

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso correcto de la madera requiere 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 pueden existir diferencias entre árboles diferentes o piezas de un mismo árbol. Asimismo, las propiedades mecánicas están afectadas por una serie de características fundamentales, donde el contenido de humedad de la madera es central. Las propiedades mecánicas definen el comportamiento, aptitud y capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas externas. (Mercedes M. 2012)

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

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

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

Una segunda caracterización, más científica que real, se efectúa tradicionalmente mediante el uso de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos. La caracterización de este tipo nos arroja luz sobre cuáles podrían ser los valores de

resistencia de una madera, si la silvicultura y mejora genética aplicadas nos permitiera producir una madera de fibra perfectamente recta, sin defecto alguno. (Hermoso E. 2001)

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

La madera ha sido para el hombre un elemento de vital importancia puesto que este material natural le ha brindado innumerables beneficios, actualmente si bien es cierto, numerosos materiales han podido ir remplazando a la madera en diversas funciones, pero ninguno de estos materiales puede compararse con la belleza y estética que la madera nos puede ofrecer; es por esta situación, que ya el hombre desde hace mucho tiempo viene empleando y utilizando este recurso, y para nuestro caso particular, 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 en aumento.

Es por esto que se requiere estudios de nuevas especies que se presentan en nuestro país, para suplir esta demanda, como es el caso del Cambará que ya actualmente está siendo aprovechado, pero podría ser el caso, que no se le esté tomando la importancia que esta especie pueda significar, en otros países, esta especie conforma una importante alternativa a la hora de sus posibles y variables aplicaciones como puertas y ventanas, marcos para puertas, ebanistería, muebles, cajonería, tornería, etc.

De esta forma al realizar el estudio de las propiedades mecánicas de la madera de Cambará, procedente del municipio de Ixiamas, departamento de La Paz, podremos corroborar si nuestros árboles presentan similares características a las presentadas en otros países y brindarle el mejor uso posible a su madera.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar las propiedades mecánicas de la especie Cambará *Erisma uncinatum Warm.*, proveniente del municipio de Ixiamas, departamento de La Paz, mediante la aplicación de las normas COPANT MADERAS.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la Flexión Estática en base a la norma COPANT 455.
- Determinar la Cizalladura en base a la norma COPANT 463.
- Determinar la Compresión paralela al grano en base a la norma COPANT 464.
- Determinar la Dureza en base a la norma COPANT 465.
- Determinar la Compresión perpendicular al grano en base a la norma COPANT 466.
- Determinar a la Extracción de clavos en base a la norma COPANT 744.

**CAPÍTULO II**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. LA ESTRUCTURA DE LA MADERA**

Desde el exterior hacia el interior, las diferentes partes del tronco de un árbol son las siguientes: Corteza exterior, súber o corteza propiamente dicha: Protege al árbol contra los peligros del exterior. Se renueva constantemente, no permite que pase el agua de lluvia y evita que, cuando incide el sol, se produzca una evaporación demasiado fuerte. Sirve además de protección contra el frío, el calor y la invasión de hongos e insectos. [1]

#### **2.1.1. Corteza interna, floema o líber**

Está formada por tejido vivo y transporta, en sentido descendente, hasta las raíces, los alimentos fabricados en la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. El floema puede tener fibras de líber, que son muy fuertes, y en algunas especies constituyen la materia prima de la que se obtienen fibras comerciales. Estas células viven un tiempo relativamente corto, después mueren y se convierten en suber para finalmente formar parte de la corteza externa protectora. [1]

#### **2.1.2. Cámbium**

Esta capa de células se encuentra siempre en período de división y produce alternativamente células de floema y xilema. Cuando una célula del cambium se divide para formar células de xilema, la que ocupa una posición más interna de las dos resultantes se transforma en xilema, mientras que la exterior sigue actuando como cambium en la división siguiente. Cuando ésta ocurre, la célula más externa se transforma en célula del floema, y la interna sigue actuando como cambium, y así sucesivamente, produciendo cada año corteza

nueva y madera nueva. Las auxinas, hormonas que se generan en los brotes de las hojas y extremos de las ramas tan pronto como comienzan a brotar en primavera son las responsables que se produzcan los cambios químicos que originan este crecimiento. [1]

### **2.1.3. Xilema**

Es el término botánico de la madera, y está formado por tejido leñoso. Dado que las células del xilema producidas en primavera son grandes y las formadas más tarde pequeñas, y que durante el invierno el crecimiento se interrumpe, la madera que se forma cada año adopta la forma de anillo anual o de crecimiento. Se diferencian unos de otros por una diferencia de color que alterna el claro (madera primeriza correspondientes al crecimiento primaveral), y el oscuro (madera tardía correspondiente al crecimiento otoñal más lento), de forma que cada alternancia de anillo claro a anillo oscuro indica un año en la vida del árbol. La anchura de cada anillo se ve afectada por el clima, el tipo de árbol y otras variables. [1]

### **2.1.4. Albura**

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

### **2.1.5. Duramen o corazón**

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

## **2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA**

En lo referente a la composición química de las maderas, al igual que cualquier sustancia de origen natural orgánico, estarán formadas por carbono (50%), oxígeno (42%), hidrógeno (6%) y nitrógeno (0.2%), principalmente, además de otros elementos inorgánicos como fósforo, sodio o calcio. En cuanto a los componentes moleculares tenemos:

- Celulosa (50%): es un hidrato de carbono que se descompone rápidamente con la humedad, pero es inalterable en ambiente seco.
- Lignina (20%): no se conoce con exactitud su composición química, pero es la sustancia que actúa como cementante, endureciendo la madera.
- Hemicelulosa (~20%): es la responsable de la unión fibrosa en la madera, sin influir en la dureza ni en las propiedades mecánicas. Son fácilmente atacables por los hongos.
- Otras: como colorantes, resinas, almidón, taninos, oleínas, azúcares, etc. En cualquier caso, las composiciones dadas pueden variar, en mayor o menor medida, dependiendo del tipo de árbol y de las condiciones de crecimiento. [1]



### 2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Es un árbol grande, que alcanza 30-45 m de altura. Las hojas son alternas, elípticas, enteras, de 7 a 13 cm de longitud. Las flores son blancas, y se encuentran al comenzar la estación de las lluvias. El fruto es una drupa amarilla, de 3-5 cm de diámetro, comestible; que contiene una (ocasionalmente dos) semilla (s). (Steyermark, J. 1995)

