

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. INTRODUCCIÓN

La aun riqueza forestal de los bosques nativos de nuestro país y la ausencia de políticas favorables al desarrollo de especies maderables; para nuevas formas de industrialización transformadora de materia prima del Chaco boliviano, podría influir mucho en cuanto a los fines de nuestra sociedad, salvaguardando el principio de persistencia de los montes.

La madera, al contrario que otros materiales como el acero y el hormigón, es un producto de unas características que varían según un rango extraordinariamente amplio. La madera, como resultado del crecimiento de un ser vivo, adquiere una propiedad intrínseca a los seres animados: la diferenciación individual. Pero no solamente es cierto que cada árbol es distinto del resto, sino que aun dentro del mismo individuo las características de la madera varían con la posición en relación al eje y a la altura sobre el suelo. VIGNOTE, (1986).

La madera es un material heterogéneo, con propiedades y características que dependen no sólo 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 (República Bolivariana de Venezuela Colegio Universitario Monseñor de Talavera 2011).

Cuando se trata 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.

En general para todas las aplicaciones mecánicas de la madera interesa que el coeficiente entre las características mecánicas y el peso específico sea lo más elevado

posible, sobre todo en aquellos usos en los que la madera actúa como estructura resistente. La realidad de una madera es que posee defectos, bien como consecuencia de las características biológicas de una especie, (nudos, fibras inclinadas. etc.). Los defectos de la madera afectan de forma diferente a las características mecánicas y por lo tanto a sus aplicaciones.

La resistencia se determina a través de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, las principales direcciones de la madera que se conocen son: longitudinal, radial y tangencial, pero en la práctica son longitudinal, paralela al grano y transversal o perpendicular al grano. (Norma COPANT).

Todas estas cualidades han llevado años de investigación y práctica constructiva, al uso cada vez más masivo de la madera. Con esta técnica se ha logrado fabricar piezas de madera más estables dimensionalmente con formas, longitudes, anchuras y cantos difíciles o imposibles de conseguir con una pieza de madera maciza.

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

Este trabajo lo que quiere es poder realizar ensayos de propiedades mecánicas de la Algarrobilla tomando en cuenta las direcciones de la madera que se conocen como ser: longitudinal, radial, tangencial, y al realizar la práctica serán longitudinal, paralela al grano y transversal o perpendicular al grano, es por esta razón que se determinara las propiedades mecánicas de la Algarrobilla, con la finalidad de conocer más sobre la especie y poder dar un buen uso de la especie y así reemplazar a otras especies que están en peligro de extinción ya que son aprovechadas selectivamente y frecuentemente usadas. Como así también contribuir al conocimiento tecnológico de la especie forestal en nuestros medios comerciales del mercado maderero de nuestro país.

## **1.2.JUSTIFICACIÓN**

Las necesidades que tienen los seres humanos son muchas, las principales, alimentarse y vestirse; las secundarias donde refugiarse de los factores climáticos, como ser una choza, vivienda y/o casa donde tienen que construir con madera antiguamente, todo era de madera desde una cuchara hasta una silla.

Hoy en día se fue reemplazo con otros materiales. Aunque no del todo, a un se sigue usando maderas, es por ello que se sigue buscando especies de nuestros bosques nativos, En este sentido se ha estudiado la especie Algarrobilla, por sus bondades que llegaría a tener esta madera, en los pueblos donde es conocida tiene una valiosa utilidad como ser; postes, cavos de herramientas, marcos de ventanas, mesas, sillas y muchos otros usos, lo cual nos lleva a hacer un estudio más explícito para obtener datos más precisos de la Algarrobilla, porque se requiere un estudio mecánico más preciso en nuestro campo forestal, otros países como ser Argentina ya cuenta con estudios de esta madera y ya se toma en cuenta como una madera de gran riqueza forestal.

Debido a que existe mucha demanda en el mercado de productos maderables y perdida de muchas especies valiosas es necesario el estudio de nuevas especies para que así podamos conservar las especies en peligro de extinción.

Por tales razones, se ha determinado las propiedades mecánicas de la madera de Algarrobilla, ya que al obtener los resultados se establece los usos estructurales adecuados de la especie, como también las nuevas alternativas de aprovechamiento de maderas nativas del Chaco tarijeño, para el mercado industrial boliviano.

## **1.3. HIPÒTESIS**

Las propiedades mecánicas de la madera de Algarrobilla, sometida a ensayos de resistencia mecánica, constituyen un aporte para posibles aplicaciones a futuro y así contribuir a satisfacer necesidades nacionales y locales.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar las propiedades mecánicas de la especie Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart*), procedente de Campo Largo, municipio de Caraparí, mediante la norma COPANT MADERAS, y en base a sus propiedades determinar y/o adecuar a distintos usos de la especie.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Determinar las propiedades mecánicas de la especie Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart*), mediante ensayos realizados en el Laboratorio de Tecnología de la Madera:

- a) Flexión Estática de acuerdo a la norma COPANT 455.
- b) Compresión Paralela al Grano de acuerdo a la norma COPANT 464.
- c) Compresión Perpendicular al Grano de acuerdo a la norma COPANT 466.
- d) Dureza de acuerdo a la norma COPANT 465.
- e) Cizallamiento de acuerdo a la norma COPANT 463.
- f) Contenido de humedad de acuerdo a la norma COPANT 460.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

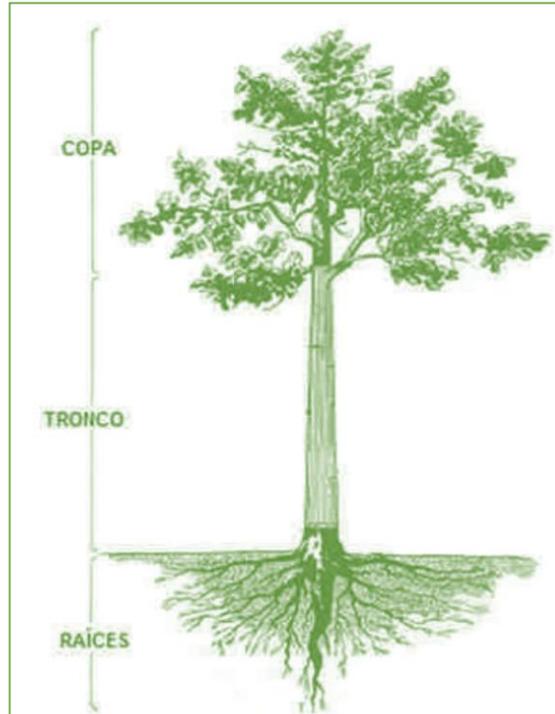
#### 2.1. La madera

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

#### 2.2. Partes del Árbol

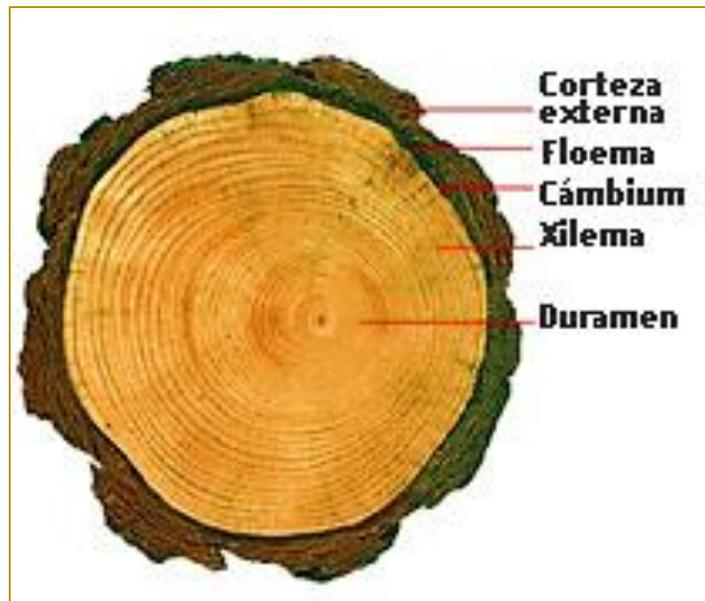
- **Copa:** es el conjunto de ramas y hojas que forman la parte superior del árbol.
- **Tronco o Fuste:** se encuentra entre las raíces y la copa. Está constituido por millones de células leñosas como las fibras, radios y vasos.
- **Raíz:** es la parte inferior del árbol que penetra en el suelo, cuya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



**FIGURA 1:** El Árbol y sus componentes (Vignote, 1995).

### 2.3. Partes de un Tronco

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



**FIGURA 2:** Componentes del tronco (Vignote, 1995)

#### **2.4. Características Externas de la Madera**

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

- **El Color:** Es originado por la presencia de sustancias colorantes y otros compuestos secundarios. Tiene importancia en la diferenciación de las maderas y, además, sirve como indicador de su durabilidad. Son en general, maderas más durables y resistentes aquellas de color oscuro.
- **Olor:** Es producido por sustancias volátiles como resinas y aceites esenciales, que en ciertas especies producen olores característicos.
- **Textura:** Está relacionada con el tamaño de sus elementos anatómicos de la madera, teniendo influencia notable en el acabado de las piezas.

- **Veteado:** Son figuras formadas en la superficie de la madera debido a la disposición, tamaño, forma, color y abundancia de los distintos elementos anatómicos. Tiene importancia en la diferenciación y uso de las maderas.
- **Orientación de fibra o grano:** Es la dirección que siguen los elementos leñosos longitudinales. Tiene importancia en la trabajabilidad de la madera y en su comportamiento estructural.

## 2.5. Clasificación de la madera

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

### ✓ Maderas Duras

Proceden de árboles de hoja caduca, su crecimiento es lento y su tronco se desarrolla muy grueso, además contiene poca resina. Presentan una variedad de colores más amplia que las blandas, así como mayor dureza y resistencia.

### ✓ Maderas Blandas

Proceden en general, de las coníferas, árboles de hojas con forma de aguja. Estos árboles de crecimiento rápido presentan anillos anuales que se distinguen con claridad. Las maderas blandas son muy resinosas. La mayoría son de color pálido o castaño claro.

## 2.6. La madera como materia prima

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

## **2.7. Formación y estructura de la madera**

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

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

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

## **2.8. Microscopía de la madera**

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

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

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

**a) Coníferas.**

**b) Latifoliadas.**

**a) Coníferas**

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

- Las células de traqueida no tienen contenido protoplasmático, tiene forma de tubos acabadas en punta denominada pico de flauta, que mide de 1 a 4 mm de longitud y de sección entre 40  $\mu\text{m}$ . las de primavera y de 10  $\mu\text{m}$ . las de verano.
- La comunicación entre células se hace a través de punteaduras aeroleadas de gran tamaño oscilando entre 6 y 30  $\mu\text{m}$ . (Álvarez, 1992), que van a ser determinantes tanto en la facilidad de impregnación de la madera como en su secado.
- El resto de las células que conforman la madera de coníferas lo forman las células de parénquima y las células secretoras de los canales resiníferos.
- Las células de parénquima tienen la función de almacenamiento, su forma es rectangular dispuesta fundamentalmente en el eje transversal radial (asociadas frecuentemente con traqueidas transversales), formando los radios leñosos y menos en la longitudinal.
- Las células secretoras de los canales resiníferos tienen como función segregar resina al canal resinífero, cuya función en el árbol es muy compleja pero fundamentalmente es de defensa y protección contra agentes patógenos. La forma de estas células, al igual que las del parénquima es prismática con orientaciones tanto axiales como transversales.

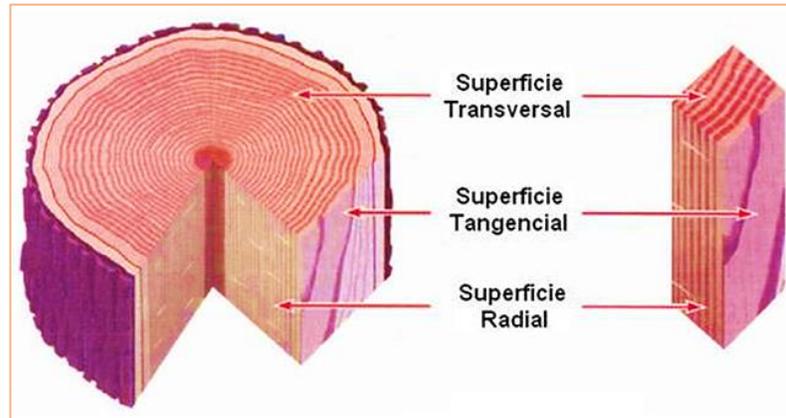
## **b) Latifoliadas**

- En las latifoliadas la estructura es más complicada, pues existe una mayor especialización de las células, las funciones de conductoras las realizan las células de tubo o vasos y las de sostén las células de fibra, si bien también existen traqueidas con la doble función señalada en las coníferas.
- Los vasos constituyen entre el 5 y el 60 % del volumen de la madera y están formados por células sin contenido protoplasmático, dispuestas axialmente, cuya característica principal es que las paredes transversales están disueltas total o parcialmente de forma que existe una comunicación perfecta entre una célula y la siguiente. Por otra parte, la comunicación transversal se realiza a través de punteaduras aeroleadas (si se comunican con fibras o traqueidas) o simples (si se comunica con parénquima), cuyo tamaño es sensiblemente inferior al de las coníferas. (Álvarez, 1992).
- Las fibras, traqueidas y fibro-traqueidas, constituyen normalmente el tejido mayor, aunque puede variar su porcentaje entre el 20 y 70 % del total del volumen de la madera. Por último, el parénquima tanto longitudinal como transversal constituye entre el 6 y el 50 % del total de volumen de madera.

