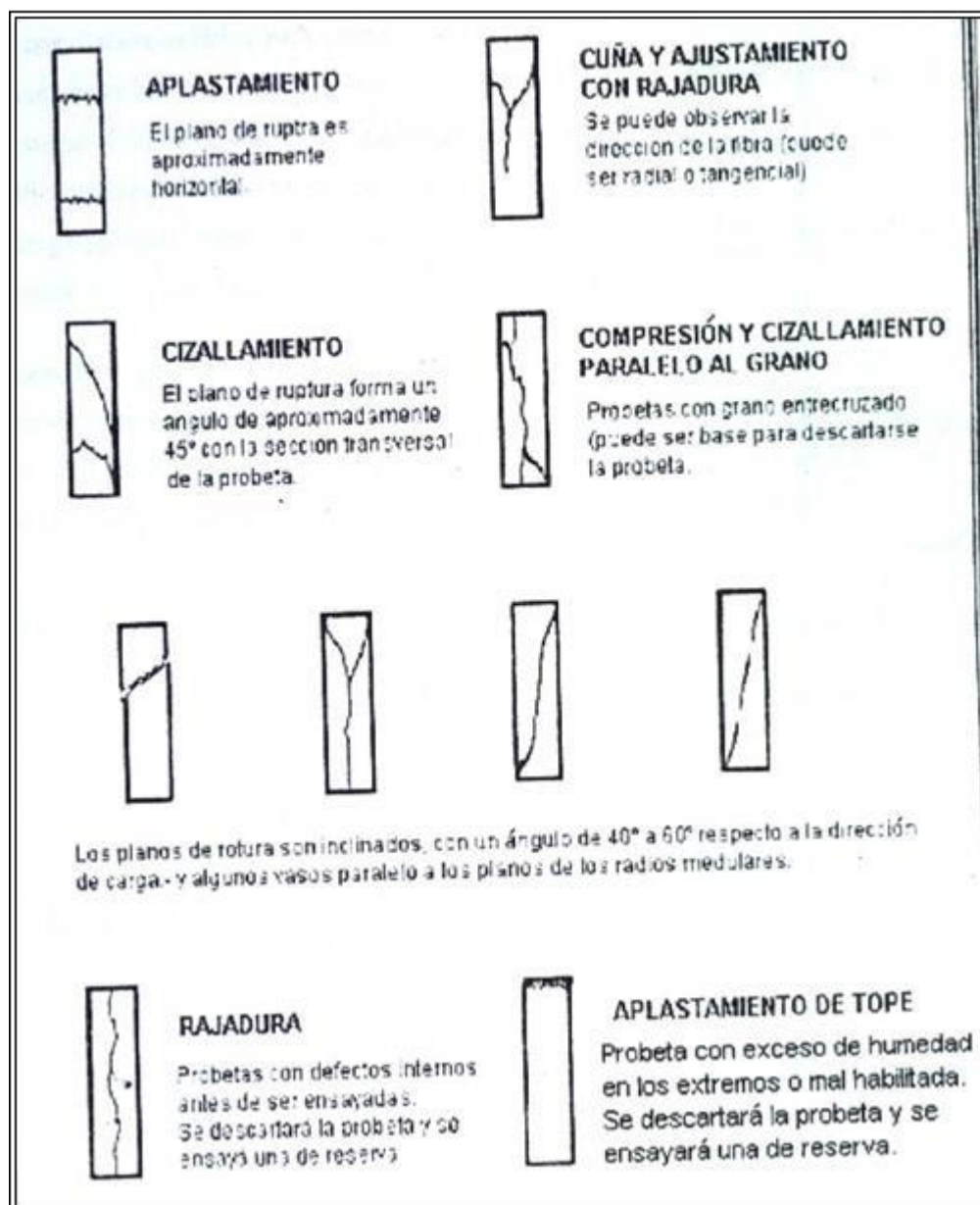


Figura 5. Tipos de Fallas de Compresión Paralela al Grano

3.4.3. Método de Determinación de Compresión Perpendicular al Grano (COPANT 466)

De acuerdo a la norma COPANT 466 se realizó el ensayo con probetas de 5*5*15 cm. de longitud, sobre una base metálica fija se colocó la probeta horizontalmente, para luego aplicar una fuerza de compresión transmitida por un plato móvil a través de un bloque metálico de

aproximadamente 5*5cm. de sección transversal ubicado sobre la cara radial de la probeta, con una velocidad uniforme de 0,3 mm/min.



Foto 4. Compresión perpendicular al grano

Durante la ejecución del ensayo se registró las deformaciones y cargas correspondiente, con lo cual se determina la curva de carga de información, permitiendo la obtención de la carga al esfuerzo en limite proporcional ELP como se realiza en los casos anteriores.

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

- Esfuerzo al límite proporcional

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

Dónde:

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

P_1 = Carga la Límite proporcional (Kg.)

A = Área de Comprensión (cm.²)