#### 2.3.1. Taxonomía

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Myrtales
Familia	Vochisiaceae
Género	<i>Erisma</i>
Especie	<i>Uncinatum Warm.</i>
Nombre común	Cambará

### 2.4. MORFOLOGÍA

#### 2.4.1. forma del tronco y la copa

El Cambará hembra es un árbol de dimensiones grandes, siempre verde, de hasta 40 m de altura, alcanzando algunas veces 50 m (Mc Bride, 1950) y 180 cm de DAP. Ocupa posiciones superiores y emergentes en el dosel de bosques primarios (Parrotta et al, 1995). Tiene el fuste recto, cilíndrico, de altura variable, dependiendo del bosque; la base del fuste es acanalada a ondulada, observada en individuos de diámetros mayores. Los aletones son altos, pero

no anchos, tornando al fuste de forma algo acanalada, más notorio en individuos grandes. Las ramas primarias y secundarias, por lo general, son muy tortuosas, sólo bien ramificadas hacia el final de éstas.

La copa es muy densa y siempre verde, en general longitudinalmente fungiforme y radialmente desde entera redondeada (67.2 %) hasta irregular asimétrica (20.6 %).

#### **2.4.2. Corteza externa y corteza interna**

La corteza externa es de color gris rosado y de 0.5 cm de espesor, con pequeñas estrías y placas delgadas alargadas. Estas placas se van desprendiendo, en tiras rectangulares dejando un polvillo rosado gris sobre la superficie de la corteza. La corteza interna es delgada, de color naranja rojizo, con hebras o fibras de color crema que se tornan u oxidan hasta un color crema café. Estas últimas son más fibrosas que las del Cambará macho o colorado (*Qualea paraensis*). La albura es de color crema de transición abrupta al duramen de color marrón rojizo. El espesor de la albura oscila entre 5 y 12.5 cm. El espesor de la corteza y la albura, al igual que la forma de las hojas, son características dendrológicas diferenciales muy útiles para identificar las trozas y árboles del Cambará hembra, con respecto a las del Cambará macho. La albura del Cambará hembra es mucho más gruesa. Las hojas del Cambará hembra son más grandes y con nervaduras algo campilódromas. En el Cambará macho, las hojas son de menor tamaño y con nervaduras estrictamente paralelas y un par de estípulas glandulares cupuliformes, en la base del pecíolo.

### **2.4.3. Hojas**

Los primordios foliares, retoños, pecíolos, y parte inferior de las hojas están débilmente revestidas con indumentos de pelos estrellados de color grisáceo. Las hojas son simples, enteras, opuestas (Parrotta et al., 1995; observadas en Pando) ó 3-4 verticiladas (van Roosmalen, 1985; observada en el Bajo Paraguá), coriáceas, de color verde oscuro intenso en su cara superior, y algo pálido en la parte inferior, debido a la presencia de pelos. La forma de las hojas fluctúa entre alargada ovobadas y oblongas, su dimensión corresponde a 10-17 x 4.5-8 cm. El ápice es redondeado obtuso o apiculado y la base cuneada; nervadura lateral compuesta de 4-7 nervios, éstos son curvados cerca del margen y el nervio marginal ausente (Stafleu, 1954). Los pecíolos son largos, de 1-2 cm, generalmente canaliculados en la parte inferior. Las estípulas pareadas, conspicuas, deciduas, que al caer dejan pequeñas glándulas en la base del pecíolo (Parrotta et al.1995).

### **2.4.4. Flores**

Las inflorescencias están formadas por panículas tirsoideas terminales y subterminales, largamente pedunculadas y compuestas de cincinos de 2 a 5 flores. Las flores son medianas, con bractéolas grandes. El cáliz está recubierto de pelos estrellados, compuesto por 5 sépalos, 4 de ellos lobulados de 5-7 x 8-10 mm, uno espinescente (petaloide) fuertemente uncinado-curvado, comprimido a menudo más largo que los demás, y apicalmente redondeado. La corola está constituida por un solo pétalo ancho, bilobulado, fragante, de color azul grisáceo, con medidas de 12-15 x 12-15 mm. Presenta sólo un estambre, situado frente del quinto lóbulo calicinal; el filamento dos veces más largo que la antera; tiene de 0-4 estaminodios, filiformes de 0.5-1.5 mm de largo y a veces bifurcados o en serie de pares. El estilo mide más de 7 mm de largo, y la parte baja izquierda es pilosa. El ovario es semiínfero, con

la parte apical emergente y pilosa, teniendo una sola cavidad bilobulada. El estilo es simple.

#### **2.4.5. Frutos**

El fruto es una sámara coriácea e indehiscente, compuesta de 4 alas de tamaño diferente, producto de los cálices acrescentes. La más grande está formada por el tercer lóbulo calicinal, con forma elíptica-oblonga de 4-7 x 1.5 cm y 2.5-3 x 1-1.5 cm, respectivamente; una mediana, formada por el segundo cáliz; y dos pequeñas formadas del primero y quinto lóbulo calicinal; el cuarto lóbulo del cáliz (espinescente), es caduco en el fruto. El fruto contiene de una a dos semillas lineales por fruto (van Roosmalen, 1985; Parrotta et al., 1995).

### **2.5. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS**

#### **2.5.1. Distribución**

El área de distribución del género *Erisma* está estrictamente limitada a los bosques primarios de tierra firme de la Amazonia (Hylean terra firme rain forest en Stafleu, 1954) y las Guayanas en el Neotrópico sudamericano. Sin embargo, *Erisma calcaratatum* es un típico habitante del bosque inundado o de várzea (Killeen et al., 1993). En comparación con otras especies del mismo género, *Erisma uncinatum* posee un área de distribución más amplia; cubre muchos de los bosques de tierra firme en el alto y bajo Amazonas y las Guayanas. En el Brasil, se distribuye en los estados de Pará, Santarém (Parrotta et al., 1995), Amazonas (Nee, 1995), Acre, Rondônia y Roraima (Barbosa, 1990; ITTO, 1988). En Venezuela, se distribuye en la región de la Guayana Venezolana (Pérez, 1983). En la Guayana Francesa y Surinám (Thiel, 1983; Boggan et al. 1997). En el Perú, está distribuido en la zona este

y noreste. Abarca la zona amazónica del Ecuador y en Bolivia, se la encuentra al este y noreste del país.