### **2.9. Anisotropía de la madera**

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

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



**FIGURA 3:** Direcciones Ortogonales de la madera (Vignote, 1995).

### **2.10. Higroscopicidad de la madera**

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

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

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

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

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

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

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

### 2.11. Propiedades Mecánicas

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

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

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

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

## **2.12. 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.’”

## **2.13. 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. Castro, (2011)

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.

#### **2.14. 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.

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

## 2.16. 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 rajarse, 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).

## 2.17. Factores que afectan las propiedades mecánicas de la madera laminada

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

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

- **Bolsillo de resina.** - Presencia de una cavidad bien delimitada que contiene resina. Se conoce también como bolsa o lacra.

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

## 2.18. DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL

“Algarrobilla”

*(Caesalpinia paraguariensis, Burkart)*

**Nombre vernáculo.** - Tiene el nombre citado que es el más común, pero creemos conveniente ir difundiendo también el guaraní “ibira-vera” que debería preferirse en el futuro y significa árbol o madera con brillo.



**Imagen 1:** Árbol de Algarrobilla

Es un árbol inerte desprovisto de espinas, de 8 a 15 hasta 20 metros de altura de tronco de 30 a 60 cm aprox. hasta 1 metro de diámetro, corteza lisa, verde-grisácea, posee hojas alternas, foliolos opuestos.

Su copa muy amplia y redondeada poco densa debido a lo delicado del follaje, da poca sombra. Tronco relativamente corto. Es una especie endémica de Argentina, habita variedad de sitios de muy secos a húmedos, ocupando en el bosque chaqueño los estratos superiores, no tolera suelos salinos ni alcalinos.

La albura o sámago de coloración blanco-rosada, rodeada el duramen de color castaño-oscuro a violado oscuro casi negro, con veteado y brillo suave, Tiene unas notorias características de una madera pesada y dura. (Tortolero L, 1956).

**2.18.1. Taxonomía de la Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, Burkart).**

**Tabla 1:** Taxonomía de la especie Algarrobilla

Reino	Vegetal.
Phylum	Tracheophytae.
División	Tracheophytae.
Subdivisión	Anthophyta.
Clase	Angiospermae.
Subclase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Ordenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae
SubFamilia	Caesalpinioideae
Nombre Científico	<i>Caesalpinia paraguariensis</i> Burkart
Nombre Común	Algarrobilla

**Fuente:** (Acosta, 2019).

### **Etimología**

*Caesalpinia paraguariensis* fue descrito por (D.Parodi)Burkart y publicado en Darwiniana, 1952.

*Caesalpinia*: nombre genérico que fue otorgado en honor del Botánico italiano Andrea Cesalpino (1519-1603).

*paraguariensis*: Epíteto geográfico que alude a su localización en Paraguay. Lucas, A (1956).

### **2.18.2. Descripción Botánica de la especie**

- ♣ **Hojas:** compuestas, alternas, bipinnadas, folíolos oblongos, raquis principal glabro de 2-5 cm de largo, con 2-4 pares de raquis secundarios laterales y opuestos y un raquis terminal, glabros, de 1-3 cm de largo, cada uno con 6-10 pares de folículos opuestos o sub-opuestos, sub-sésiles, oblongos de 3-7 mm de largo por 1,5-3 mm de ancho, ápice obtuso, margen entero, la nervadura central manifiesta, las secundarias conspicuas.

**Imagen 2:** Hojas



- ♣ **Flor:** inflorescencias en racimos axilares de 1,5-4 cm de largo, generalmente paucifloros. Flores amarillo-anaranjadas de 10 mm de largo, sobre pedicelos glabros de 4-5 mm de longitud. Cáliz glabro, acampanado, tubo de 3mm de largo, con 5 lóbulos desiguales, el inferior más grande y cóncavo de 5mm de largo. Con 5 pétalos, libres, glabros, desiguales, espatulados de 6mm de largo por 2,5mm de ancho.
- ♣ **Inflorescencias:** en racimos axiales de vistosas flores amarillas en primavera.
- ♣ **Fruto:** vaina leñosa, indehisciente, orbicular a ovoide, algo comprimida lateralmente, de 2-6 cm de largo por 2 cm de ancho, con un grosor algo menos de 1 cm, negra, lustrosa, ápice obtuso, generalmente con un pequeño mucrón. Semillas ovoideas, de 8 mm de largo por 5 mm de ancho, algo comprimidas, 1-8 semillas por vaina, castañas, lisas, algo lustrosas.
- ♣ **Corteza:** delgada, gris-verdosa, cuando se cae la corteza deja manchas irregulares color ocre o herrumbre, muy características. tronco de corteza verde grisácea, delgada y lisa, que se desprende dejando ver sus características manchas de diferentes tonalidades. (Verde Chaco, 2016)

**Imagen 3:** Corteza



- ♣ **Propiedades:** Son medicinales, forrajeras, ornamentales, melíferas, tintóreas y tánicas.

### 2.18.3. Características de la Madera de Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart*)

Es una madera muy dura, muy pesada, contracciones medianas, impenetrable, vetado suave, brillo mediano, textura fina y homogénea, grano entrelazado, poco durable.

- ◆ **Aspectos generales:** límites de anillos de crecimiento distintos (demarcados por bandas 1-2 células, de parénquima marginales)
- ◆ **Duramen:** Café, rojizo, negro y morado.
- ◆ **Color:** Uniforme, albura distinto color del duramen.
- ◆ **Olor:** Imperceptible o ausente
- ◆ **Densidad básica aprox.:** 0,95 - 1,20 g/cm<sup>3</sup>
- ◆ **Vasos:** Madera de porosidad difusa vasos dispuestos en patrón no especificado, agrupados generalmente en grupos radiales cortos de 2-3 vasos, placas de perforaciones simples, punteaduras intervasculares alternas, diámetro vertical 7-10 um. (Verde chaco, 2016)

### 2.18.4. Descripción macroscópica

Es madera de porosidad difusa; poros pequeños, solitarios y en menor número unidos de a dos; están rodeados de una angosta faja de tejido flojo, que a menudo, se hace confluyente uniéndolos lateralmente. Los radios leñosos son rayitas rectilíneas y angostas.

En corte longitudinal tangencial se nota disposición estratificada poco visible; si mojamos suavemente la superficie lisa de la madera; esta disposición es más notable y total; en sección radial también puede observarse disposición estratificada. Los elementos vasculares siguen trayecto sinuoso y rectilíneo. (Tortoleri, L 1956).

## 2.18.5. FENOLOGÍA

### Árbol caducifolio.

**Tabla 2:** Fenología del árbol

Fruto		Flor	Flor	Flor	Fruto						

**Fuente:** (Verde chaco, 2016)

- **Distribución:** en Argentina, Bolivia, Brasil y Paraguay. En Argentina se encuentra en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago de Estero, Catamarca, La Rioja, San Luis, Formosa, Chaco, Corrientes y Santa Fe. En Yungas se encuentra en los sectores geográficos norte, centro y sur, en el piso ecológico de la Selva Piedemontana.
- **Usos:** madera usada para trabajos de artesanía, como muebles e instrumentos. La corteza es excelente contra disentería y para enfermedades de la piel y sífilis. Se atribuye a las hojas propiedades antimicrobianas. Es muy utilizado como madera de obra, durmientes, postes y malecones por su característica duración bajo agua y a la intemperie. En carpintería y tornería se la utiliza para fabricar rayos de carros, cabos de herramientas, carrocerías, bochas, instrumentos musicales, ebanistería, mangos, palenques y artesanías. Madera muy pesada ya que su Peso específico es de 1,426 kg /dm<sup>3</sup>.

Como leña campana proporciona combustible de mayor poder calorífero que el “quebracho colorado”, según lo demuestran las determinaciones para la “Algarrobilla”; poder calorífico superior 4200 kcal/kg e inferior 3850 kcal/ kg. Los ferrocarriles aceptan en las compras de leña para locomotoras hasta un 30 por ciento de Algarrobilla y el resto Quebracho colorado. El duramen proporciona 12 por ciento de extracto tánico, que se venía mezclando con el de Urunday bajo la denominación generan de extracto marca Urunday.

#### **2.18.6. USOS POSIBLES**

Con respecto a sus propiedades físico-mecánicas y su aspecto general, así como sus propiedades organolépticas y de estructura, se asemeja mucho al “ébano”, al que podría reemplazar en ciertos usos. (Galante, 1953).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Localización de procedencia del material vegetal

La especie propuesta en el estudio procede de la comunidad de Campo Largo, municipio Caraparí, al este del departamento de Tarija, en la provincia Gran Chaco. Geográficamente el área de estudio tiene las siguientes coordenadas:

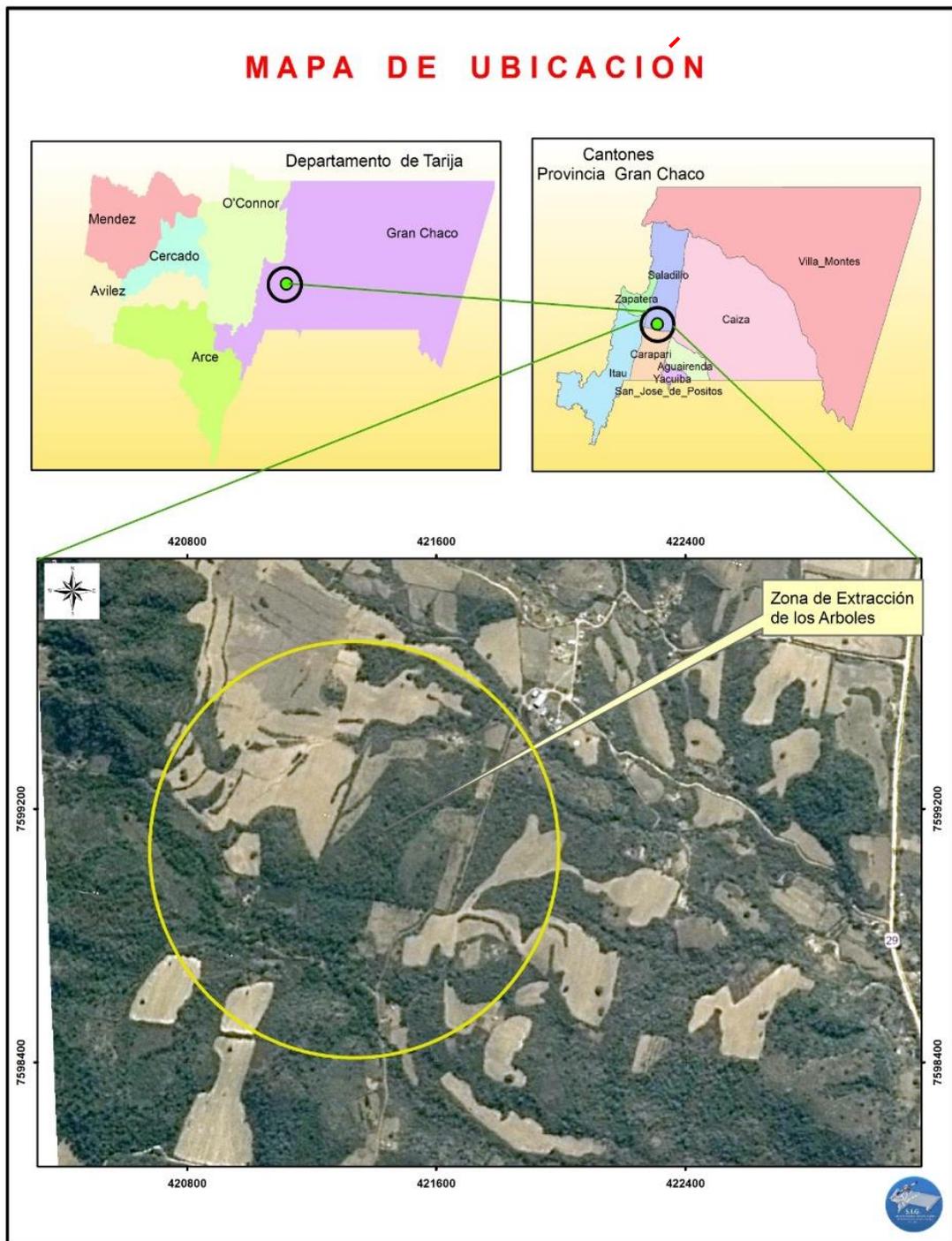
Latitud Sur 21°42'38,49"  
Longitud Oeste 63°45'49,66"

Latitud Sur 21°42'2,90"  
Longitud Oeste 63°45'47,21"

##### 3.1.2. Ubicación

La comunidad de Campo Largo, se localiza al este del departamento de Tarija, en la provincia Gran Chaco, Segunda Sección Caraparí, localizada aproximadamente a 15 Km. de la ciudad de Caraparí. Entre otras características de importancia se tiene una altitud que oscila entre los 800 a 1000 msnm.