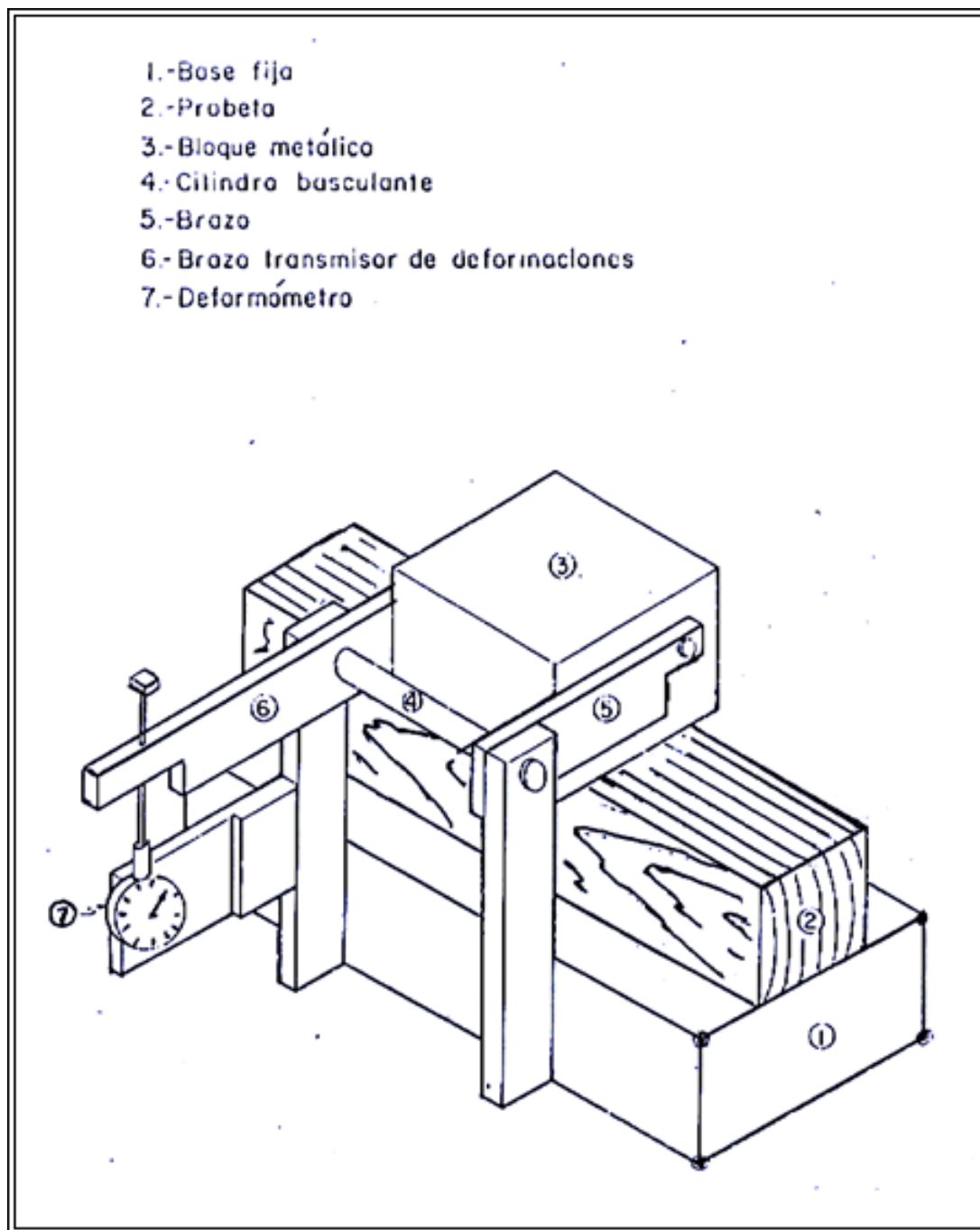


Figura 6. Esquema del Ensayo de Compresión Perpendicular al Grano (Cruz 2006)

3.4.4. Método de Determinación de Dureza (COPANT 465)

De acuerdo a lo estipulado a la norma COPANT 465 el ensayo se realizó con probetas 5*5*15 cm. de longitud, utilizando la máquina universal agregando a este un accesorio, con lo que se mide la resistencia que opone la madera a la penetración de la esfera metálica de 11,284

mm. de diámetro según Janka, controlando la penetración mediante el carril móvil, con una velocidad uniforme de 6 mm/min.



Foto 5. Ensayo De Dureza

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

Dureza

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

Dónde:

HB = Dureza (Kg. /cm².)

F = Fuerza (Kg.)

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

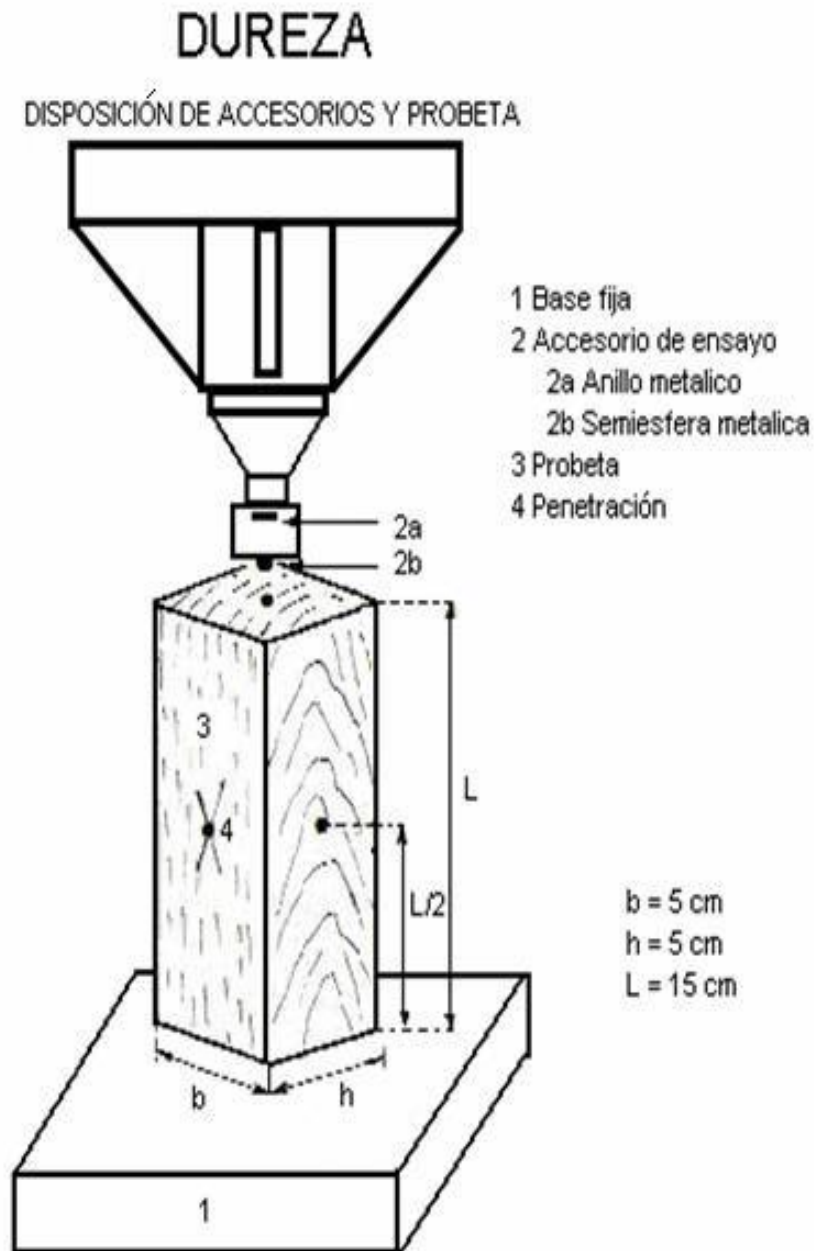


Figura 7. Esquema del Ensayo de Dureza (Cruz 2006)