En Bolivia, el Cambará hembra se distribuye desde el bosque húmedo del Escudo Precámbrico (Killeen et al.1993), que abarca la región del Bajo Paraguá hasta el río Negro, ubicado al noreste del departamento de Santa Cruz, y se prolonga hasta los bosques de influencia de los ríos Iténez y Baures. Hacia el norte, la distribución de la especie continúa hasta el bosque amazónico de tierra firme, en casi la totalidad del departamento de Pando y gran parte del norte de Beni y La Paz.

### **2.5.2. Asociaciones ambientales**

El Cambará hembra es una especie estrictamente restringida a áreas del Neotrópico, con precipitaciones mayores a 1500 mm/año, tendencia a la estacionalidad de las lluvias y con la temperatura media anual entre 23-28°C. La especie está generalmente asociada a los bosques de tierra firme de la Amazonia. En general, todas las especies del género *Erisma* prefieren suelos bien drenados, a excepción de *Erisma calcaratum* que habita, regularmente, el bosque de várzea, que se caracteriza por permanecer estacionalmente inundado.

En Bolivia, *Erisma uncinatum* se encuentra, por lo general, en dos tipos de topografía:

1. Terrenos más o menos planos, de 200 a 300 m.s.n.m, donde ha menudo aparecen bajíos con micro-relieves denominados “sartenejales” (Navarro, 1997), aun que según Wallace (1998) la especie no aparece en el sartenejal. Esta topografía está constituida por sedimentos lateríticos del terciario (RAP, 1998), cuyos suelos son livianos, ácidos (oxisoles, alfisoles y ultisoles) y de baja fertilidad. Y se extiende sobre la llanura y valles de inundación del oeste de la Meseta de Huanchaca, en la zona del bajo Paraguá (CORDECRUZ,

1994; Montes de Oca, 1997). La región se encuentra asociada a ríos de aguas negras. El tipo de vegetación corresponde al bosque húmedo del escudo precámbrico (Killeen et al., 1993) o “Macroserie termotropical pluviestacional húmeda de *Ocotea guianensis* y *Spondias mombin*” (Navarro, 1997), especialmente asociada a los bosques de patujú gigante (*Phenakospermum guianensis*) (RAP, 1998).

2. Peneplanicie laterítica-lutítica, o llanuras onduladas, ubicadas al norte del país, constituidas por suelos medianos a pesados, profundos, ácidos (oxisoles y alfisoles) de conglomerados de lutitas, limolita y arcilitas (Montes de Oca, 1997), pobres en nutrientes (Llanque et al., 1993). Esta se encuentra sobre laderas y lomas, donde se desarrolla el bosque amazónico de tierra firme (según Killeen et al., 1993) o denominada, según Navarro (1997), como “Macroserie infratropical, pluviestacional húmeda, de *Apuleia leiocarpa* y *Bertholletia excelsa*”.

## **2.6. HISTORIA DE VIDA**

### **2.6.1. Floración**

La floración del Cambará se caracteriza más por su estacionalidad, que por su sincronización. Por lo general, ésta es masiva y puede cubrir toda la superficie de la copa, especialmente el área superior, tornándola de un tono azul violeta. En la zona del Bajo Paraguá, la floración comienza a manifestarse al terminar la estación seca, desde finales de agosto hasta mediados de septiembre. En Pando se produce entre los últimos días de julio y principios de noviembre (Medina, no publicado; Killeen et al., 1993).

### **2.6.2. Polinización**

De acuerdo a la morfología floral de la especie, además de su fragancia muy particular, ésta estaría adaptada para la polinización por una gran variedad de insectos. No se descarta, sin embargo, que sólo un grupo reducido de éstos, como mariposas y abejas, se encarguen de esta función por ser los más indicados para ello.

### **2.6.3. Dispersión y producción de semillas**

Las semillas se esparcen junto con el fruto (samaroide) entre mediados y finales de noviembre (Killeen et al., 1993; Medina et al., en revisión). Estas están adaptadas para la diseminación por medio del viento.

El fruto está formado por una serie de alas, que permiten una buena diseminación. La época de diseminación coincide con el fin de la estación seca, caracterizada por fuertes vientos. La sequedad en el clima provoca la caída de las hojas de una buena cantidad de especies del bosque, aunque la mayoría de éstas son siempre verdes. Los frutos se encuentran ubicados en la parte superior de la copa de los árboles de Cambará, permitiéndoles una diseminación a mayor distancia, pese a que el dosel del bosque no queda totalmente desprovisto de follaje.

La forma foliar y el color de los frutos brindan a la semilla un cierto mimetismo con la hojarasca abundante en áreas circundantes a las copas de los árboles madre. Esta característica confunde a una parte de los posibles depredadores de semillas. Si se toman en cuenta los 4 tipos de comunidades vegetales presentes en Tarumá, se nota que algunas de éstas son producto del aprovechamiento forestal. Existe regeneración natural mediana hasta baja en todas las comunidades, la cual corresponde en su mayoría a latizales superiores. También se puede apreciar que la regeneración natural en el bosque de bajío es superior a la de cualquier otro tipo de comunidad.

## **2.7. IMPLICACIONES PARA EL MANEJO**

### **2.7.1. Densidad y estructura de la población**

Una mayor densidad de individuos con diámetros menores y menor con diámetros mayores, siguiendo una distribución de “J” invertida. Es decir, existe una disminución desde las clases menores hacia las mayores. Sin embargo, el número de árboles de la clase con diámetro mayor a 90 cm de DAP aumenta sustancialmente con respecto a las clases inferiores.

Las distribuciones diamétricas del Cambará hembra obedecen quizás, a dos factores: primero la existencia de condiciones apropiadas para el establecimiento de los árboles en años anteriores, y segundo, que los árboles de Cambará puedan subsistir por muchos años, y que la clase mayor sea producto de la sumatoria de los árboles mayores a 90 cm de DAP, independientemente de las diferentes clases que existan entre este grupo de árboles.