FIGURA 4: Mapa de Ubicación de la Zona de Extracción de los Árboles



Fuente: (Elaboración propia. 2020)

### **3.1.3. Accesibilidad**

De acuerdo a información de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), por Caraparí pasa la red fundamental que une al Gran Chaco con la ciudad de Tarija; la carretera nacional sirve de conexión con la República Argentina considerada como una carretera internacional, la cual cuenta con un sector asfaltado y la mayor parte de tierra (Camino de primer orden), desde la ciudad de Caraparí se puede ingresar a la zona de estudio por un camino de segundo y tercer orden, que en la época de lluvia se dificulta la transpirabilidad por el descuido de su mantenimiento.

### **3.1.4. Descripción de características biofísicas del lugar**

La especie Algarrobilla, se rodea de bastante vegetación árboles, arbustos y hiervas, (siempre verdes) y se encuentran algunas especies deciduas por la estación del año; por un conjunto de paisajes dominados por serranías, colinas y valles, orientados al Norte-Sur, conformado por altiplanicies estrechos y valles sinclinales más amplios, colindantes con ríos, el más importante originado de valles con llanura aluvial.

Según el (ZONISIG, 2001), el área se encuentra ubicada fisiográficamente entre: Serranía media, fuertemente disectada donde actúan procesos de remoción en masa, pendientes aluviales y coluviales son las principales geoformas que dominan este paisaje.

Los suelos del área superficiales a profundos, excesivamente drenados, con pocos fragmentos, redondeadas y areniscas. El clima de la zona es de templado a húmedo.

### **3.1.5. Geología**

Según el (ZONISIG, 2001), el área de extracción de la especie pertenece a los periodos Cretácico, Terciario y Cuaternario. La litología dominante está compuesta por limonitas, arcillitas, areniscas, calizas y otras. El departamento de Tarija presenta tres tipos tectónicos de plegamientos bien definidos que corresponde a las provincias fisiográficas de la Cordillera Oriental, el Subandino y la llanura Chaco Beniense, correspondiendo el área de estudio en este caso a la provincia fisiográfica del Subandino.

El plegamiento y fallamiento en las formaciones geológicas son menos complejos en el Subandino.

### **3.1.6. Geomorfología**

Según el (ZONISIG, 2001); la provincia fisiográfica del Subandino está constituida por un conjunto de paisajes dominados por serranías, colinas y valles. Las serranías y colinas del Subandino están orientadas en el sentido Norte-Sur, conformados por anticlinales estrechos y valles sinclinales más amplios, donde se instalan los ríos más importantes, originando valles con llanuras aluviales de pequeña y mediana amplitud. Las serranías presentan formas alargadas por cientos de kilómetros y paralelas entre sí, constituidas por rocas más resistentes y homogéneas, en tanto que los valles sinclinales se hallan constituidos por rocas menos resistentes y más blandas.

### **3.1.7. Fisiografía**

Las formaciones presentes en el área son los paisajes de llanuras aluviales, coluviales y las serranías del Subandino.

- ❖ El paisaje aluvial presenta formas, como las terrazas de formación incipiente ubicadas en las cercanías de los ríos con pendientes cortas y planas (1%) con alturas sobre el nivel del río de 0,70 metros. Las terrazas bajas de 1,50 a 2,50 m.
- ❖ Existen pequeñas áreas que presentan características de cauces abandonados, con sedimentos arenosos y con piedras en la superficie.
- ❖ El paisaje de serranías se caracteriza por presentar un relieve bastante accidentado, las pendientes inferiores presentan mejores características edáficas que el resto de la unidad, con gradientes de 4 a 8%. (Cortez, 1999).

### **3.1.8. Suelo**

Según el (ZONISIG, 2001), los suelos del área de estudio son superficiales a profundos de 30 a 150 cm. Excesivamente drenado a moderadamente bien drenado, materia orgánica superficial en estado de descomposición débil, con presencia de pocos fragmentos en un porcentaje del 2% de formas sub- redondeados, meteorizados de

areniscas, limonitas y lutitas. La textura de estos suelos pertenece al grupo medio como: franco, franco arcillo y franco arenoso, la conductividad eléctrica es muy baja, con pH de moderado a fuertemente ácido.

### **3.2. CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS.**

#### **3.2.1. Clima**

El área se encuentra en una zona transicional del bosque húmedo templado, así mismo se tiene una precipitación promedio de 2000 mm/año en el área de estudio. (ZONISIG, 2001)

#### **3.2.2. Hidrología**

La comunidad Campo Largo, perteneciente a la Segunda Sección de Caraparí, forma parte del gran Sistema hidrográfico de la cuenca del Plata, la que a su vez tiene como parte de ella la cuenca del río Caraparí. (ZONISIG, 2001)

### **3.3. CARACTERÍSTICAS BIÓTICAS**

#### **3.3.1. Vegetación**

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

De este análisis podemos deducir que la vegetación existente en la comunidad Campo Largo corresponde a: Bosque denso siempre verde semideciduo submontano. (Dirección de medio ambiente, 2008).

### 3.3.2. Estrato arbóreo

Se registran 32 especies arbóreas mayores a 10 cm. de DAP, pertenecientes a 20 familias botánicas. Las especies con mayor número de individuos por hectárea es el chal-chal y *Nectandra sp.* Siendo las más frecuentes en todos los sitios de evaluación. Por otro lado, se tiene un total de 468 individuos por hectárea.

La vegetación a los 970 msnm, se caracteriza por ser un bosque ralo de ladera inferior escarpada, con una densidad de 320 individuos por hectárea. (Dirección de medio ambiente, 2008).

**Tabla 3:** Estrato Arbóreo

Familia	Especie	Nombre común
Lauraceae	<i>Cinnamomum porphyria</i> - (Kosterm.)	Laurel
Sapotaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.)Arrab.ex.Steudel	Aguay
Myrsinaceae	<i>Rapanea sp.</i>	Yuruma
Solanaceae	<i>Solanun ripariun Pers</i>	Tabaquillo blanco
Sapindaceae	<i>Cupanea vernalis Cambess</i>	Condorillo
	<i>Diatenopteryx sorbifolia Radlkofer</i>	Suiquillo
	<i>Allophylus edulis (Camb.) Radlk</i>	Chal-chal
Rosaceae	<i>Prunas tucumanensis Lillo</i>	Duraznillo
Mirtaceae	<i>Eugenia sp.</i>	Guayabo
	<i>Eugenia uniflora L.</i>	Arrayán
	<i>Bleparocalyx gigantea L.</i>	Barroso
Polygonaceae	<i>Ruprechtia laxiflora L.</i>	Membrillo
	<i>Coccoloba tiliaceae Lindau</i>	Mandor
Flacourtiaceae	<i>Xilosma pubescens</i>	Amarillo
Nictaginaceae	<i>Bouganvillea sp.</i>	Huancar
Tiliaceae	<i>Heliocarpus papayanensis</i>	Cascarilla
Euphorbiaceae	<i>Croton densiflorus</i>	Tabaquillo rosado
Boraginaceae	<i>Patagonula americana</i>	Lanza blanca
	<i>Cordia trichotoma</i>	Afata

	<i>Saccellium lanceolatum</i>	Lanza montaña
Rutaceae	<i>Fagara coco</i>	Sauco
Bignoniaceae	<i>Tabebuia impefiginosa</i>	Lapacho rosado
	<i>Tabebuia heteropoda</i>	Lapacho amarillo
Proteceae	<i>Roupala cataractarum</i>	
Juglandaceae	<i>Juglans australis</i>	Nogal
Meliaceae	<i>Cedrela sp.</i>	Cedrillo
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i>	Urundel
Leg. Mimosoidea	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Cebil
	<i>Inga edulis – Martius</i>	Pacay
Leg. Papilonoidea	<i>Lonchocarpus lilloí - (Hassl.) Burk.</i>	Quina blanca
	<i>Tipuana tipu - (Benth.) O.Kuntze</i>	Tipa
	<i>Myroxylon peruiferum - L.f.</i>	Quina colorada

**Fuente:** (Dirección de medio ambiente, 2008)

### 3.3.2. Estrato arbustivo

Se encuentra disperso en la parte inferior del bosque, obteniendo un 22% de cobertura y una densidad de 2.343 individuos por hectárea aproximadamente como promedio general. Integrado en su mayoría *Psychotria carthaganiensis*; con 1,714 individuos por hectárea. Esta especie está distribuida en áreas tropicales y subtropicales en casi todo el mundo.

La densidad y cobertura de las especies presentes demostraron ser descendentes de acuerdo al piso altitudinal. En la parte más baja de evaluación a los 970 msnm, existen 3200 individuos por hectárea y un 36.6% de cobertura, a los 1000 msnm, hay 2200 individuos por hectárea con una cobertura de 15,1%.

**Tabla 4:** Estrato Arbustivo

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

**Fuente:** (Dirección de medio ambiente, 2008)

### 3.3.3. Estrato herbáceo

La cobertura de este estrato es del 10.3%, y una densidad de 84167 aprox. de individuos por hectárea integrados por la familia Gramineae, Acantáceas y Asplenidiaceae, destacándose *Oplismenus hirtellus*. Con 24167 individuos por hectárea aproximadamente siendo muy consumido por el ganado bovino, de aspecto postrado y tallos tenues que les hace accesibles al pastoreo de los animales, su habitad es en regiones boscosas, a la sombra, también se encuentra en este hábitat en todos los lugares sombríos del bosque, sempervirente. La cobertura y densidad de las especies tienen un ascenso en cuanto a los pisos altitudinales a 970 msnm, y 4 % a 12.2% de cobertura a 1000 msnm.

**Tabla 5:** Estrato Herbáceo

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

**Fuente:** (Dirección del medio ambiente, 2008)

### **3.4. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

#### **3.4.1. Uso actual de la tierra**

En general, el uso dominante es la agricultura y ganadería, seguido del aprovechamiento y uso forestal, plantaciones forestales.

Gran parte de la comunidad de Campo Largo de la Segunda Sección de Caraparí, está cubierto por bosques explotados en distintos grados de intensidad, localmente se observan cultivos agrícolas (maíz, papa, frutales como cítricos), también se dedican a la ganadería, la cual tiene un manejo tradicional, entre los animales domésticos más importantes tenemos: caballos, vacas, cerdos, aves de corral etc. (ZONISIG, 2001).

### **3.5. MATERIALES**

Para Obtener buenos resultados y con los mejores rendimientos sobre “Las propiedades mecánicas de la especie Algarrobilla” se utilizaron los siguientes materiales para las diferentes fases: de campo, aserradero, laboratorio y gabinete.

#### **3.5.1. Material de gabinete**

Para lograr una buena planificación se utilizaron de los siguientes materiales:

- ✓ Mesa o escritorio
- ✓ Mapas
- ✓ Material de escritorio
- ✓ Planillas de gabinete
- ✓ Computadora.
- ✓ Libreta de anotaciones
- ✓ Norma COPANT maderas.
- ✓ Impresoras

#### **3.5.2. Material Vegetal**

- ✓ El material requerido es la especie de Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart.*) árbol propio del Chaco Tarijeño, del municipio de Caraparí-Campo Largo.