3.4.5. Método de Determinación de Cizallamiento (COPANT 463)

El ensayo se realizó de acuerdo 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 de la figura N° sean perpendiculares al grano. La cara indicada como C debe ser 50% radial y 50% tangencial. Las probetas a utilizar serán de 40 para cada ensayo 20 radial y 20 tangencial. De

acuerdo a las normas las medidas de las probetas de las probetas serán de 5x5 de sección transversal y 6.5 de longitud (en dirección de las fibras); al mismo tiempo las probetas presentarán una entalladura de 1.8 x 1.5 cm en la orientación radial o tangencial.



Foto 6. Ensayo De Cizallamiento

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

Resistencia al cizallamiento

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

Dónde:

$$\sqrt{cizall} = \text{Resistencia al Cizallamiento (kg. /cm}^2\text{).}$$

$$P_{max} = \text{Carga Máxima (kg.).}$$

$A = \text{Área de la zona de Cizallamiento (cm}^2\text{).}$

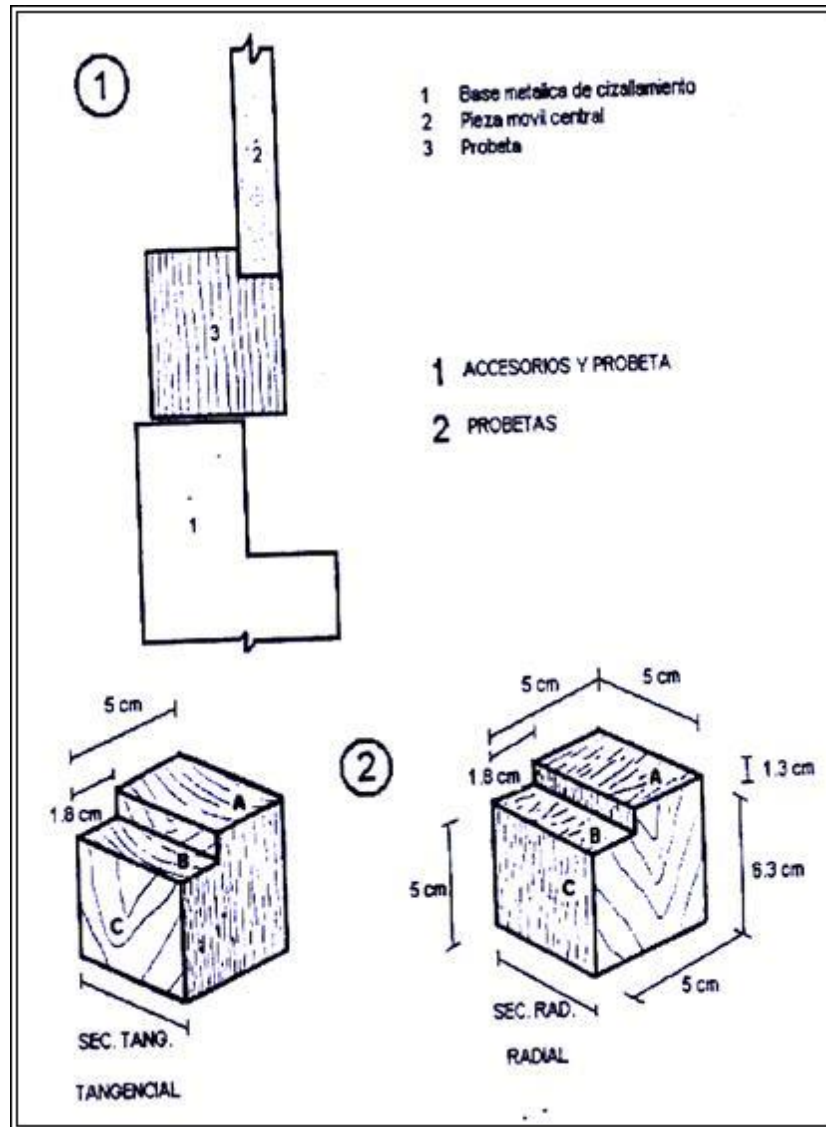


Figura 8. Esquema del Ensayo de Cizallamiento (Cruz 2006)

3.4.6. Extracción de Clavos

Se realizara de acuerdo a la norma COPANT 744, según la norma se determina la resistencia de madera a la extracción de clavos: se empleara probetas de sección transversal de 5x5 y 15 cm de longitud.

Se saran clavos de 2,5 mm de diametro, con punta de diamante las cuales seran limpiadas al fin de eliminar cualquier revestimiento o materia estraña, cada clavo se utilizará una sola vez, seran introducidos perpendicularmente a las caras de las probetas, hasta que la pentracion alcance 32 mm.