### **2.7.2. Reacción a competencia y perturbación**

El Cambará hembra es una especie esciófita parcial que, al mismo tiempo, denota una alta afinidad de desarrollo con ciertos tipos de comunidades vegetales. Por ejemplo, el bosque de “bajío” y bosque alto donde se observa poca cantidad de patujú gigante. La presencia del Cambará es mucho menor en bosques donde la densidad del patujú es alta, en lugares extremadamente perturbados, como barbechos, que han estado sujetos a incendios, caminos y zonas donde la infestación de lianas es elevada



### **2.7.3. Potencial para el manejo sostenible y recomendaciones silviculturales**

El Cambará hembra es una especie relativamente abundante en los bosques húmedos del noreste de Bolivia.

Esta se reemplaza, naturalmente, por medio de la regeneración avanzada y fustales, que esperan una oportunidad de apertura en el dosel para crecer rápidamente. Aparentemente la mayor producción de semillas se presenta en la copa de los árboles emergentes, pues gran parte de ésta está expuesta a la luz. Es esencial que una buena cantidad de árboles emergentes y productores de semillas sea reservada para asegurar la continuidad de la dispersión. Se desconoce la proporción adecuada de semilleros para el aporte necesario de semillas, pero se estima que ésta debería ser mayor a 20 % del total de los árboles emergentes en el bosque. Los sistemas silviculturales disetáneos son apropiados para el manejo del Cambará hembra. El aprovechamiento selectivo entre bajo y moderado de los bosques (5-15 % de área basal total) proporcionaría una variedad de claros grandes y pequeños, aptos para la liberación de la regeneración avanzada de la especie. Se deberán realizar estudios de regeneración durante los inventarios forestales, para garantizar la existencia de regeneración avanzada, antes de la extracción. De lo contrario, se deberá dejar un mayor número de árboles semilleros y postergarse el aprovechamiento hasta después de la siguiente lluvia de semillas, de esta manera promover la regeneración adicional. Se deberá efectuar una evaluación post-aprovechamiento, para comprobar si un porcentaje significativo de claros (similar al porcentaje de árboles aprovechados) tiene posibilidad de ser ocupado por esta especie.

En caso contrario, se deberán aplicar medidas para liberar la regeneración de la competencia (corte de fustes no comerciales de gran tamaño) o tratamientos mecánicos y/o químicos a la maleza que cubra los brinzales de Cambará.

## **2.8. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA**

Las propiedades mecánicas son las que determinan la capacidad que tienen los materiales de resistir fuerzas externas, con lo cual se puede controlar de formas más adecuadas. (karsulovic, 1982; Pérez, 1983)

La madera, cuerpo solido, poroso y heterogéneo, tiene la capacidad de resistir a sollicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982)

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.

### **2.8.1. Factores que inciden sobre las propiedades mecánicas**

La madera, es un material heterogéneo, que se ve reflejado por la variabilidad que es posible encontrar en probetas extraídas de una misma especie maderera y de diferentes arboles, o aun más de probetas provenientes de un mismo árbol, lo que muestra una marcada diferencia en su densidad y resistencia. Esta variabilidad responde a diferencia genéticas, de ambiente y/o ambas. Es por esto que posee valores de resistencia variables. Incluso pueden resultar más variables debido a que algunas de sus características no son controladas o controlables. Entre las más importantes cabe señalar:

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

### **2.8.1.1. Contenido de humedad**

El contenido de humedad en la madera afecta en general a propiedades mecánicas tales como, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, tracción, cizalle, dureza, clivaje, sobre el P.S.F. (punto de saturación de las fibras), la resistencia mecánica se mantiene constante y a medida que el contenido de humedad disminuye, desde el P.S.F. hasta estado anhidro la resistencia mecánica de la madera aumenta (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982; Pérez, 1983), excepto en la propiedad mecánica de tenacidad, ya que disminuye.

### **2.8.1.2. Densidad**

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

### **2.8.1.3. Ángulo de las fibras**

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

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

#### **2.8.1.4. Nudosidad**

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

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

Los nudos disminuyen la resistencia de la madera por inducir a una distribución irregular de las tensiones (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

#### **2.8.1.5. Temperatura**

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

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

#### **2.8.1.6. Otras influencias**

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

### 2.8.2. Carga y esfuerzo

Carga es toda fuerza externa que es aplicada sobre un miembro o estructura. Las fuerzas que resisten a las cargas son fuerzas internas que se desarrollan en un cuerpo cargado, denominadas tensiones internas (Véliz, 2003). Una fuerza puede ser medida en kilogramo (o en cualquier unidad de peso o fuerza).

A la tensión interna referida a una unidad de área resistente en una sección transversal de un cuerpo se le denomina esfuerzo unitario y queda expresado por:

$$\text{Esfuerzo unitario } (O) = P/A$$

Donde;

P = Es la carga

A = Es el área de la sección.

En todos los materiales, los esfuerzos que actúan sobre un cuerpo producen un cambio de forma y tamaño. La distorsión que resulta del esfuerzo aplicado se conoce como deformación unitaria ( $\epsilon$ ) (karsulovic, 1982; Cuevas, 2003). La deformación es medida en milímetro (o en cualquier unidad lineal).

$$\text{Deformación } (\epsilon) = \delta/I,$$

Donde;

$\delta$  = Es la deformación total

I = corresponde al largo del cuerpo en la dirección en la cual actúa la fuerza (Véliz, 2003)

Pérez (1983) define algunos conceptos básicos:

Deformación: desplazamiento de las partículas de un material, como resultado de la aplicación de una carga externa sobre él.

Fuerza externa: representa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere la forma y/o dimensión del material.

Límite de proporcionalidad: punto del gráfico carga-deformación, en el cual la curva se desvía de la línea recta inicial (ver gráfico 1).