### **3.5.3. Material de campo**

Se emplearon los siguientes materiales:

- ✓ Moto sierra
- ✓ Brújulas
- ✓ Altímetro
- ✓ Cinta diamétrica, flexómetro
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Planillas de campo
- ✓ Machete
- ✓ Hachas
- ✓ Spray color rojo
- ✓ Vehículo para el transporte del material

### **3.5.4. Material Biológico**

- ✓ Madera de la especie Algarrobilla
- ✓ Secciones transversales del árbol
- ✓ Hojas
- ✓ Flor
- ✓ Fruto
- ✓ Corteza

### **3.5.5. Material de Aserradero**

- ✓ Sierra sin fin
- ✓ Sierra circular
- ✓ Cepilladora
- ✓ Flexómetro escuadra de carpintería
- ✓ Marcadores, lápices de carpintería
- ✓ Planillas de registros

### **3.5.6. Fase de Laboratorio**

- ✓ Prensa AMSLER (con accesorios para los diferentes ensayos)
- ✓ Deflectómetro
- ✓ Probetas de madera

- ✓ Balanza eléctrica
- ✓ Vernier
- ✓ Soporte universal
- ✓ Estufa eléctrica
- ✓ Planillas para los diferentes ensayos
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Marcador indeleble
- ✓ Xilohigrómetro o medidor de humedad

### 3.6. METODOLOGÍA

Una vez conseguido las muestras de la especie se tuvo que seguir las pautas que se indica en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, para ensayos de propiedades mecánicas, se siguió la metodología establecida según las normas COPANT MADERAS, donde nos da las dimensiones exactas para una buena obtención de datos.

**Tabla 6:** Normas COPANT MADERAS 1974, para realizar los ensayos

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

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

### **3.6.1. Determinación de las propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas están relacionadas con la resistencia que ofrecen las maderas, 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 6 probetas en estado seco al aire. Es decir 2 probetas por árbol obtenidas de 3 árboles al azar, total de probetas 6, para lo cual se empleó una maquina universal de ensayos con capacidad máxima de 400 KN, existente en la Carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad Ciencias Agrícolas y Forestales.

Los ensayos se realizaron con probetas en estado seco al aire, procediendo según las normas COPANT y la clasificación visual.

### **3.6.2. Selección y colección de muestras**

Este procedimiento se basó en el sistema de selección al azar, de modo que en cada etapa cada una de las unidades componentes (zona, sub zona, bloque, árbol, troza, vigueta, probeta), tengan la misma posibilidad de ser elegidas.

### **3.6.3. Definición de la población**

De acuerdo a la finalidad del estudio, la definición de la especie Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart*) se tomó en cuenta las características dasométricas como ser: DAP a la altura de 1.30 metro sobre el nivel del suelo, edad, sanidad, calidad de copa del árbol y calidad del fuste.

#### **3.6.4. Selección de la zona**

Se tomó en cuenta la representatividad de la especie Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart*), para lo cual se instaló tres parcelas de 30 x 30m, de las cuales se ha obtenido un árbol por parcela.

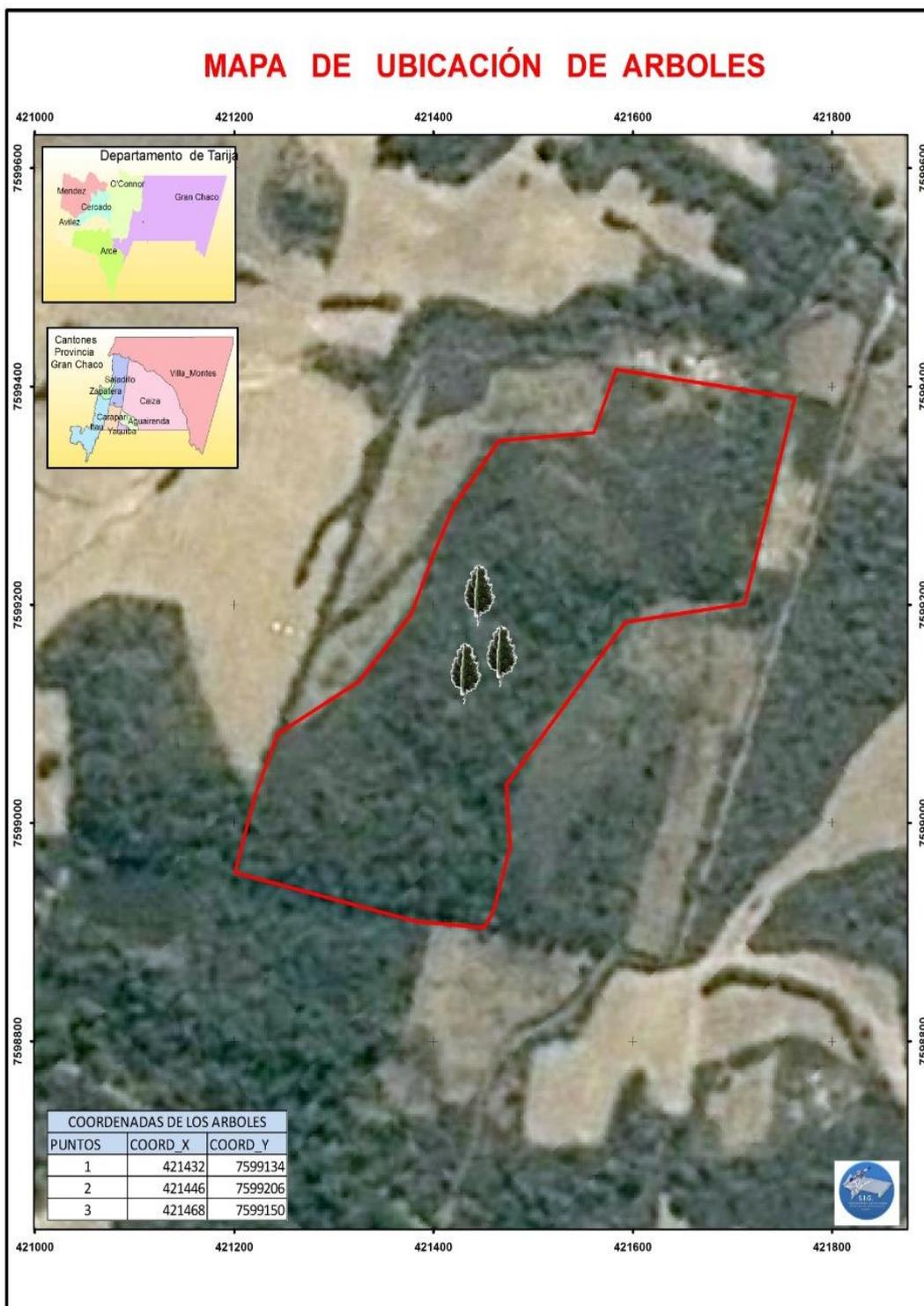
#### **3.6.5. Selección de árboles**

Para realizar los ensayos de las propiedades mecánicas de la Algarrobilla, se seleccionó al azar un árbol por parcela, utilizando un total de tres árboles, los cuales fueron seleccionados y marcados para luego proceder con el derribe, tomando en cuenta la calidad del árbol, buen fuste, copa del árbol y el DAP mínimo de 40 cm., para posteriormente elaborar las respectivas probetas.

#### **3.6.6. Ubicación del árbol**

Una vez ubicadas las parcelas, así mismo identificando los accidentes naturales y cruce de caminos; se tomó al azar un rumbo (noreste, este, y oeste) de una parcela, para la ubicación de los tres árboles.

**FIGURA 5:** Mapa de Ubicación de los Árboles



**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

### **3.6.7. Selección de las trozas**

Una vez seleccionado los árboles, se procedió al apeo, desramado y división de las trozas según la longitud del fuste; marcándolas con pintura en forma secuencial desde la parte inferior hasta la superior, luego se realizó un sorteo de las trozas a utilizar de cada árbol, registrando los datos en las planillas de campo.

### **3.6.8. Selección de viguetas dentro de la troza**

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

Este proceso por los elevados costos de extracción y transporte de las trozas hasta el aserradero y por el tiempo que requiere y además si se considera que de la troza elegida se obtendrá la pieza central y por lo tanto para facilitar la recolección de las muestras y reducir el transporte del material, se tuvo que usar una motosierra para tumbar y cortar el tablón directamente en el lugar del muestreo.

### **3.6.9. Tratamientos profilácticos**

Una vez apeado el árbol y obtenidas las trozas y los tablones centrales en la zona de muestreo se procedió de inmediato a limpiar el aserrín dejado por la motosierra para evitar el ataque de hongos, aplicando pintura, posteriormente utilizo parafina para sellar las testas y evitar rajaduras o grietas por la pérdida rápida de humedad.

### **3.6.10. Obtención de las probetas dentro de las viguetas**

Para la obtención de las probetas se procedió a aserrar los tablones centrales con una escuadría de 5\*5 cm y la longitud según la exigencia del ensayo, tomando en cuenta la correcta orientación de los anillos de crecimiento en la sección transversal y un óptimo contenido de humedad en estado seco al aire.

A continuación, se muestra un ejemplo de la probeta para el ensayo de Flexión estática de la madera:



El número de probetas a utilizar en cada ensayo de las propiedades mecánicas, se indica en el siguiente cuadro:

**Tabla 7:** Dimensiones y cantidad de probetas para los ensayos

Ensayo	Dimensiones cm	Cant. Probetas Seco al Aire
Flexión Estática	5*5*75	6
Compresión Paralela	5*5*20	6
Compresión Perpendicular	5*5*15	6
Dureza	5*5*15	6
Cizallamiento	5*5*6,3	12

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

### **3.6.11. Codificación de las probetas**

La codificación de las probetas se realizó con la finalidad de realizar una correcta tabulación de los datos a obtener luego de cada ensayo y si pudiera reemplazar correctamente si se diera el caso de existir probetas falladas. Para lo cual se utilizó marcadores en la codificación de las probetas.

#### **1A II F v 3**

**1** = Número de árbol.

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

**II** = Identificación de la vigueta seleccionada.

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

**v** = Indica el estado de la probeta (V: estado verde, S: seco al aire).

**3** = Número de las probetas.

### **3.7. Desarrollo de los ensayos de propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas están relacionadas con la resistencia que ofrecen las maderas cuando sobre ellas actúan las cargas externas.

Todos los ensayos realizados de las propiedades mecánicas se determinaron según lo indica en las nomas COPANT MADERAS, para lo cual antes de iniciar con los ensayos respectivos se ha medido cada una de las probetas a ensayar, su peso en gramos de acuerdo a las planillas propuestas para cada ensayo que hemos realizado. Cada probeta deberá estar en sus mediadas respectivas y libres de defectos.

Para la realización de los ensayos de la especie Algarrobilla, se utilizó la prensa AMSLER con una capacidad de 40 toneladas que equivale a 400 KN, ubicada en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Agrícolas y

Forestales, es una prensa universal de resistencia de materiales, provista con todos los accesorios para regular la velocidad de ensayos. (Sosa 2005).

### 3.7.1. Flexión estática

Se elaboraron 6 probetas de los 3 árboles, tomando 2 probetas por árbol en estado seco al aire, con una escuadría en la sección transversal de 5 x 5 cm y una longitudinal de 75 cm., totalmente orientadas en función a los anillos de crecimiento.

Una vez marcadas las probetas se colocó una por una en la prensa AMSLER, con una luz de 70 cm entre dos apoyos cilíndricos, se aplicó una velocidad constante de 2,5 mm/min. Asimismo, se determinó la deformación con el instrumento denominado deflectómetro en función a la carga, aplicada hasta llegar al límite de ruptura.

**Imagen 4:** Ensayo flexión estática



Para la identificación de la falla se aplicó el clasificador de flexión estática. El contenido de humedad se determinó directamente con ayuda del Xilohigrómetro digital.

Con los datos obtenidos se determina el Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP), Módulo de Ruptura (MOR) y el Módulo de Elasticidad (MOE), para cada una de las probetas ensayadas.

**a) Esfuerzo al límite proporcional (ELP)**

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

**Dónde:**

**P1** = Carga al límite proporcional en  $\vec{\text{kg}}$

**a** = Ancho de la probeta en cm

**h** = Altura de la probeta en cm

**L** = Luz de la probeta (70 cm)

**Módulo de Ruptura (MOR)**

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

**Dónde:**

**P2**= Carga máxima  $\vec{\text{kg}}$

**Módulo de Elasticidad (MOE)**

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

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

$$1 \text{ KN} = 101,972 \overline{\text{kg}}$$

### 3.7.2. Compresión paralela al grano

Se elaboró 6 probetas de 3 árboles, con 2 probetas por árbol. Como lo indica la norma COPANT MADERAS 464, las dimensiones de las probetas son de 5\*5 cm en sección transversal y 20 cm de longitud.

Se procedió a poner la probeta en la máquina para el ensayo sobre la base fija de la prensa y en la parte superior se utilizó un plato móvil para compensar posibles pequeñas fallas de escuadría en la sección transversal.

**Imagen 5:** Compresión y Cizallamiento paralela al grano



Se aplica sobre la sección transversal de la probeta una carga continua de tal manera que el plato móvil avance a una velocidad constante de 0,6 mm/min; con el deflectómetro se mide la deformación producida en la probeta, así mismo se registra la carga que fue aplicada hasta producir la falla en la probeta.