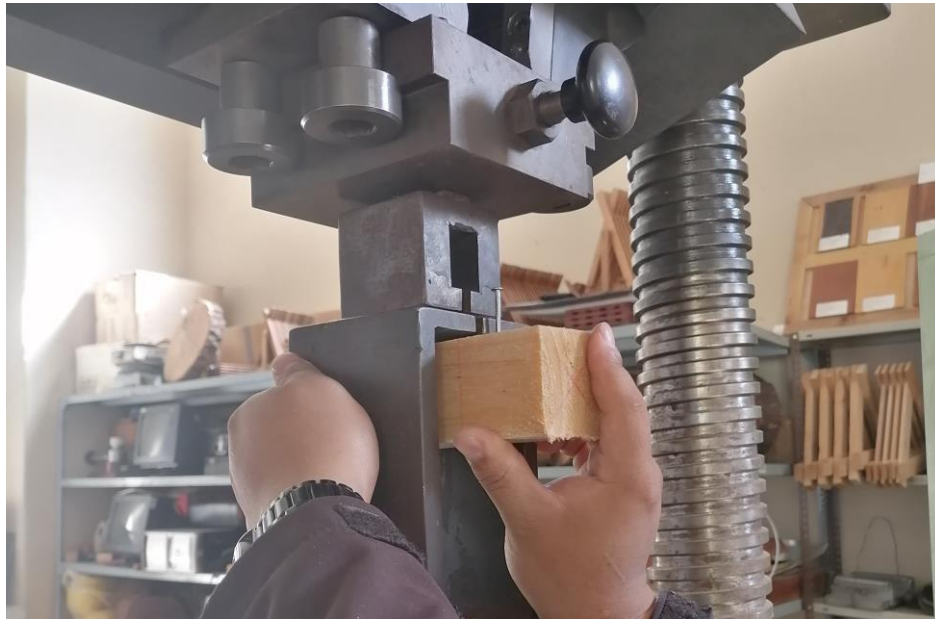


Foto 7. Ensayo de extracción de clavos

Cada clavo se utilizó una sola vez y se introducen 2 clavos en la cara radial, 2 en la cara tangencial y 1 en el centro de cada extremo. Los clavos introducidos en la probeta son extraídos inmediatamente, colocando la probeta y enganchando la cabeza del clavo en la cruceta móvil del accesorio, empleando una fuerza de extracción a una velocidad uniforme de 2.5 mm. /min.

Una vez extraídos los 6 clavos correspondientes a cada probeta se cortaron galletas para determinar el contenido de humedad.

EXTRACCIÓN DE CLAVOS

PROBETA Y ACCESORIOS

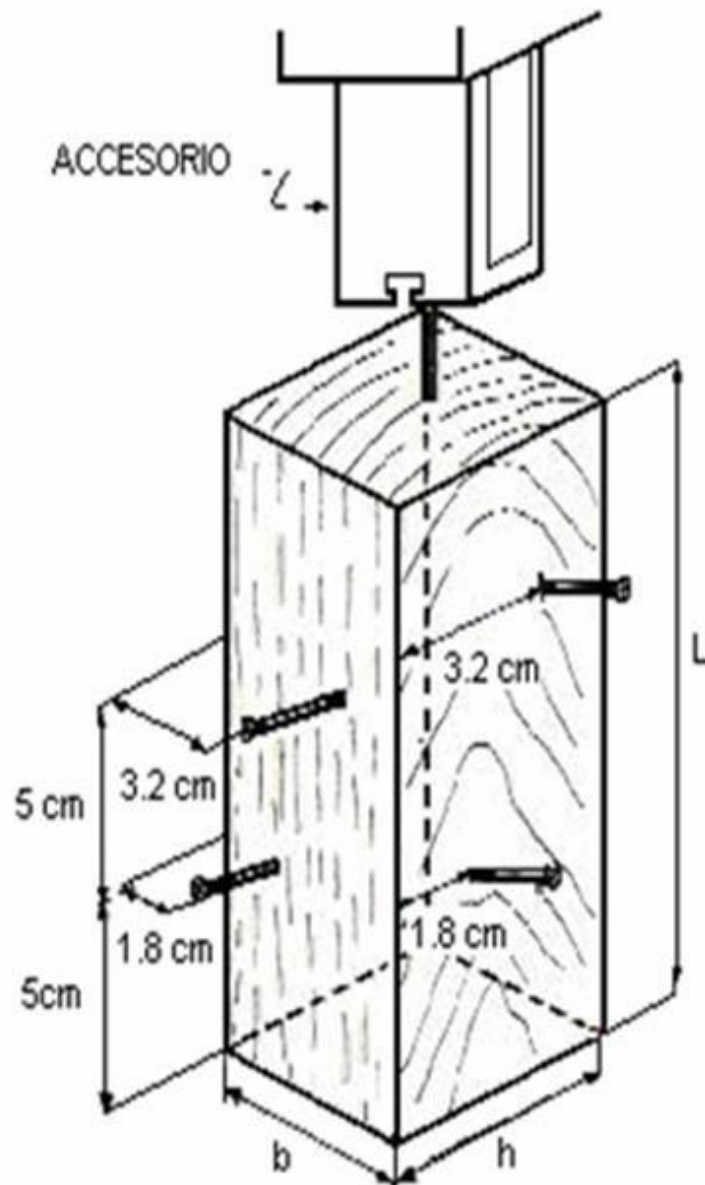


Figura 9. Esquema del ensayo de extracción de clavos

3.4.7. Tracción paralela a las fibras

Para la determinación de la resistencia a la tracción en la madera a las fibras se recomienda:

Se verifica el perfecto estado de la probeta a ensayar, procediendo luego a tomar las dimensiones de la sección transversal en la calibrada de la misma.



Foto 8. Ensayo de Tracción

Se coloca la probeta a ensayar, tomándola de las mordazas que posee la máquina, debiendo constatar la perfecta verticalidad de la misma.

Se procede a aplicar la carga en forma gradual y con una velocidad de 1,3mm por minuto.

Se toma el valor de la carga máxima de ruptura.

Calculos a la resistencia a la tracción.- la resistencia a la tracción es calculada por las siguientes relaciones:

Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (ELP).

$$\text{ELP} = \frac{F}{b} \text{ (kg/cm}^2\text{) a *}$$

F = Carga en el límite de proporcionalidad en kg

a = Espesor de la probeta

b = Ancho de la probeta

Módulo de ruptura (MOR)

$$\text{MOR} = \frac{F \text{ max}}{b} \text{ (kg/cm}^2\text{) a}$$

F = Carga máxima en Kg

Módulo de elasticidad MOE

$$\text{MOE} = \frac{F * L}{b * \Delta L} \text{ (kg/cm}^2\text{) a *}$$

CAPÍTULO IV

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

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 30:1-012 que establece el procedimiento de este análisis estadístico y la presentación de los resultados para poder determinar las propiedades de la madera.

Los datos para el análisis estadístico son:

Número de árboles ensayados = k

Número de probetas por árbol = l

Número total de probetas por ensayo = N

K = Números de árboles ensayados	5
L = Números de probetas por árbol	4
N = Total de probetas ensayadas	20

Estos datos permiten calcular:

4.1.1. Valor promedio total de los valores individuales

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

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

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

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

4.1.2. 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 varianza total ($S_1^2; S_2^2; S_T^2$).