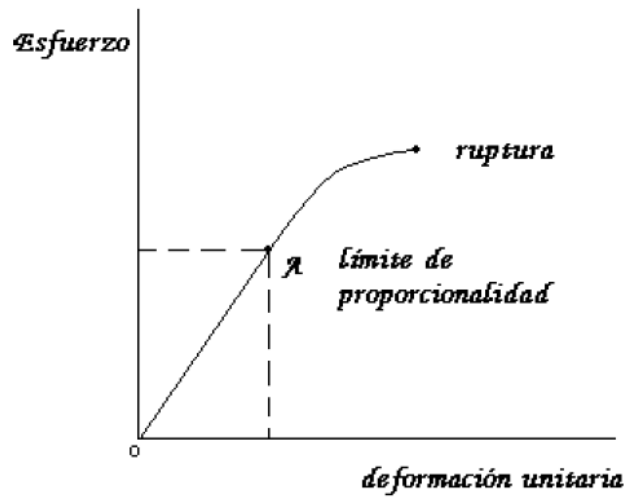
Módulo de elasticidad: medida de la resistencia a la deformación axial de la probeta de ensayo cuando se la somete a una carga en dirección paralela a las fibras de la madera. Se determina como la pendiente de la zona lineal del gráfico carga-deformación por debajo del límite proporcional.

Tensión máxima ó de rotura: es aquella que se determina con la carga máxima soportada por el cuerpo y se verifica cuando la carga que se aplica, más allá del límite elástico, provoca la ruptura en el cuerpo.

### **2.8.3. Diagrama esfuerzo – deformación**

En el gráfico 1 se puede observar la relación que existe entre los incrementos de carga o esfuerzo a que se ve sometido un cuerpo (eje de las ordenadas) y sus correspondientes aumentos de deformación (eje de las abscisas). La línea resultante está formada por una recta hasta el límite elástico del material ensayado. Al seguir aumentando la carga se obtiene la ruptura del material (Pérez, 1983).

Gráfico 1. Diagrama Esfuerzo- Deformación

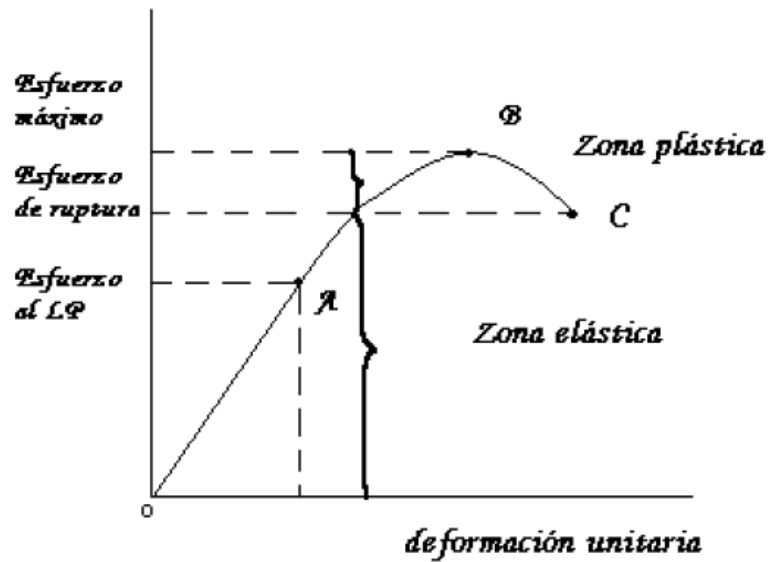


Fuente: Pérez, 1983.

Según karsulovic (1982), cuando un cuerpo es aplastado o es cargado, este llega hasta un límite llamado límite de proporcionalidad, hasta este punto el cuerpo puede volver a recuperar su estado original, cuando la carga es suprimida, esta zona es denominada con el nombre de zona elástica. En esta zona la carga y la deformación unitaria siguen creciendo, pero ahora la deformación sigue creciendo con mayor rapidez, (parte A-B de la curva del gráfico 2), hasta alcanzar un esfuerzo máximo llamado también resistencia o esfuerzo máximo (punto B de la grafica 2). El punto C del mismo gráfico, corresponde a la tensión máxima o de rotura del material.

Cabe destacar que el gráfico 2 corresponde aproximadamente al comportamiento que se obtiene en el ensayo de compresión axial de una probeta de madera.

GRÁFICO 2. DIAGRAMA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA.



Fuente: Cuevas, 2003.

#### 2.8.4. Ley de Hooke. Módulo de elasticidad

La Ley de Hooke establece que “el esfuerzo es proporcional a la deformación, hasta un determinado valor de la carga”. Esto se cumple solo hasta el límite elástico o de proporcionalidad, es decir, corresponde a la línea recta de la figura 2, si se sigue agregando carga la ley de Hooke ya no es válida (Karsulovic, 1982)

Ahora la ley expresada matemáticamente es:

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = \text{Constante} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

A la constante de proporcionalidad se le denomina módulo de elasticidad de un material y se designa por el símbolo E, pero para estos efectos se utilizará la sigla MOE (Karsulovic, 1982). Cuando el esfuerzo y su respectiva



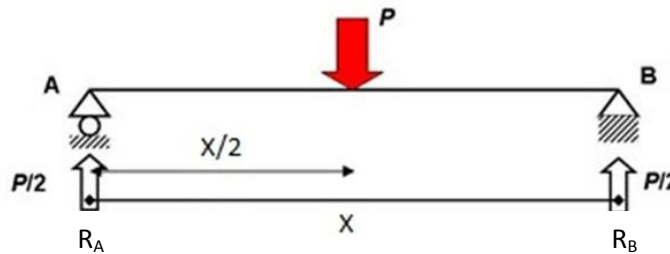
deformación son producidos por carga axial, la expresión del módulo de elasticidad puede ser escrita como sigue:

$$MOE = \frac{P/A}{\epsilon/L} = \frac{P}{A} * \frac{L}{\epsilon} : \frac{Kg}{cm^2}$$

Determinación del momento de flexión.-

Sea una viga cargada con una fuerza concentrada P la viga es simplemente apoyada con la carga actuando en medio de la viga. Calculando las reacciones, aplicando momentos en los apoyos A y B, respecto al apoyo A tenemos:

Diagrama de fuerza cortante.



$$M_A = R_A * X - P * X/2 = 0$$

$$R_A = P/2$$

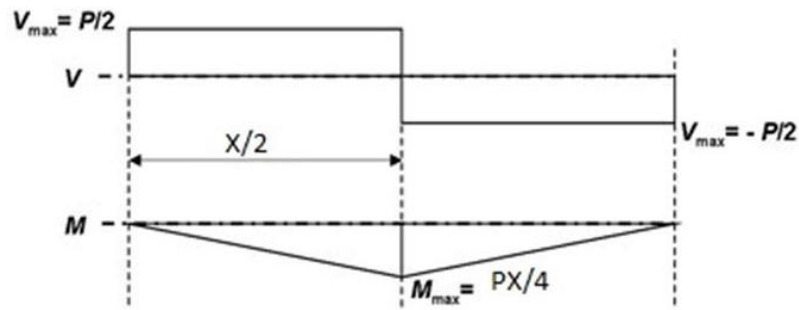
Respecto al apoyo B tenemos:

$$M_B = R_B * X - P * X/2 = 0$$

$$R_B = P/2$$

La viga resulta con sus reacciones en la siguiente situación.