La falla se registra de forma esquemática y se clasifica según el tipo de fallas. El contenido de humedad se determinó directamente con el Xilohigrómetro, para cada una de las probetas ensayadas.

**Imagen 6:** Falla de Compresión y Cizallamiento paralela al grano



**Esfuerzo al límite proporcional (ELP)**

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

**Dónde:**

**ELP** = Esfuerzo al Límite Proporcional (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**P<sub>1</sub>** = Carga la Límite proporcional ( $\vec{kg}$ )

**A** = Área de Comprensión (cm.<sup>2</sup>)

**Módulo de Ruptura (MOR)**

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

**Dónde:**

**MOR** = Módulo de Ruptura (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**P<sub>2</sub>** = Carga Máxima ( $\vec{kg}$ )

**Módulo de Elasticidad (MOE)**

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

**Dónde:**

**MOE** = Módulo de Elasticidad (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**P<sub>1</sub>** = Carga la Límite proporcional ( $\vec{kg}$ )

**L** = Altura (cm.)

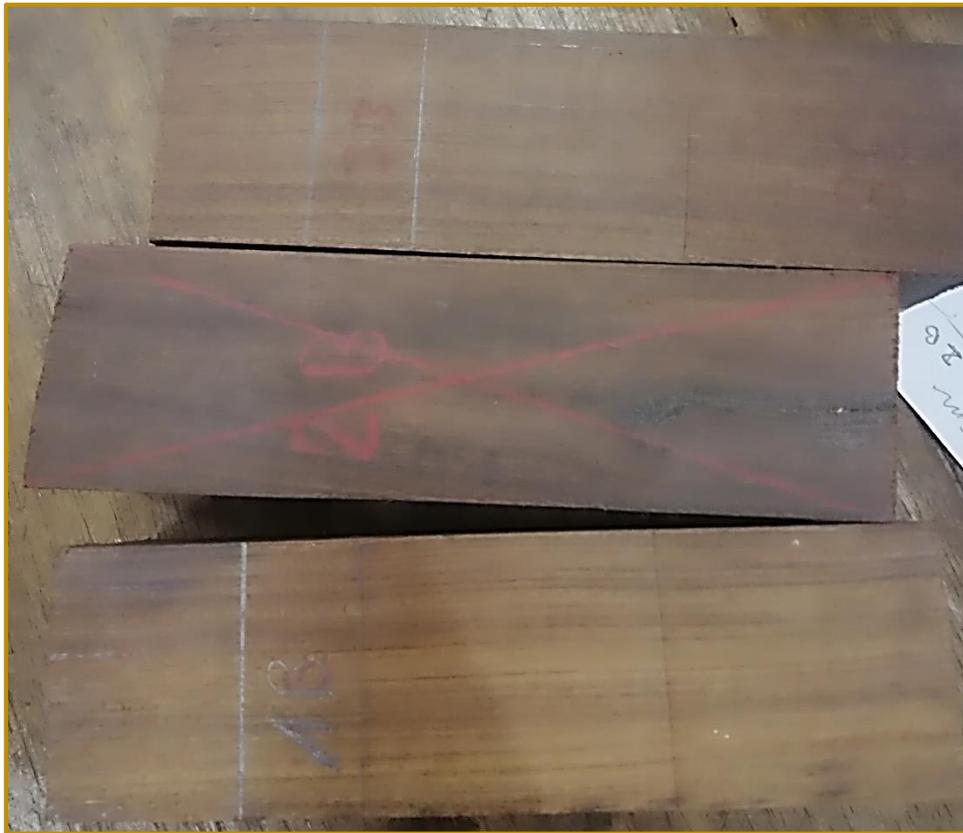
### **3.7.3. Compresión perpendicular al grano**

De acuerdo a la norma COPANT 466 se realizó el ensayo con probetas de 5\*5\*cm en sección transversal y 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 una placa metálica de 5,05\*5,05cm. de sección transversal ubicado sobre la cara radial de la probeta.

Previamente a los ensayos se colocó los accesorios de compresión perpendicular, sobre una base fija de la prensa y en la parte superior un plato móvil, la probeta se apoyó

sobre la cara radial con una velocidad uniforme de 0,3mm/min, por medio de una placa metálica de 5,05\*5,05 cm de sección, colocada transversalmente a la probeta de forma longitudinal de igual distancia a los extremos, hasta penetración de la placa metálica de 2,5 mm.

**Imagen 7:** Probetas de Compresión perpendicular al grano



Durante la ejecución del ensayo se registró la deformación y carga correspondiente, con lo cual se determinó la carga deformación, permitiendo la obtención de la carga al esfuerzo en el límite proporcional como en los casos anteriores. El contenido de humedad se determinó directamente con ayuda del Xilohigrómetro.

**Imagen 8:** Probetas ensayadas de C. Perpendicular al grano



**Esfuerzo al límite proporcional (ELP)**

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

**Dónde:**

**ELP** = Esfuerzo al Límite Proporcional (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**P<sub>1</sub>** = Carga la Límite proporcional ( $\vec{kg}$ )

**A** = Área de Compresión (cm<sup>2</sup>)

### 3.7.4. Dureza

Según la norma COPANT 465, la dureza de la madera se determina aplicando la penetración de una semiesfera metálica de 11,284 mm de diámetro. En este caso la esfera debe penetrar hasta la mitad de su diámetro.

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

**Imagen 9:** Ensayo de Dureza en uno de los extremos



El contenido de humedad se determinó directamente con ayuda del Xilohigrómetro.

El método utilizado para la determinación de la dureza es el método Janka.

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

**Dónde:**

HB = Dureza (Kg. /cm<sup>2</sup>.)

F = Fuerza ( $\vec{\text{kg}}$ .)

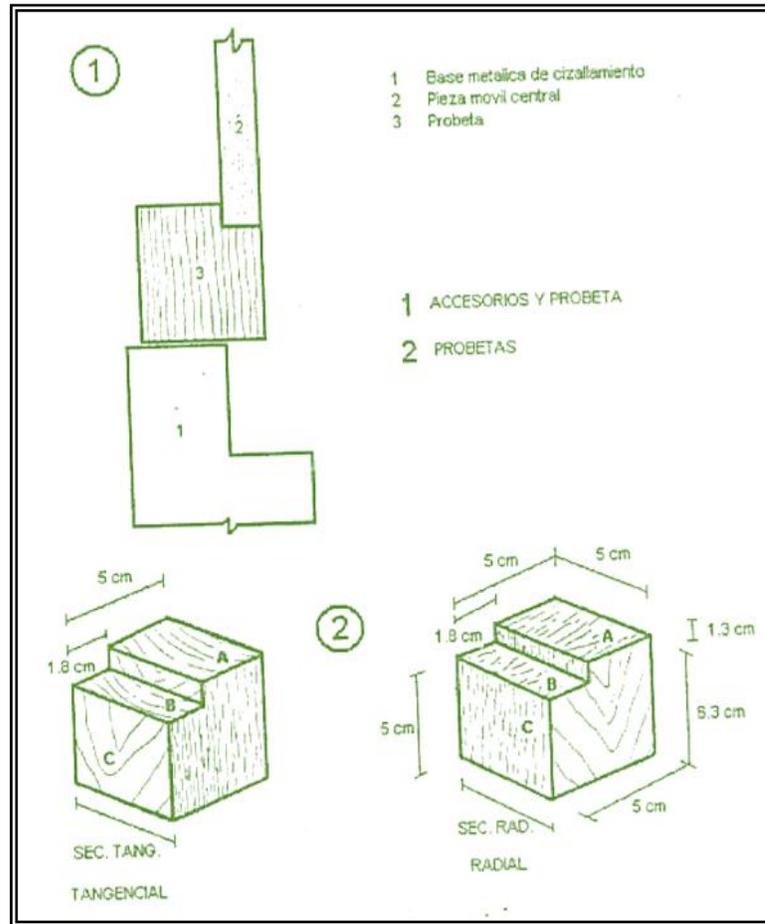
A = Área del círculo de penetración según Janka es de 1cm<sup>2</sup>.

### **3.7.5. Cizallamiento**

Se elaboraron 12 probetas para este ensayo, los cuales fueron realizados de acuerdo a la norma COPANT 463. En la preparación de las probetas se debe tener especial cuidado en las superficies indicadas como A y B, las mismas deben ser perpendiculares al grano.

Las probetas son 6 para la cara radial y 6 para la tangencial. Con dimensiones de 5\*5 cm de sección transversal y 6,3 de longitud, al mismo tiempo las probetas presentan una entalladura de 1.8\*1.5 en la orientación.

**FIGURA 6:** Esquema del Ensayo de Cizallamiento (Cruz 2006)



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

El contenido de humedad se determinó directamente con ayuda del Xilohigrómetro para cada una de las probetas ensayadas.

**Imagen 10:** Ensayo de Cizallamiento



Con los datos registrados en las planillas se determina la resistencia al Cizallamiento paralelo a la fibra, según la siguiente fórmula.

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

Dónde:

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

$P_{max}$  = Carga Máxima (kg).

$A$  = Área de la zona de Cizallamiento (cm<sup>2</sup>)

### 3.7.6. Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó directamente con ayuda del Xilohigrómetro, para cada una de las probetas ensayadas.

**Imagen 11:** Determinación del contenido de humedad



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

#### a. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó de acuerdo a lo estipulado en la norma COPANT 30:1-012, para así poder presentar los resultados que se obtuvo en el ensayo de propiedades mecánicas de la madera. Tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- Que los árboles del área (los seleccionados) no presenten defectos y tengan la misma posibilidad de entrar en el muestreo para nuestro estudio.
- Se realizó al azar la obtención de las probetas de los 3 árboles selectos.

Los datos requeridos son los siguientes:

- ★ Número d arboles ensayados (k)
- ★ Numero de probetas por arboles (L)
- ★ Total, de probetas ensayadas (N)

**Tabla 8:** Datos para el análisis estadístico

K = Número de árboles ensayados	3
L = Número de probetas por árbol	2
N = Total de probetas ensayadas	6

Estos datos permiten calcular:

#### i. Valor promedio total de todos los valores individuales

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

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

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

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

**ii. Estimación de varianza**

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

**Tabla 9:** Fórmulas para determinar la varianza

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

**Fuente:** Norma COPANT Maderas 30:1-012

$s_1^2 =$  Variación de los valores individuales entre los árboles

$s_2^2$  = Variación promedio

$s_T^2$  = Variación de todos los valores individuales

$I = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2$	$II = l \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} \left( \sum_{i=1}^l x_i \right)^2$	$III = \sum_{i=1}^N x_i^2$
---	--	----------------------------

### iii. Determinación del coeficiente de variación

Primero se realizó el cálculo de la desviación típica, que es la raíz cuadrada de los valores de variación, las fórmulas son:

$s_1 = \sqrt{s_1^2}$	$s_2 = \sqrt{s_2^2}$	$s_T = \sqrt{s_T^2}$
----------------------	----------------------	----------------------

- Coeficiente de variación para la varianza de los valores individuales entre (k) árboles se obtuvo según:

$$CV_1 = \frac{s_1}{\bar{x}} * 100$$

- Coeficiente de variación para la variancia promedio de los valores de las variancias dentro de los (k) árboles según:

$$CV_2 = \frac{s_2}{\bar{x}} * 100$$

- Coeficiente de variación total para la varianza de los valores individuales (x) alrededor del promedio total:

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

#### iv. Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio

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

Se empleó la siguiente fórmula:

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

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

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

**v. Determinación del valor relativo del intervalo de confianza**

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

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

**vi. Contenido de Humedad**

El CH de cada uno de las probetas se determinó directamente con el Xilohigrómetro.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO: COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**

**Tabla 10:** Ejemplo de cálculos estadísticos de Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

K = Número de árboles ensayados	3
L = Número de probetas por árbol	2
N = Total de probetas ensayadas	6