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

Ejemplo de análisis estadístico flexión estática en estado seco al aire

Donde:

$$n_1 = k - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$n_2 = N - k = 20 - 5 = 15$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 20 - 1 = 19$$

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

Donde:

$N = 20$ (número de probetas por ensayo)

$k = 5$ (número de árboles)

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

$$I = \frac{1}{N} * \left(\sum_{j=1}^N x_j \right)^2 = 15856087,1$$

$$II = l * \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^l x_i \right)^2 = 16206626,7$$

$$III = \sum_{i=1}^N x_i^2 = 16510761,7$$

$$S_1^2 = \frac{II - I}{k - 1} = 87634,66372$$

$$S_2^2 = \frac{III - II}{N - k} = 20275,73037$$

$$S_T^2 = \frac{III - I}{N - 1} = 34456,55845$$

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 alrededor del promedio total

4.1.3. 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:

$$S_1 = \sqrt{S_1^2} = 296,03$$

$$S_2 = \sqrt{S_2^2} = 142,3928$$

$$S_T = 185,62$$

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

$$CV_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} * 100 = 33,24$$

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

$$CV_2 = \frac{S_2}{\bar{X}} * 100 = 15,99$$

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:

$$CV_T = \frac{S_T}{\bar{X}} * 100 = 20,84$$

4.1.4. Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio total

Como el valor promedio total ($\bar{X}$) 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 ($\bar{X}$), 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 con la siguiente fórmula:

$$q = \pm(k-1) \frac{S_1}{\sqrt{N}} = 184,0211584$$

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

K -1	2	3	4	5	7	9	14	19	&
t (k-1)	4,30	3,18	2,78	2,57	2,37	2,26	2,15	2,09	1,96

Determinación del valor relativo del intervalo de confianza ($\square P$)

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

$$p = \frac{q}{X} * 100 = 20,66733885$$

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO-FLEXIÓN ESTÁTICA

Tabla 6. Módulo de ruptura (MOR) en estado seco al aire

QUINA BLANCA (<i>Lonchocarpus lilloi</i> -(Hassler) Burkart)						
PROBETAS	Á R B O L E S E N S A Y A D O S					
	1	2	3	4	5	TOTAL
1	865,127054	1147,79233	702,380381	822,298982	710,945995	
2	1036,43934	1147,79233	702,380381	702,380381	856,56144	
3	830,864597	1207,75163	770,905296	839,430211	616,724237	
4	839,430211	1070,7018	1104,96426	719,51161	1113,52987	
L	4	4	4	4	4	20
SUMA	3571,8612	4574,03809	3280,63032	3083,62118	3297,76154	17807,91234
MEDIA	892,965301	1143,509523	820,15758	770,905296	824,440386	4451,978084
X2	3217630,38	5239920,81	2801917,39	2391853,85	2859439,26	16510761,7
Y2	3189548,11	5230456,112	2690633,82	2377179,9	2718807,8	16206625,74
N = 20 (número de probetas por ensayo)						
k = 5 (número de árboles)						
l = 4 (número de probetas dentro de un árbol por ensayo)						
MEDIA GENERAL		890,39				
GRADOS DE LIBERTAD						
$n_1 = k - 1$	5 - 1 = 4	4	I			15856087,09
$n_2 = N - k =$	20 - 5 = 15	15	II			16206625,74

$n_1 + n_2 = N - 1 =$		19	19	III	16510761,70		
VARIANZA		DESVIACION TIPICO		COEFICIENTE DE VARIACION		INTERVALO DE CONFIANZA	
S21	87634,66	296,03	S1	CV1	33,25	q	184,021158
S22	20275,73	142,39	S2	CV2	15,99	p	20,6673389
S2T	34456,56	185,62	ST	CVT	20,85		

En los cuadros de los ensayos de propiedades mecánicas de la Quina Blanca (*Lonchocarpus lillio-(Hassler) Bukart*), con su respectivo análisis estadístico, de cada uno de los ensayos

realizados en el presente estudio. En dicho análisis se determina el valor promedio ($\bar{X}$); coeficiente de variación entre árboles ($CV1$), dentro de los árboles ($CV2$) y total (CVT); desviación típica entre árboles ($S1$), dentro de los árboles ($S2$) y desviación total (ST); varianza entre árboles ($S1^2$), varianza dentro de los árboles ($S2^2$) y total (ST^2); intervalo de confianza real ($\square q$), porcentual ($\square P \%$).

El valor promedio total ($\bar{X}$) del muestreo más o menos ($\square q$) el intervalo de confianza se encuentra incluido el verdadero valor promedio de la población con una probabilidad del 20,68 %

CAPÍTULO V

5.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los siguientes resultados:

5.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Realizado los ensayos y obtenidos los resultados de Flexión Estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular, dureza, cizallamiento, extracción de clavos y tracción realizado en el laboratorio de tecnología de la madera según lo que nos indica la norma COPANT MADERAS 30:1-012 y presentar los cálculos realizados de las propiedades mecánicas de la madera de la Quina Blanca (*Lonchocarpus lílloi*-(Hassler) Burkart).

5.2.1. Flexión estática

Tabla 7. Contenido de humedad

ESTADO	CH%
VERDE	69,40 %
SECO AL AIRE	12,24 %

Fue realizado de acuerdo a la norma COPANT MADERAS 455. Obteniéndose los siguientes valores:

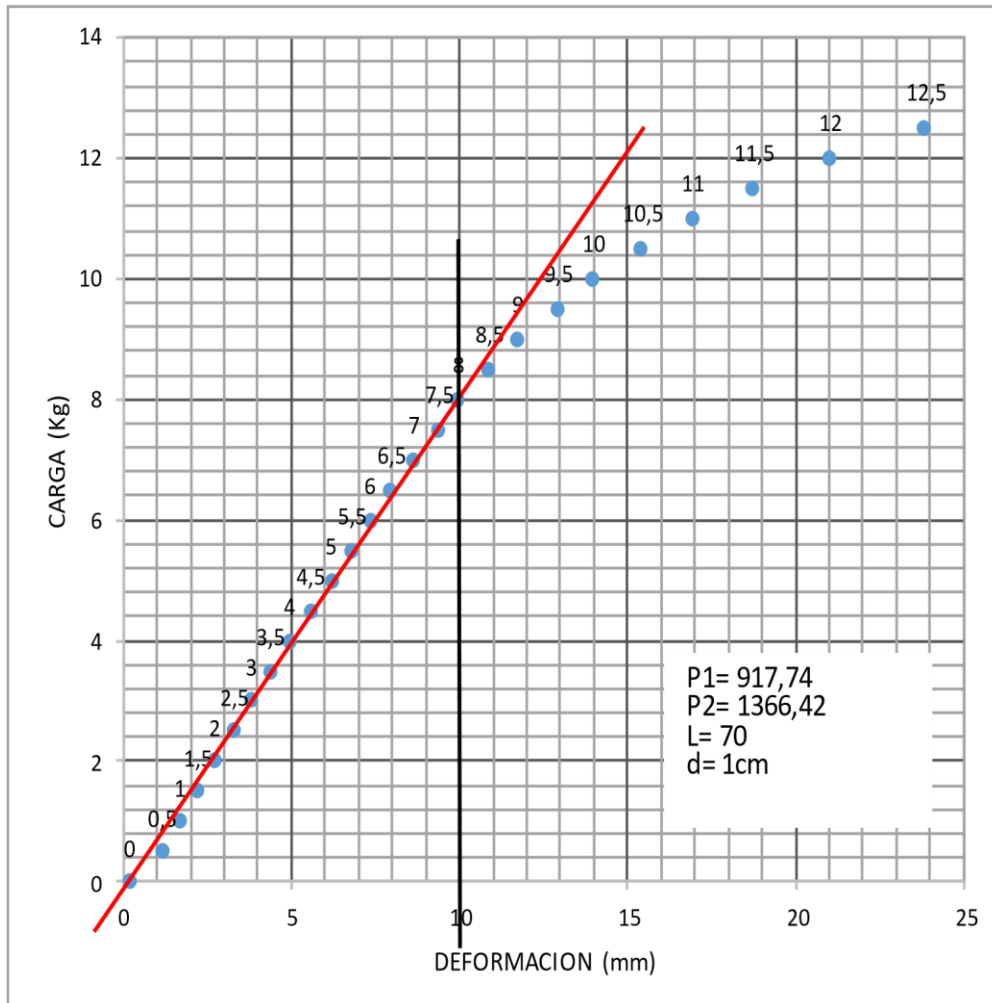
ESTADO	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (Kg/cm ²)
VERDE	579,893	855,277	102623,341
SECO AL AIRE	641,069	890,396	103148,606
Clasificación según su resistencia (MOR)	ALTA		

Como resultados considerando los estados verde y seco al aire el módulo de ruptura (MOR), el cual indica que es una madera de alta resistencia a la flexión.

Grafico 1. Curva de deformación-flexión estática
 Quina blanca (*Lonchocarpus lilloi*-(Hassler) Burkart

Ensayo flexión estática

Probeta N°1 Estado seco al aire



ESTADO	CH%	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)
SECO AL AIRE	9,21	685,249	1070,702	111924,028
Clasificación según su resistencia (MOR)			ALTA	

5.2.2. Compresión paralela al grano

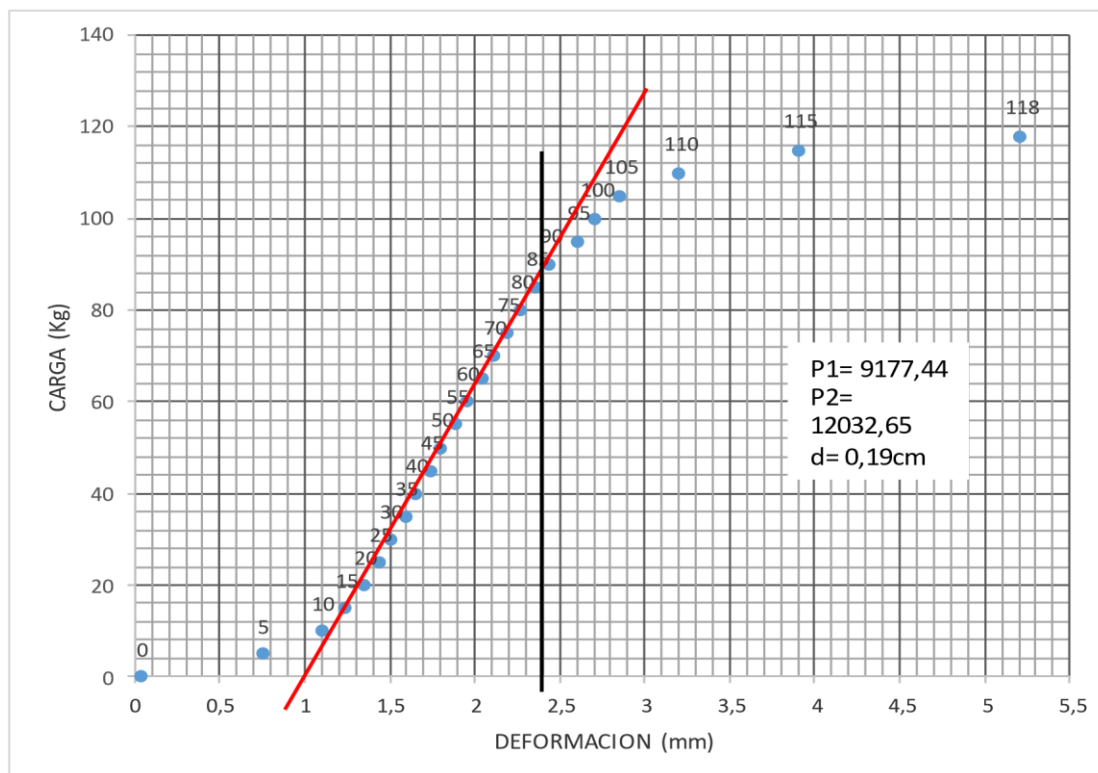
ESTADO	CH %	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (Kg/cm ²)
VERDE	76,025	298,981	344,052	40738,873
SECO	12,298	472,944	561,456	55098,698
Clasificación según su resistencia (MOR)			MUY ALTA	

Con la norma COPANT 464 permitieron determinar los siguientes resultados. El módulo de ruptura en estado seco al aire que es 561,46 kg/cm² considerando como una madera de muy alta resistencia a la compresión paralela al grano