Debido a la carga que actúa se tiene el siguiente diagrama que corresponde a la flexión.



$$M = P/2 * X/2$$

$$M_{\max} = P * X/4$$

Tensión debido a la flexión.-

Viene dado por la formula

$$T_F = \frac{M/I}{h/2} = \frac{M * h}{2 * I}$$

Donde:

$T_f$  = tensión de flexión

$I$  = momento de inercia de la viga (sección transversal cm)

$h$  = altura de la viga

Para una flexión donde la carga es concentrada y actúa en el medio de la viga el momento tiene un valor de:

$$M_{\max} = P * X/4$$

El momento de inercia para la viga de sección rectangular tiene un valor de:

$$I_x = 2 * \int_0^{\frac{h}{2}} b * y^2 \quad d_y = 2 * b \left( \frac{y^3}{3} \right)^{\frac{h}{2}} \neq 0$$

$$I_x = \frac{2 * b}{3} * \frac{h^3}{2^3} \neq 0 = \frac{2 * b * h^3}{3 * 8} = \frac{2 * b * h^3}{24}$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

\* Inercia.- En física, la inercia es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo relativo o movimiento relativo o dicho de forma general es la resistencia que opone la materia a modificar su estado de movimiento, incluyendo cambios en la velocidad o en la dirección

del movimiento. Como consecuencia, un cuerpo conserva su estado de reposo relativo o movimiento rectilíneo uniforme relativo si no hay una fuerza que, actuando sobre él, logre cambiar su estado de movimiento. (Masreliez C.J. 2006.)

Reemplazando en  $T_f$  se tiene:

$$T_f = \frac{\frac{P \cdot X}{4} \cdot h}{2 \frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{12 \cdot P \cdot X \cdot h}{8 \cdot b \cdot h^3}$$

$$T_f = \frac{3 \cdot P \cdot X}{2 \cdot b \cdot h^2} = \text{kg/cm}^2$$

Fórmula que nos permite determinar la tensión de flexión para cualquier carga.

Donde:

P = Kg

X = longitud de la viga (cm)

b = base en la sección transversal (cm)

h = altura de la viga (cm)

El módulo de elasticidad, es una medida de la rigidez de un material. Es aquella propiedad de la materia que le permite resistir una fuerza que tiende a cambiar su forma o volumen y que es responsable de la recuperación de su forma o volumen original cuando dicha fuerza deja de actuar (Karsulovic, 1982; Pérez, 1983; Cuevas, 2003). Cabe destacar la importancia de considerar los conceptos de rigidez y elasticidad. Rigidez es la característica de un cuerpo que solicitado por cargas externas mantiene su tamaño y forma natural o resiste a la deformación. Por el contrario, elasticidad es la característica de ciertos materiales sólidos, los cuales admiten deformaciones mientras permanezca la sollicitación externa (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Cabe señalar que el modulo de elasticidad no es una medida de resistencia y solo se aplica a condiciones dentro del límite de proporcionalidad, y se expresa en las mismas unidades que el esfuerzo unitario, ya que  $\epsilon$  es

adimensional y el MOE, toma las unidades de  $\text{O}$ , es decir,  $\text{Kg/cm}^2$  (Karsulovic, 1982).

El módulo de elasticidad en tracción es más elevado que en compresión. Este valor varía con la especie, humedad, naturaleza de las sollicitaciones, dirección del esfuerzo y con la duración de aplicación de las cargas.

En la madera, debido a su anisotropía, el módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra adopta valores diferentes según se trate de sollicitaciones de compresión o de tracción.

#### **2.8.5. 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 en el empleo de la madera en pavimentos. Es mayor la dureza del duramen que la de la albura y la de la madera vieja que la de la joven. [1]

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.

La dureza es la propiedad que hace al leño difícil de rajar, marcar o cortar, generalmente, a 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 las 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 materiales 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 desgaste pronunciado.

Esta propiedad guarda estrecha relación con el peso específico. Su conocimiento es importante para la selección de las maquinas a usar para trabajar la madera. (Ibarra F. 1996)

#### **2.8.6. 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, esto 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 las probetas, debido a que las fibras son normalmente células largas y estrechas con los 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. Se entiende por fibra el conjunto de las células dispuestas en la dirección del eje del árbol, descartando los elementos vasculares y las células de parénquima. Las distintas variaciones que puede tener en dimensiones y disposición da origen a los siguientes tipos de fibra: recta, ondulada, revirada, entrelazada.

Otro factor determinante en cuanto al 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 F. 1996)

### **2.8.7. Resistencia a la compresión**

En la cual influyen varios factores: La humedad: En general, por debajo del punto de saturación de las fibras (30%), la resistencia a compresión aumenta al disminuir el grado de humedad, no obstante, a partir de ese % la resistencia es prácticamente constante.

También la dirección del esfuerzo tiene una gran repercusión en la resistencia a compresión de la madera, la máxima corresponde al esfuerzo ejercido en la dirección de las fibras y va disminuyendo a medida que se aleja de esa dirección. La rotura en compresión se verifica por separación de columnillas de madera y pandeo individual de éstas.

Cuanto mayor es el peso específico, mayor es su resistencia. [2]

### **2.8.8. Compresión perpendicular a la fibra**

Su resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la de la dirección paralela. Sus valores característicos varían entre 4,3 y 5,7 N/mm<sup>2</sup>, lo que representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra.

Este tipo de esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser

capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento. [2]

### **2.8.9. Resistencia a la tracción**

La madera es un material muy indicado para el trabajo a tracción, su uso en elementos sometidos a este esfuerzo sólo se ve limitado por la dificultad de transmitir a dichos elementos los esfuerzos de tracción.