Nº de probeta	Nº de arboles			Lineal
	1	2	3	
1	312,16	276,06	332,97	
2	368,52	367,25	382,24	
<i>l</i>	2	2	2	6
$\sum_{i=1}^l x_i$	680,68	643,31	715,21	2039,20
X	340,34	321,66	357,61	1019,60
$\sum_{i=1}^l x_i^2$	233250,86	211081,69	256976,44	701308,98
$\frac{1}{l} = \left( \sum_{i=1}^l x_i \right)^2$	231662,63	206923,88	255762,67	694349,18

$$I = 2039,20 \text{ kg/cm}^2$$

$$II = 694349,18 \text{ kg/cm}^2$$

$$III = 701308,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma T = \frac{I}{n} = \frac{2039,20}{6} = 339,87$$

$$I = \frac{\Sigma T}{n} = \frac{(I)^2}{n} = \frac{(2039,20)^2}{6} = 693056,11$$

$$A_1 = II - I = 694349,18 - 693056,11 = 1293,07$$

$$A_2 = III - II = 701308,98 - 694349,18 = 6959,8$$

$$A_3 = III - I = 701308,98 - 2039,20 = 8252,87$$

$$S_1^2 = \frac{A_1}{2} = \frac{1293,07}{2} = 646,53$$

$$S_2^2 = \frac{A_2}{K-1} = \frac{6959,8}{3} = 2319,93$$

$$S_T^2 = \frac{A_3}{n-1} = \frac{8252,87}{5} = 1650,57$$

$$S_1 = \sqrt{S_1^2} = \sqrt{646,53} = 48,17$$

$$S_2 = \sqrt{S_2^2} = \sqrt{2319,93} = 40,63$$

$$S_T = \sqrt{S_T^2} = \sqrt{1650,57} = 40,63$$

$$Cv_1 = \frac{S_1}{\bar{x}} * 100 = \frac{48,17}{339,87} * 100 = 7,48$$

$$Cv_2 = \frac{S_2}{\bar{x}} * 100 = \frac{40,63}{339,87} * 100 = 14,17$$

$$Cv_T = \frac{S_T}{\bar{x}} * 100 = \frac{40,63}{339,87} * 100 = 11,95$$

$$\pm q = \frac{S_1}{\sqrt{n}} = \frac{48,17}{\sqrt{6}} * 4,3 = 44,63$$

$$P\% = \frac{q}{x} * 100 = \frac{44,63}{339,87} * 100 = 13,13$$

Dicho análisis contiene los siguientes valores:

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

#### 4. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

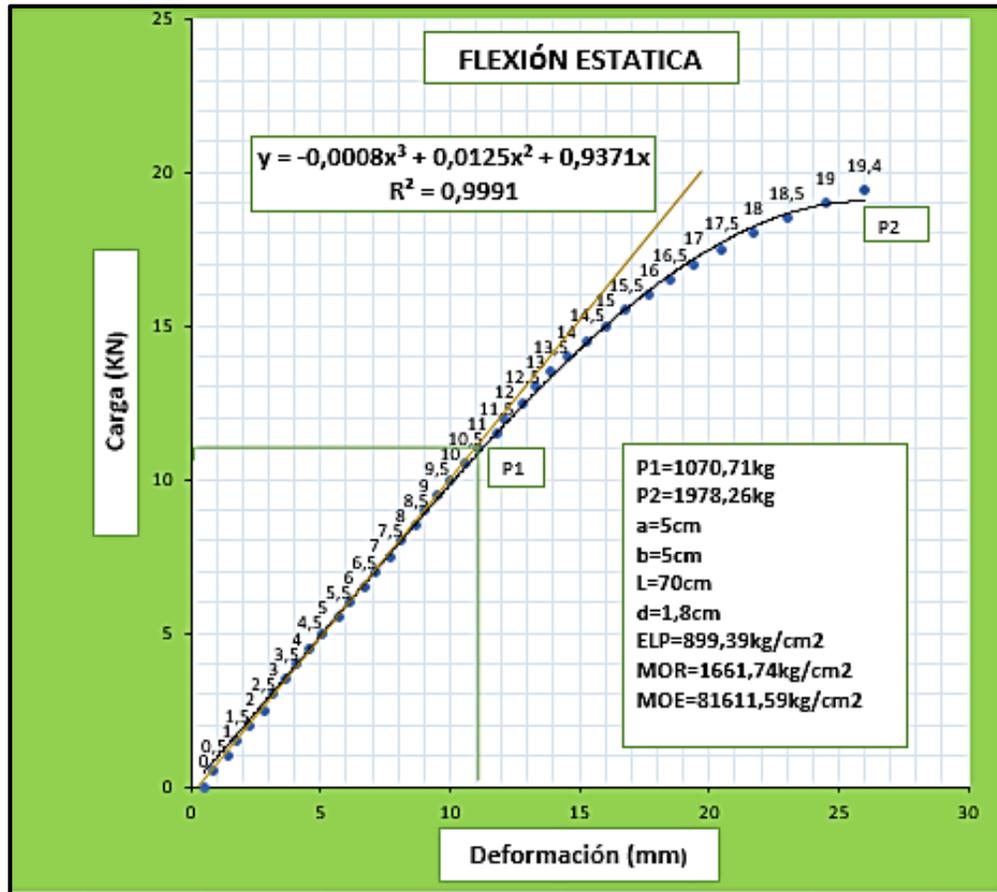
##### 4.1. Propiedades mecánicas

Una vez realizado los ensayos y obtenido los resultados de flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular, dureza y cizallamiento en el Laboratorio de Tecnología de la Madera según la norma COPANT 30:1-012L, los resultados de las propiedades mecánicas de la madera de Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, *Burkart*) son las siguientes:

#### 4.1.1. Flexión estática

Realizado de acuerdo a la Norma COPANT 455:

Gráfica 1: Flexión estática "Probeta 2B"



Cálculos:

$$ELP = \frac{3}{2} * \frac{P_1 * L}{a * h^2} = \frac{3}{2} * \frac{1070,71kg * 70cm}{5cm * 5cm^2} = 899,39kg/cm^2$$

$$MOR = \frac{3}{2} * \frac{P_2 * L}{a * h^2} = \frac{3}{2} * \frac{1978,26kg * 70cm}{5cm * 5cm^2} = 1661,74kg/cm^2$$

$$MOE = \frac{P_1 * L^3}{4 * d * a * h^3} = \frac{1070,71kg * 70cm^3}{4 * 1,8cm * 5cm * 5cm^3} = 81611,59kg/cm^2$$

<b>ESTADO</b>	<b>CH %</b>	<b>ELP kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOR kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOE kg/cm<sup>2</sup></b>
Seco Al Aire	13,8	899,39	1661,74	81611,59
Clasificación según su resistencia (MOR)			<b>Muy Alta</b>	

**Fuente:** Elaboración propia, (2020)

**Resumen total de las 6 probetas:**

<b>FLEXIÓN ESTÁTICA</b>					
<b>PROBETA</b>	<b>ELP kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOR kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOE kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>CH %</b>	<b>PESO (gr)</b>
<b>1A</b>	685,26	1490,42	89939,30	13,45	2154,18
<b>1B</b>	813,74	1456,16	94188,40	13,71	2164,99
<b>2A</b>	813,74	1199,19	83068,94	13,42	2150,78
<b>2B</b>	899,39	1661,74	81611,59	13,52	2156,6
<b>3A</b>	642,42	1567,51	89939,30	13,98	2258,61
<b>3B</b>	985,05	1541,82	86633,84	13,03	2312,60
<b>PROMEDIO</b>	<b>806,60</b>	<b>1486,14</b>	<b>87563,56</b>	<b>13,52</b>	<b>2199,63</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

Las fallas identificadas en el presente ensayo son las siguientes:

<b>FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS</b>		
<b>Tipo de Falla</b>	<b>Cant. Probetas</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tracción Simple</b>	6	Las fallas que se presentaron en las probetas ensayadas fueron mínimas, tanto en cizallamiento de las fibras y en el aplastamiento.
<b>Tracción de Grano Entrecruzado</b>	6	Las fallas que se presentaron en las 6 probetas, causo un desprendimiento mínimo en las fibras y el aplastamiento de las mismas.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

### **Contenido de humedad**

Se determinó directamente mediante el Xilohigrómetro:

### **FLEXIÓN ESTÁTICA**

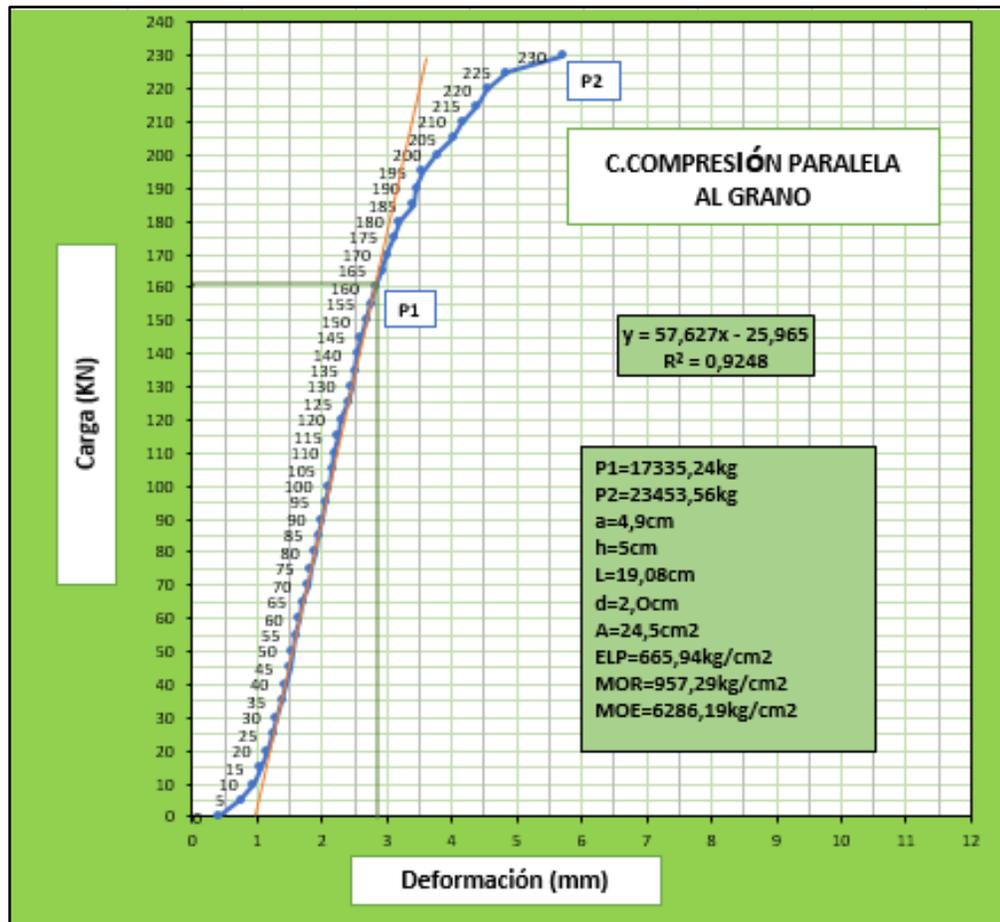
<b>Nº de probetas</b>	<b>Peso seco al aire</b>	<b>CH%</b>
1A	2154,18	13,45
1B	2164,99	13,71
2A	2150,78	13,42
2B	2156,60	13,52
3A	2258,61	13,98
3B	2312,60	13,03
<b>PROMEDIO</b>	<b>2307,50</b>	<b>13,52</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

#### 4.1.2. Compresión Paralela al Grano

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

Gráfica 2: C. Paralela al grano "Probeta 1A"



Cálculos:

$$ELP = \frac{P_1}{A} = \frac{16315,5\text{kg}}{24,5\text{cm}^2} = 665,94\text{kg/cm}^2$$

$$MOR = \frac{P_1}{A} = \frac{16315,5\text{kg}}{24,5\text{cm}^2} = 957,29\text{kg/cm}^2$$

$$MOE = \frac{P_1 * L}{A * d} = \frac{16315,5 \text{ kg} * 19,08\text{cm}}{24,5\text{cm}^2 * 2,0\text{cm}} = 6286,19\text{kg/cm}^2$$

ESTADO	CH %	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
Seco Al Aire	13,8	665,94	957,29	6286,19
Clasificación según su resistencia (MOR)			Muy Alta	

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

Resumen total de las 6 probetas:

COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO						
PROBETA	ELP (Kg/Cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/Cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/Cm <sup>2</sup> )	CH%	PESO	CLASIFICACIÓN SEGÚN (MOE)
1A	665,94	957,29	6286,19	13,8	2347,72	MUY ALTA
1B	712,38	915,92	5647,46	13,5	2356,71	
2A	772,89	972,35	8524,84	13,8	2456,91	
2B	624,32	844,91	4772,43	13,9	2553,46	
3A	652,62	836,17	5585,67	13,5	2164,63	
3B	665,94	836,59	6652,20	13,8	2231,67	
<b>promedio</b>	<b>682,35</b>	<b>893,87</b>	<b>6244,80</b>	<b>13,72</b>	<b>2351,85</b>	

Las fallas identificadas en los ensayos son las siguientes:

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS		
Tipo de Falla	Cant. Probetas	Observaciones
<b>Aplastamiento</b>	6	El plano de ruptura es aproximadamente horizontal. Las fallas fueron mínimas y no hubo desprendimiento total en el cizallamiento y aplastamiento.
<b>Rajadura y Achatamiento</b>	6	Se puede observar la dirección de la fibra radial o tangencial. Las fallas fueron mínimas y no se presentó astillamientos múltiples.