Grafico 2. Curva de deformación-compresión paralela al grano

Quina blanca (*Lonchocarpus lilloi*-(Hassler) Burkart

Probeta N° 4 Estado seco al aire



ESTADO	CH%	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (Kg/cm ²)
Estado seco al aire	14,46	367,098	481,306	38641,869
Clasificación según su resistencia (MOR)			MUY ALTA	

5.2.3. Compresión perpendicular al grano

Fue realizado de acuerdo a la norma COPANT MADERA 466. Obteniéndose los siguientes valores:

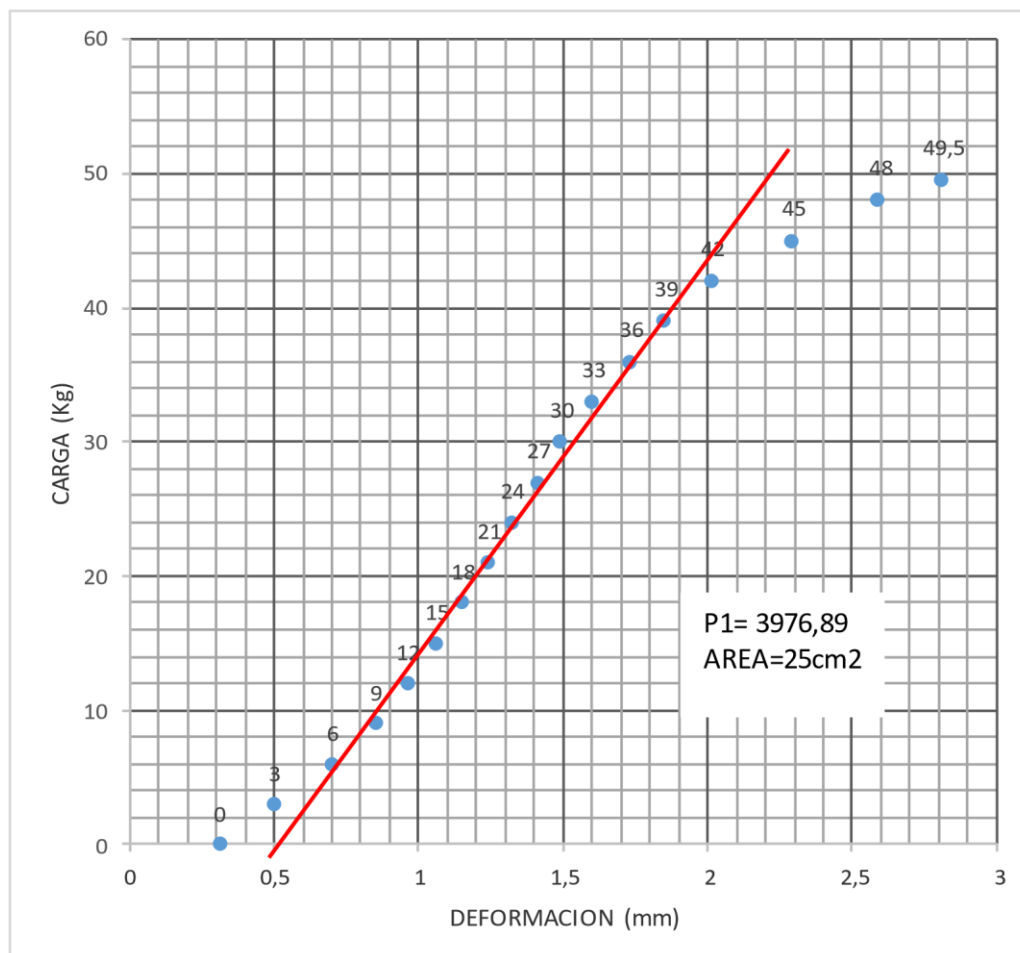
ESTADO	CH%	ELP Kg/cm ²
VERDE	59,10	119,51
SECO	14,21	123,99
Clasificación según su resistencia (ELP)		MUY ALTA

Se considera una madera de muy alta resistencia, por el valor obtenido en el esfuerzo al límite proporcional en estado seco al aire, 123,99 kg/cm²

Grafico 3. Curva de la deformación de compresión perpendicular al grano

Quina blanca (*Lonchocarpus lilloi*-(Hassler) Burkart

Probeta N° 1 Estado seco al aire



5.2.4. Dureza

Este ensayo según el cuadro siguiente se realizó según la norma COPANT 465:

ESTADO	CH%	RADIAL (Kg/cm2)	TANGENCIAL (Kg/cm2)	EXTREMOS (Kg/cm2)
VERDE	75,8173	591,435	589,931	14453,103
SECO	AL 13,596	665,619	655,167	816,792

AIRE				
Clasificación resistencia:	según	su	ALTA	

Los valores de dureza en estado seco al aire, son mayores, lo que indica que es una madera de alta resistencia en estado seco.

5.2.5. Cizallamiento

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 463, radial y tangencial, según el siguiente cuadro:

ESTADO	RADIAL		TANGENCIAL	
	CH%	Rad.Kg/cm ²	CH%	Tang, Kg/cm ²
VERDE	76,83	104,32	68,42	129,14
SECO AL AIRE	9,98	144,17	8,94	141,32
Clasificación según su resistencia		MUY ALTA		

Los valores indican que la madera al estado seco al aire, es de muy alta resistencia al cizallamiento

5.2.6. Extracción de clavos

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 744: Radial y tangencial, ver el siguiente cuadro:

ESTADO	CH%	RAD. (Kg)	TANG. (Kg)	AXIAL (Kg)
Verde	57,230	237,083	229,436	203,943
Seco al aire	10,500	132,563	186,098	198,0798

Los resultados en estado verde, muestran que en la cara radial y tangencial oponen mayor resistencia a la extracción de clavos, que en la cara axial.

5.2.7. Tracción paralela a las fibras

ESTADO	CH%	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (Kg/cm ²)
Verde	72,359	975,555	1146,088	1905,671
Seco al aire	10,531	1056,497	1166,300	1960,946

Según los resultados obtenidos, muestran que estado seco al aire, según el MOE, módulo de elasticidad 1960,94 Kg/cm² presenta una mayor resistencia a la elasticidad.

RESPUESTA:

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 de la QUINA BLANCA puede ser usada en diferentes rubros, tomando en cuenta la resistencia mecánica.

✦ Maderas de Construcción – Estructuras.