También influye el carácter anisótropo de la madera, siendo mucho mayor la resistencia en dirección paralela que en perpendicular a las mismas. La rotura en tracción se produce de forma súbita, comportándose la madera como un material frágil.

La resistencia no estará en función del peso específico. [2]

### **2.8.10. Tracción perpendicular a la fibra**

Su resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja (del orden de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela). Su valor característico es de 0,3 a 0,4 N/mm<sup>2</sup>.

En la práctica y aplicado a las estructuras, esta sollicitación resulta crítica en piezas especiales de directriz curva (arcos, vigas curvas, etc.) o en zonas de cambio brusco de directriz (zonas de vértice). Estas tensiones de tracción, también se pueden producir como consecuencia de la coacción del libre movimiento transversal de la madera en soluciones constructivas incorrectas, que pueden ser evitadas fácilmente con el conocimiento del material. [2]

### **2.8.11. Resistencia al corte**

Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento, puede tener lugar paralelamente a las fibras; perpendicularmente a ellas no puede producirse la rotura, porque la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto que por éste.

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera según diversos modos.

- Tensiones tangenciales de cortadura: las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo. El fallo se produce por aplastamiento.

- Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en la dirección longitudinal.

- Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre las otras.

En las piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento. Sus valores característicos (por deslizamiento) varían entre 1,7 y 3,0 N/mm<sup>2</sup> en las especies y calidades utilizadas habitualmente en la construcción. [2]

### **2.8.12. Resistencia a la flexión**

Puede decirse que la madera no resiste nada al esfuerzo de flexión en dirección radial o tangencial. No ocurre lo mismo si está aplicado en la dirección perpendicular a las fibras.

Un elemento sometido a flexión se deforma, produciéndose un acortamiento de las fibras superiores y un alargamiento de las inferiores. Al proyectar un elemento de madera sometido a flexión no sólo ha de tenerse en cuenta que resista las cargas que sobre él actúan, es necesario evitar una deformación



excesiva, que provoque un agrietamiento en el material de revestimiento o alguna incomodidad de cualquier otro tipo.

### **2.8.13. Fatiga**

Llamamos límite de fatiga a la tensión máxima que puede soportar una pieza sin romperse.

La resistencia a la falla bajo combinaciones específicas de condiciones de cargas cíclicas: la frecuencia y los números de ciclos, el esfuerzo máximo, la proporción entre los esfuerzos máximos y mínimos, y otros factores menos importantes. [3][4]

### **2.8.14. Hendibilidad**

Propiedad que presenta la madera de poderse romper a lo largo de las fibras, por separación de éstas, mediante un esfuerzo de tracción transversal. Es una cualidad interesante cuando se trata de hacer leña, en cambio es perjudicial cuando la pieza ha de unirse por clavos o tornillos a otras adyacentes. [3][4]

**CAPÍTULO III**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3. MATERIALES**

#### **3.1.1. Materiales de gabinete**

- Libreta de anotaciones
- Materiales de escritorio
- Computadora
- Calculadora
- Plantilla de registros
- Norma COPANT maderas

#### **3.1.2. Materiales de campo**

- Motosierra
- Cámara fotográfica
- Cinta métrica
- Pintura en aerosol
- Machete
- Brújula
- GPS
- Otros

#### **3.1.3. Materiales de laboratorio**

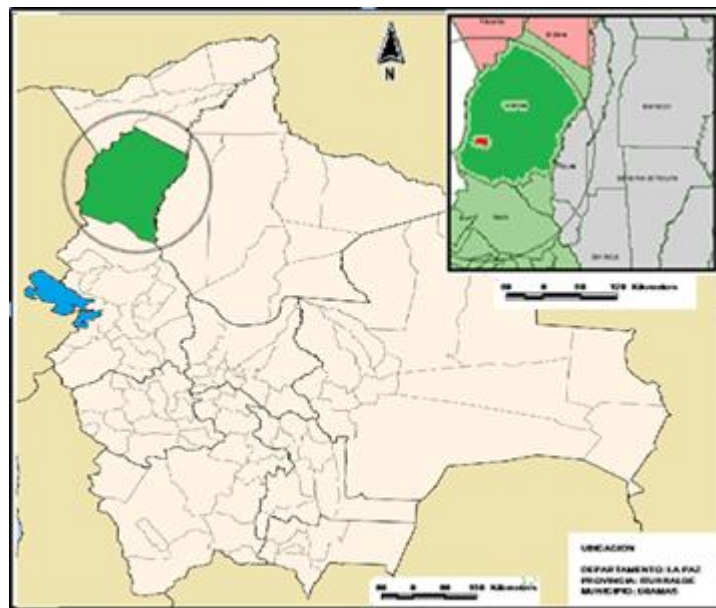
- Balanza eléctrica (0.01 gr de precisión)
- Estufa
- Formularios
- Prensa de ensayos universales AMSLER
- Deflectómetro