Fuente:(Elaboración propia, 2020)

### Contenido de humedad

Se realizó directamente la toma con el Xilohigrómetro.

#### Compresión Paralela al grano

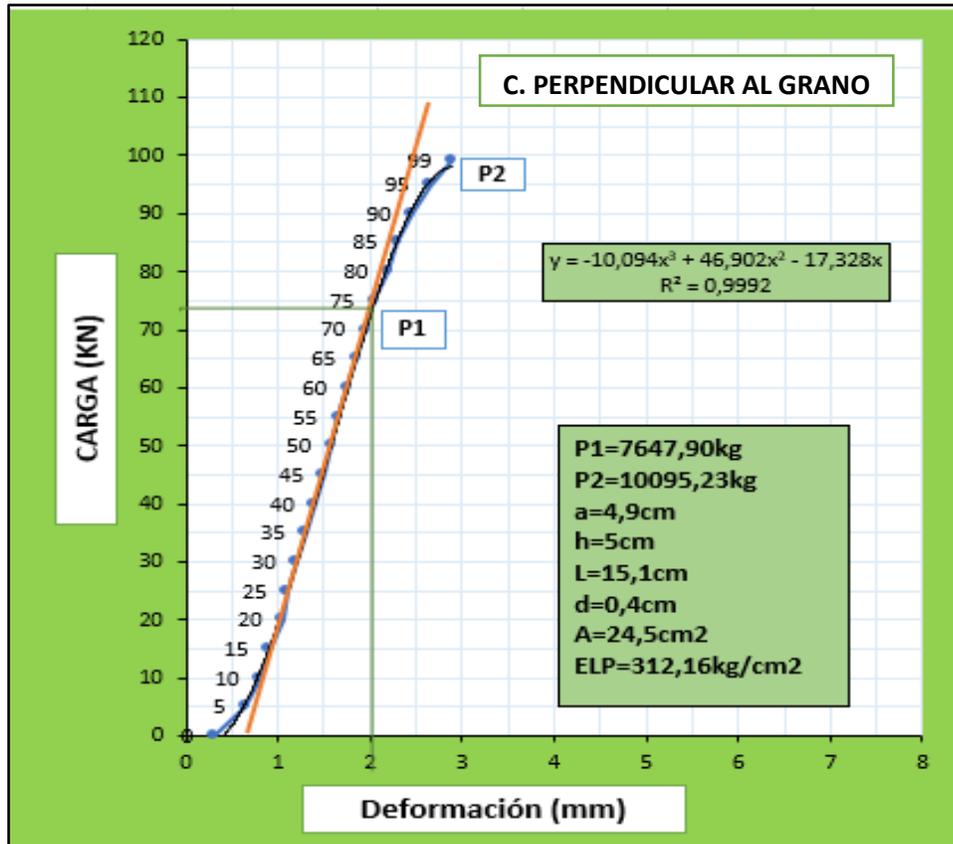
N° de probetas	Peso seco al aire (gr)	CH%
1A	2347,72	13,8
1B	2356,71	13,5
2A	2456,91	13,8
2B	2553,46	13,9
3A	2164,63	13,5
3B	2231,67	13,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>2351,85</b>	<b>16,05</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 4.1.3. Compresión perpendicular al grano

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

**Gráfica 3:** C. Perpendicular al grano “Probeta 1A”



**Cálculos:**

$$ELP = \frac{P_1}{A} = \frac{7647,90\text{kg}}{24,5\text{cm}^2} = 8667,60\text{kg/cm}^2$$

ESTADO	CH %	ELP kg/cm <sup>2</sup>
<b>Seco Al Aire</b>	13,61	312,16
Clasificación según su resistencia (MOR)		<b>Muy Alta</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

Resumen total de las 6 probetas:

<b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>ELP</b>	<b>CH</b>	<b>PESO</b>
<b>1A</b>	312,16	13,61	2256,72
<b>1B</b>	368,52	13,08	2287,47
<b>2A</b>	276,06	13,82	2329,70
<b>2B</b>	367,25	13,38	2457,84
<b>3A</b>	332,97	13,79	2375,81
<b>3B</b>	382,24	13,85	2247,85
<b>PROMEDIO</b>	<b>339,87</b>	<b>13,59</b>	<b>2325,90</b>

### Contenido de humedad

Se realizó directamente con el Xilohigrómetro.

<b>N° de Probetas</b>	<b>Peso seco al aire</b>	<b>CH%</b>
1A	2256,72	16,61
1B	2287,47	16,08
2A	2329,7	15,82
2B	2457,84	16,38
3A	2375,81	14,79
3B	2247,85	15,85
<b>Promedios</b>	<b>2325,90</b>	<b>15,92</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

#### 4.1.4. Dureza

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

**Cálculos:**

**Datos:**

$$F = 18,5 \text{ KN}$$

$$A = 11,284 \text{ mm}$$

$$\text{Convertir: } 18,5 \text{ KN} * \frac{101,972 \text{ kg}}{1 \text{ KN}} = 1886,48 \text{ kg}$$

$$1 \text{ mm} \rightarrow 11,284 \text{ mm} \rightarrow 1,1284 \text{ cm}^2$$

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{1886,48 \text{ kg}}{1,1284 \text{ cm}^2} = 1671,82 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculos realizados para la cara Radial:

DUREZA EN Kg/cm2			
PROBETA	R1 kg/cm2	R2 kg/cm2	PROMEDIO R1/R2
1A	1671,82	1608,56	1640,19
1B	1906,88	1491,08	1698,98
2A	1735,08	1735,08	1735,08
2B	1762,19	1789,30	1775,74
3A	1707,97	1771,22	1739,60
3B	1762,19	1617,59	1689,89

Resumen total de las 6 Probetas:

<b>DUREZA EN Kg/cm<sup>2</sup></b>				
<b>PROBETA</b>	<b>CH%</b>	<b>PROMEDIO R1/R2</b>	<b>PROMEDIO Tg1/Tg2</b>	<b>PROMEDIO EX1/Ex2</b>
<b>1A</b>	13,52	1640,19	1667,3	1747,98
<b>1B</b>	13,50	1698,98	1676,34	1694,41
<b>2A</b>	13,00	1735,08	1798,33	1712,48
<b>2B</b>	13,50	1775,74	1518,19	1613,08
<b>3A</b>	13,50	1739,60	1735,08	1735,08
<b>3B</b>	13,51	1689,89	1694,41	1685,37
<b>PROMEDIO</b>	<b>13,42</b>	<b>1713,25</b>	<b>1681,61</b>	<b>1698,07</b>

<b>ESTADO</b>	<b>CH %</b>	<b>RADIAL kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>TANGENCIAL kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>EXTREMOS kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Seco al Aire</b>	13,42	1713,25	1681,61	1698,07
Clasificación según su resistencia:		<b>Muy Alta</b>	<b>Muy Alta</b>	<b>Muy Alta</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

### Contenido de humedad

Se realizó directamente con el Xilohigrómetro instrumento que mide el CH%.

### Dureza

N° de probetas	Peso seco al aire (gr)	CH%
1A	432,45	13,52
1B	431,63	13,50
2A	437,22	13,00
2B	432,29	13,50
3A	435,31	13,50
3B	432,71	13,51
<b>PROMEDIO</b>	<b>433,60</b>	<b>13,42</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 4.1.5. Cizallamiento

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT 463: Probeta 1Ar (radial) y 1At (tangencial):

**Cálculos:**

**Datos**

**Carga**= 46,6KN

**Área** = 4,93cm<sup>2</sup>

**1KN** =101,972kg

**Convertir:** KN → kg

$$= 46,6\text{KN} * 101,972\text{kg}$$

$$\sqrt{\text{cizall}} = \frac{P_{\text{max}}}{A} = \frac{4751,89\text{kg}}{4,93\text{cm}^2} = 963,87\text{kg/cm}^2$$

<b>ESTADO</b>	<b>RADIAL kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>TANGENCIAL kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Seco al Aire</b>	963,87	1052,81
Clasificación según su resistencia:	Muy Alta	Muy alta

Resumen total de las 6 probetas para radial y tangencial:

<b>CIZALLAMIENTO</b>				
<b>PROBETAS</b>	<b>RADIAL</b>	<b>CH%</b>	<b>TANGENCIAL</b>	<b>CH%</b>
<b>1</b>	963,87	13,51	1052,81	13,96
<b>2</b>	1220,56	13,42	1524,41	13,75
<b>3</b>	1131,41	13,40	1365,14	13,06
<b>4</b>	1092,22	13,97	1288,61	13,36
<b>5</b>	1175,99	13,91	1444,78	13,41
<b>6</b>	1111,81	13,68	1326,88	13,21
<b>PROMEDIOS</b>	<b>1115,98</b>	<b>13,65</b>	<b>1333,77</b>	<b>13,46</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Contenido de humedad:**

Se realizó directamente con el Xilohigrómetro instrumento que mide el CH%:

**Cizallamiento**

<b>N° de Probetas</b>	<b>Peso seco al Aire (gr)</b>	<b>CH%</b>
1	164,9	13,51
2	164,73	13,42
3	166,25	13,40
4	164,82	13,97
5	165,49	13,91
6	165,58	13,68
7	164,25	13,96
8	170,28	13,75
9	166,95	13,06
10	167,27	13,36
11	168,62	13,41
12	165,60	13,21
<b>PROMEDIO</b>	<b>168,25</b>	<b>13,46</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

#### 4.2. PROMEDIOS TOTALES DE LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO:

A continuación, se presenta los promedios obtenidos en cuanto a los ensayos de propiedades mecánicas de la Algarrobilla:

##### a) Flexión estática

Fue realizado de acuerdo a la norma COPANT MADERAS 455, a continuación se presenta el promedio de las 6 probetas y su clasificación.

ESTADO	CH %	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
Seco Al Aire	13,52	806,60	1486,14	87563,56
Clasificación según su resistencia (MOR)			Muy Alta	

##### b) Compresión paralela al grano

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 464, para lo cual se presenta el promedio de las 6 probetas y su clasificación.

ESTADO	CH %	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
Seco Al Aire	13,72	682,35	893,87	6244,80
Clasificación según su resistencia (MOE):			Muy Alta	

##### c) Compresión perpendicular al grano

Se realizó de acuerdo a la norma COPANT 466, para lo cual se presenta el promedio de las 6 probetas y su clasificación.

ESTADO	CH %	ELP kg/cm <sup>2</sup>
Seco al Aire	13,59	339,87
Clasificación según su resistencia (ELP):		Muy Alta

**d) Dureza**

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 465, presentando a continuación el promedio de las 6 probetas y su clasificación.

ESTADO	CH %	RADIAL kg/cm <sup>2</sup>	TANGENCIA L kg/cm <sup>2</sup>	EXTREMOS kg/cm <sup>2</sup>
Seco al Aire	13,42	1713,25	1681,61	1698,07
Clasificación según su resistencia:		Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

**e) Cizallamiento**

Fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 460, para lo cual se presenta los promedios de las 6 probetas y su clasificación.

ESTADO	CH%	RADIAL kg/cm <sup>2</sup>	CH%	TANGENCIAL kg/cm <sup>2</sup>
Seco al Aire	13,65	1115,98	13,46	1333,77
Clasificación según su resistencia:	Muy Alta			

**f) Contenido de humedad**

Se realizó directamente con el Xilohigrómetro la toma de datos.