Maderas de Construcción – Estructuras	Peso específico básico entre 0,50 y 0,80 gr/cm ³ . Flexión: ELP igual o mayor a 400 kg/cm ² ; MOE igual o mayor a 100 kg/cm ² . MOR igual o mayor a 350 kg/cm ² . Máxima resistencia a la compresión paralela igual o mayor a 350 kg/cm ² . Compresión perpendicular a las fibra igual o mayor a 60 kg/cm ² . Cizallamiento igual o mayor a 35 kg/cm ² .
---------------------------------------	---

Tabla 8. Resumen de promedios de resultados propiedades mecánicas

ENSAYOS	ESTADO VERDE	ESTADO SECO AL AIRE
FLEXION ESTÁTICA		
Esfuerzo al límite prop. (ELP) Kg/cm ²	579,892	641,069
Esfuerzo máximo de rupt. (MOR) Kg/cm ²	855,277	890,396
Módulo de elasticidad (MOE) Kg/cm ²	102623,341	103148,606
Contenido de humedad (CH%)	70,400	12,247
COMPRESIÓN PARALELA		
Esfuerzo al límite prop. (ELP) Kg/cm ²	298,981	472,944
Esfuerzo máximo de rupt. (MOR) Kg/cm ²	344,052	561,456
Módulo de elasticidad (MOE) Kg/cm ²	40738,873	55098,698
Contenido de humedad (CH%)	76,025	12,298
COMPRESIÓN PERPENDICULAR		
Esfuerzo al límite prop. (ELP) Kg/cm ²	119,51	124,00
Contenido de humedad (CH%)	59,10	14,21
DUREZA		
Radial (Kg/cm ²)	591,435	665,619
Tangencial (Kg/cm ²)	589,931	655,167
Extremo (Kg/cm ²)	14453,103	816,792
Contenido de humedad (CH%)	75,817	13,596
EXTRACCIÓN DE CLAVOS		
Radial (Kg)	237,083	132,563
Tangencial (Kg)	229,436	186,098
Extremo (Kg)	203,943	198,079
Contenido de humedad (CH%)	57,2304996	10,5001909
CIZALLAMIENTO		
Cizallamiento radial (Kg/cm ²)	104,32	144,167
Contenido de humedad (CH%)	76,83	9,979
Cizallamiento tangencial (Kg/cm ²)	129,14	141,318
Contenido de humedad (CH%)	68,42	8,939

TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS		
Esfuerzo al límite prop. (ELP) Kg/cm ²	975,554	1056,498
Esfuerzo máximo de rupt. (MOR) Kg/cm ²	1146,087	1166,300
Módulo de elasticidad (MOE) Kg/cm ²	1905,671	1960,946
Contenido de humedad (CH%)	72,359	10,530

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.1. Conclusiones

Después de analizar, los objetivos trazados en el inicio del presente estudio, para determinar los usos probables de la especie **Quina blanca (*Lonchocarpus liloi*-(Hassler) Burkart)**.

Se llegó a las siguientes conclusiones:

a. Flexión estática

Como parámetros más relevantes en el estado seco al aire, son: el Módulo de Ruptura alcanzando un valor de $890,39 \text{ kg/cm}^2$ clasificándose, como madera de **ALTA RESISTENCIA** a la flexión estática, de acuerdo al rango de clasificación.

b. Compresión paralela al grano

El ensayo está reflejado con mayor importancia, por el Módulo de Ruptura cuyo valor es de $561,45 \text{ kg/cm}^2$, en estado seco al aire y según rangos de clasificación de maderas, se considera como una madera de **RESISTENCIA MUY ALTA** a la compresión paralela al grano.

c. Compresión perpendicular al grano

La madera presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras, representado por el Esfuerzo al Límite Proporcional que tiene un valor de $123,99 \text{ kg/cm}^2$ en estado seco al aire, indicando que se trata de una madera con **MUY ALTA RESISTENCIA** a la penetración de la placa metálica.

d. Dureza

El resultado de este ensayo, que mide la resistencia de la madera al desgaste presenta valores más elevados, en estado seco al aire en las diferentes caras de la madera, alcanzando valores de: $665,61 \text{ kg/cm}^2$ radial, $655,16 \text{ kg/cm}^2$ tangencial y $816,79 \text{ kg/cm}^2$ axial, que catalogados de acuerdo a la clave de clasificación, es una madera de **ALTA RESISTENCIA** a la penetración.

e. Extracción de clavos

Este ensayo, tiene su importancia en la mayor adherencia a la extracción de clavos en la madera, presenta como resultados promedios en estado verde de: 237,08 kg en la cara radial, 229,43 kg en la cara tangencial, 203,94 kg en el extremo y en base a estos valores, muestran que en la cara radial y tangencial oponen mayor resistencia a la extracción de clavos, que en la cara axial a la extracción de los clavos.

f. Cizallamiento

Que indica la resistencia de la madera a la acción de dos fuerzas paralelas pero en dirección opuesta, presenta como resultados promedios en estado seco al aire, del Esfuerzo de ruptura son de 144,16 kg/cm² y 141,31 kg/cm², radial y tangencial respectivamente, considerando según clasificación como madera de **MUY ALTA RESISTENCIA AL CORTE.**

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”

6.1.2. Recomendaciones

Tomando los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de las propiedades mecánicas del Quina blanca (*Lonchocarpus lilloi*-(Hassler) Burkart).y de acuerdo a los requisitos que deben reunir las maderas según sus usos, podemos recomendar lo siguiente:

- Recomendar el uso adecuado de la madera de la especie Quina blanca para obras de construcción, para carbón vegetal, mangos de herramientas, y otros artículos, ya que es una madera dura.
- La realización de estudios tecnológicos complementarios como trabajabilidad, uniones estructurales, tracción, secado, preservación e impregnación, durabilidad natural y sobre el rendimiento del aserrío.
- Recomendar la utilización de las Normas COPANT (COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS) en la realización de posteriores estudios, ésto para que los resultados obtenidos sean objeto de comparación con los del presente trabajo.
- Realizar una coordinación con las diferentes instituciones afines, para lograr una planificación a nivel regional y nacional para llevar adelante una investigación adecuada sobre especies poco conocidas, que con el tiempo se podrían convertir en sustitutos de especies que ya se encuentran en bajas proporciones.