Estado	CH%
seco ala aire	13,68

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Tabla 11: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

ENSAYOS	ESTADO			
	SECO AL AIRE			
	Media	P %	CV <sub>1</sub>	CV <sub>T</sub>
<b>FLEXIÓN ESTÁTICA</b>				
Contenido de Humedad %	13,42	1,03	0,59	2,35
Esfuerzo al Límite Proporcional (Kg/cm <sup>2</sup> )	995,76	9,89	5,64	16,31
Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	1593,21	10,54	6	10,59
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	85417,45	13,9	7,92	5,40
<b>COMPRESIÓN PARALELA</b>				
Contenido de Humedad %	13,72	2,09	1,19	1,26
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	682,35	7,47	4,25	7,72
Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	893,87	14,36	8,18	7,02
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	6244,80	14,23	8,11	20,66
<b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR</b>				
Contenido de Humedad %	13,59	5,75	3,28	2,24
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	339,87	13,13	7,48	11,95
<b>DUREZA</b>				
Contenido de Humedad %	13,42	2,75	1,57	1,54
Radial (kg/cm <sup>2</sup> )	1713,25	6,22	3,54	2,76
Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	1681,61	4,36	2,48	5,55
Extremos (kg/cm <sup>2</sup> )	1698,07	4,54	2,59	2,82
<b>CIZALLAMIENTO</b>				
Contenido de Humedad Radial %	13,65	3,06	1,74	1,81
Esf. Unit. Max. Radial (EUM) (kg/cm <sup>2</sup> )	1105,28	5,8	3,31	7,86
Contenido de Humedad Tangencial %	13,46	6,4	3,65	2,51
Esf. Unit. Max. Tangencial (EUM) (kg/cm <sup>2</sup> )	1314,12	9,11	5,19	12,12

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Datos totales de las propiedades mecánicas de la madera de Algarrobilla  
(*Caesalpinia Paraguariensis*)**

**Tabla 12:** Flexión estática

<b>FLEXIÓN ESTÁTICA</b>					
<b>N° Árbol</b>	<b>Prob.</b>	<b>ESTADO SECO AL AIRE</b>			
		<b>C.H. %</b>	<b>ELP Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOR Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOE Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1	13,45	1052,81	1490,42	89939,30
	2	13,71	1524,41	1456,16	94188,40
2	1	13,42	1365,14	1199,19	83068,94
	2	13,52	1288,61	1661,74	81611,59
3	1	13,98	1444,78	1567,51	89939,30
	2	13,03	1326,88	1541,82	86633,84
<b>X</b>		<b>13,52</b>	<b>1333,77</b>	<b>1486,14</b>	<b>87563,56</b>
<b>S<sub>1</sub></b>		0,08	46,26	89,22	6932,40
<b>S<sub>2</sub></b>		0,40	168,61	189,64	2276,87
<b>S<sub>T</sub></b>		0,32	133,84	157,36	4725,86
<b>CV<sub>1</sub> %</b>		0,59	5,64	6,00	7,92
<b>CV<sub>2</sub> %</b>		2,99	20,54	12,76	2,60
<b>CV<sub>T</sub> %</b>		2,35	16,31	10,59	5,40
<b>Q</b>		0,14	81,19	156,59	12167,07
<b>P %</b>		<b>1,03</b>	<b>9,89</b>	<b>10,54</b>	<b>13,90</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Tabla 13:** Compresión paralela al grano

<b>COMPRESIÓN PARALELA</b>					
<b>N° Árbol</b>	<b>Prob.</b>	<b>ESTADO SECO AL AIRE</b>			
		<b>C.H. %</b>	<b>ELP Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOR Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MOE Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1	13,80	665,94	957,29	6286,19
	2	13,80	712,38	915,92	5647,46
2	1	13,50	772,89	972,35	8524,84
	2	13,89	624,32	844,91	4772,43
3	1	13,50	652,62	836,17	5585,67
	2	13,80	665,94	836,59	6652,20
<b>X</b>		<b>13,72</b>	<b>682,35</b>	<b>893,87</b>	<b>6244,80</b>
<b>S<sub>1</sub></b>		0,16	29,03	73,14	506,16
<b>S<sub>2</sub></b>		0,18	63,78	54,70	1613,80
<b>S<sub>T</sub></b>		0,17	52,71	62,73	1290,38
<b>CV<sub>1</sub> %</b>		1,19	4,25	8,18	8,11
<b>CV<sub>2</sub> %</b>		1,30	9,35	6,12	25,84
<b>CV<sub>T</sub> %</b>		1,26	7,72	7,02	20,66
<b>Q</b>		0,29	50,95	128,37	888,36
<b>P %</b>		<b>2,09</b>	<b>7,47</b>	<b>14,36</b>	<b>14,23</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Tabla 14:** Compresión perpendicular al grano

<b>COMPRESION PERPENDICULAR</b>			
<b>N° Árbol</b>	<b>Prob.</b>	<b>ESTADO SECO AL AIRE</b>	
		<b>C.H. %</b>	<b>ELP Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1	13,61	312,16
	2	13,82	368,52
2	1	13,08	276,06
	2	13,38	367,25
3	1	13,79	332,97
	2	13,85	382,24
<b>X</b>		<b>13,59</b>	<b>339,87</b>
<b>S<sub>1</sub></b>		0,45	25,43
<b>S<sub>2</sub></b>		0,15	48,17
<b>S<sub>T</sub></b>		0,30	40,63
<b>CV<sub>1</sub> %</b>		3,28	7,48
<b>CV<sub>2</sub> %</b>		1,11	14,17
<b>CV<sub>T</sub> %</b>		2,24	11,95
<b>Q</b>		0,78	44,63
<b>P %</b>		<b>5,75</b>	<b>13,13</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Tabla 15: Dureza**

<b>DUREZA</b>					
<b>N° Árbol</b>	<b>Prob.</b>	<b>ESTADO SECO AL AIRE</b>			
		<b>C.H. %</b>	<b>RADIAL Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>TANGENCIAL Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>EXTREMOS Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1	13,52	1640,19	1667,30	1747,98
	2	13,50	1698,98	1676,34	1694,41
2	1	13,00	1735,08	1798,33	1712,48
	2	13,50	1775,74	1518,08	1613,08
3	1	13,50	1739,60	1735,08	1735,08
	2	13,51	1689,89	1694,41	1685,37
<b>X</b>		<b>13,42</b>	<b>1713,25</b>	<b>1681,59</b>	<b>1698,07</b>
<b>S<sub>1</sub></b>		0,21	60,72	41,73	43,91
<b>S<sub>2</sub></b>		0,20	35,54	115,67	50,37
<b>S<sub>T</sub></b>		0,21	47,25	93,40	47,89
<b>CV<sub>1</sub> %</b>		1,57	3,54	2,48	2,59
<b>CV<sub>2</sub> %</b>		1,52	2,07	6,88	2,97
<b>CV<sub>T</sub> %</b>		1,54	2,76	5,55	2,82
<b>Q</b>		0,37	106,56	73,24	77,06
<b>P %</b>		<b>2,75</b>	<b>6,22</b>	<b>4,36</b>	<b>4,54</b>

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Tabla 16:** Cizallamiento

<b>CIZALLAMIENTO</b>					
<b>N° Árbol</b>	<b>Prob.</b>	<b>ESTADO SECO AL AIRE</b>			
		<b>RADIAL</b>	<b>CH%</b>	<b>TANGENCIAL</b>	<b>CH%</b>
1	1	963,87	13,51	1052,81	13,96
	2	1220,56	13,42	1524,41	13,75
2	1	1131,41	13,4	1365,14	13,06
	2	1092,22	13,97	1288,61	13,36
3	1	1175,99	13,91	1444,78	13,41
	2	1111,81	13,68	1326,88	13,21
<b>X</b>		<b>1115,98</b>	<b>13,65</b>	<b>1333,77</b>	<b>13,46</b>
<b>S<sub>1</sub></b>		36,90	0,24	69,26	0,49
<b>S<sub>2</sub></b>		109,20	0,25	200,90	0,17
<b>S<sub>T</sub></b>		87,74	0,25	161,66	0,34
<b>CV<sub>1</sub> %</b>		3,31	1,74	5,19	3,65
<b>CV<sub>2</sub> %</b>		9,78	1,86	15,06	1,27
<b>CV<sub>T</sub> %</b>		7,86	1,81	12,12	2,51
<b>Q</b>		64,76	0,42	121,56	0,86
<b>P %</b>		5,80	3,06	9,11	6,40

**Fuente:** (Elaboración propia, 2020)

**Tabla 17: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Ensayo	Resultados	Rango	Clasificación	Posibles Usos
<b>Flexión Estática (MOR)</b>	1486,14 kg/cm <sup>2</sup>	Mayor de 1000 kg/cm <sup>2</sup>	Muy Alta	Maderas de construcción en estructuras
<b>Compresión Paralela (MOE)</b>	6244,80 kg/cm <sup>2</sup>	Mayor de 480 kg/cm <sup>2</sup>	Muy alta	Maderas de construcción en estructuras
<b>Compresión Perpendicular (ELP)</b>	339,87 kg/cm <sup>2</sup>	Mayor de 100 kg/cm <sup>2</sup>	Muy alta	Maderas de Construcción – Estructuras, durmientes
<b>Dureza (LADOS)</b>	Radial 1713,25 kg/cm <sup>2</sup>	Mayor de 900 kg/cm <sup>2</sup>	Muy alta	Resistencia al ataque de hongos e insectos o fácil de tratar, durmientes
	Tangencial 1681,59 kg/cm <sup>2</sup>		Muy alta	
	Extremos 1698,07 kg/cm <sup>2</sup>		Muy alta	
<b>Cizallamiento</b>	Radial 1115,98 kg/cm <sup>2</sup>	Mayor de 120 kg/cm <sup>2</sup>	Muy alta	Maderas de Construcción – Estructuras, Durmientes, mangos de herramientas, artículos atléticos y deportivos
	Tang 1333,77kg/cm <sup>2</sup>		Muy alta	

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Logrado los objetivos trazados del presente estudio y ya obtenidos los resultados en estado seco al aire de la especie, Algarrobilla se tiene las siguientes conclusiones:

♣ **Flexión estática**

De acuerdo a la clasificación de las maderas según sus propiedades para maderas mayor de 1000 kg/cm<sup>2</sup> se clasifica como madera **muy alta** y resistente a la flexión estática, según el módulo de Ruptura el valor obtenido en el ensayo es de 1593,21 Kg/cm<sup>2</sup>.

La falla que presentó en este ensayo es de tracción simple.

♣ **Compresión paralela al grano**

Se clasifica como madera de resistencia **muy alta** de acuerdo al módulo de elasticidad con un valor de 6244,80 kg/cm<sup>2</sup> en estado seco al aire. Las fallas que se observaron en las probetas ensayadas fueron mínimas en cizallamiento y en el aplastamiento de las fibras.

♣ **Compresión perpendicular**

Presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras con un esfuerzo al límite proporcional en estado seco al aire de 339,87 kg/cm<sup>2</sup>, representando una madera de resistencia **muy alta** a la penetración de la placa metálica.

♣ **Dureza**

Este ensayo mide la resistencia de la madera a la penetración de la esfera según Janka, se determina que los valores son más altos en estado seco al aire en todas sus caras las cuales son: radial 1713,25 kg/cm<sup>2</sup>, tangencial 1681,61 kg/cm<sup>2</sup>, extremos 1698,07kg/cm<sup>2</sup>, clasificados según sus lados como una madera **muy alta** a la penetración según lo que indica la tabla de clasificación de maderas.

### ♣ **Cizallamiento**

Indica la acción de las fuerzas paralelas en dirección opuesta, los resultados obtenidos del esfuerzo de ruptura en estado seco al aire son: radial 1105,28 kg/cm<sup>2</sup>, tangencial 1314,12 kg/cm<sup>2</sup>; clasificándola como una madera muy alta a la resistencia al corte del cizallamiento en cara radial como tangencial que se produce por las fibras.

### ♣ **Contenido de Humedad (CH)**

El CH mediante las mediciones directas con el Xilohigrómetro es de 13,56%, encontrándose dentro el rango de 18 a 12 % en estado seco al aire.

Según (Castro W. 2019) la Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, Burkart), presenta un peso específico básico de 0,98 gr/cm<sup>3</sup>, es decir es una madera de densidad muy alta, caracterizada por tener una buena resistencia mecánica y alta durabilidad natural

Finalmente, de acuerdo a la Clave de Clasificación de Maderas según Hannes Hohesel (1972) la madera de la Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, Burkart), puede tener los siguientes usos: Construcción de viviendas, especialmente en estructuras empernadas, en carpintería como ser marcos para puertas y ventanas, zócalos, parquet, carrocerías, postes para alambrados y cerramientos, trabillas para tendido eléctrico y durmientes.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Según los resultados obtenidos en el presente estudio y aplicando la norma COPANT MADERAS para propiedades mecánicas (flexión estatista, compresión paralela, compresión perpendicular, dureza y cizallamiento) de la especie de Algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*, Burkart). según los resultados obtenidos es una madera absolutamente dura y resistente ante los movimientos y el peso.

- ✚ Es apreciable por su gran resistencia, es por eso que se recomienda su uso en vigas, postes, durmientes, varillas de alambrados, carpintería para marcos de puertas y ventanas por el veteado y color apreciable, así también para zócalos, parquet, carrocerías, columnas, recubrimientos de exteriores, tranqueras, etc.

- ✚ Realizar estudios ecológicos y la calidad del sitio para tener en cuenta las implementaciones de nuevas especies maderables para uso comercial y estas puedan adaptarse bien en su entorno, con un buen aprovechamiento.
- ✚ Para un buen estudio de la Algarrobilla se recomienda elaborar estudios sobre las propiedades químicas, como también trabajabilidad, propiedades acústicas y así poder complementar los resultados obtenidos en la facultad de ciencias agrícolas y forestales del presente trabajo.
- ✚ Publicar los resultados a diferentes empresas madereras, carpinterías para que hagan un correcto uso de la madera de algarrobilla, ya que presenta una alta resistencia.