## 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.2.1. Localización

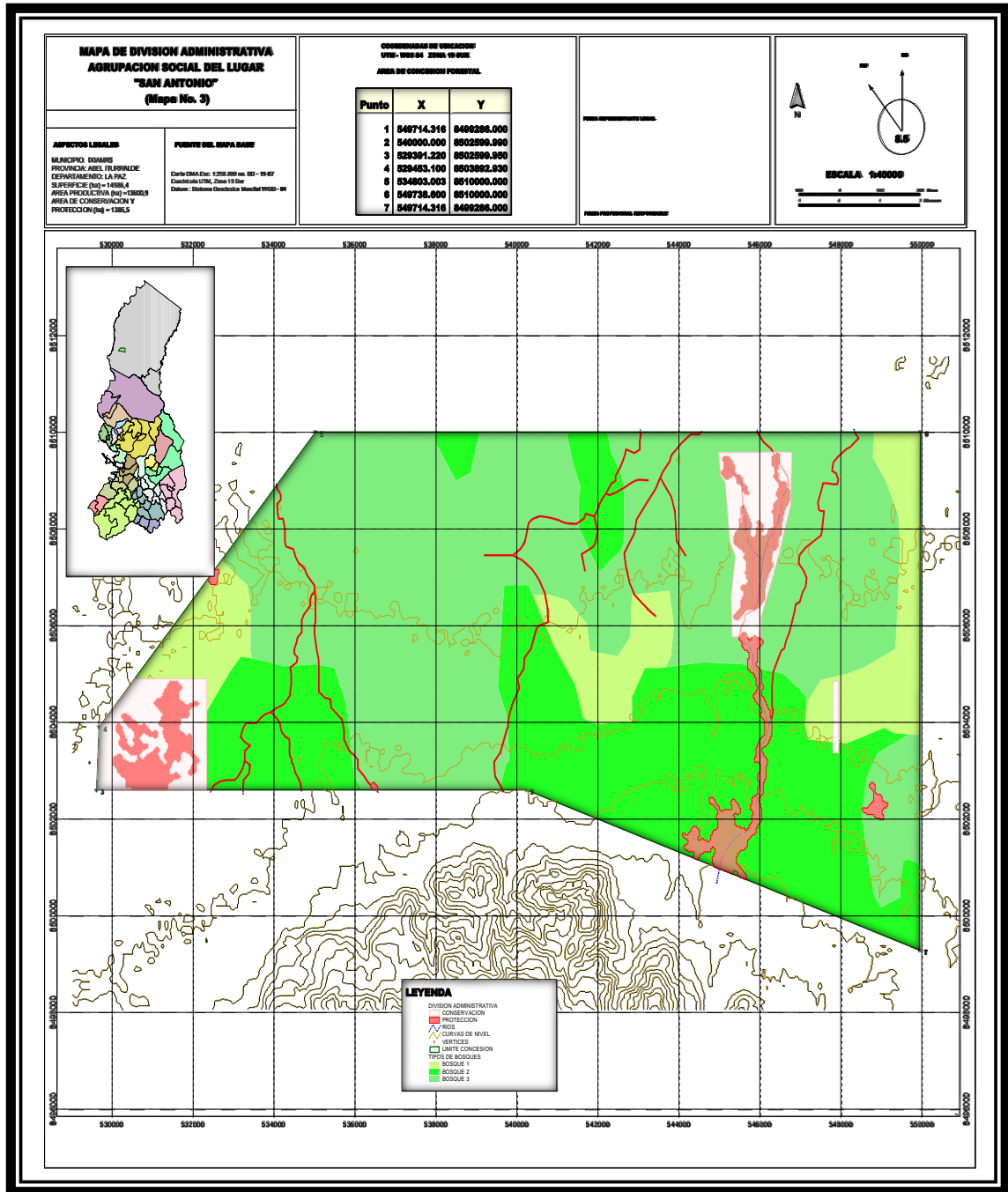
El Municipio de Ixiamas, Primera Sección de la Provincia Abel Iturralde, se encuentra ubicado al norte del Departamento de La Paz, entre las coordenadas  $11^{\circ} 51' 24,25''$  y  $14^{\circ} 13' 10,45''$ , de latitud sur, abarcando cerca de tres grados geográficos. Se encuentra en el hemisferio occidental, entre los meridianos  $66^{\circ} 55' 04,51''$  y  $69^{\circ} 04' 05,40''$ , de longitud oeste de Greenwich. La altura varía entre 137 y 2.348 msnm, siendo el punto más bajo cerca del río Beni y el más alto en la serranía. Su capital, el centro poblado de Ixiamas, se encuentra a 604 km de la ciudad de La Paz. El municipio es el de mayor superficie en el departamento de La Paz, con 36.263,34 km<sup>2</sup>, por lo que corresponde al 90,63% de la superficie de la Provincia Abel Iturralde. (Montes O. 2007)

**Mapa N° 1 Ubicación del Municipio de Ixiamas en el departamento de La Paz  
(PDM de Ixiamas 2009-2013)**



# Mapa N° 2 Ubicación de la AAA (Área de Aprovechamiento Anual) de la ASL SAN ANTONIO

(PDM de Ixiamas 2009-2013)



### **3.3.CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS**

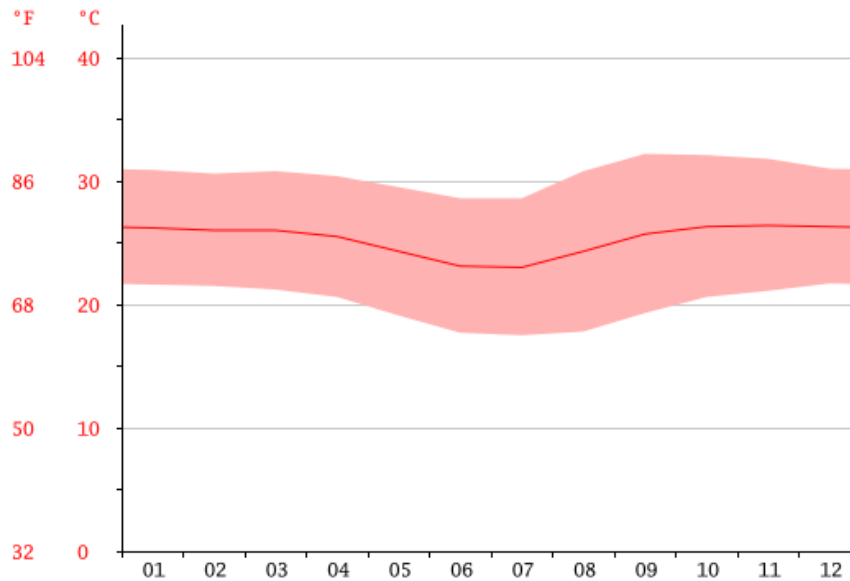
#### **3.3.1. Clima**

Presenta un clima cálido que se comporta con relativa homogeneidad en el espacio y cierta estacionalidad en el tiempo. La temperatura media anual es de 25,7 °C, con las máximas temperaturas en octubre y las mínimas en julio. Respecto a la precipitación, se distingue también una estacionalidad temporal que define la “época de lluvias” (noviembre a marzo), y la “época seca” (abril a octubre) donde las precipitaciones se reducen hasta 80 mm en agosto. La humedad relativa se mantiene alta durante los meses de diciembre a junio (85%), mientras que de julio a noviembre se reduce hasta 73%. (Ontiveros R. 2007)

#### **3.3.2. Temperatura**

Las máximas temperaturas se presentan entre octubre y diciembre, mientras que las mínimas se dan en julio, lo que significa una oscilación térmica anual de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Existe una relativa variación espacial de la temperatura, influida directamente por las serranías. (Ontiveros R. 2007)

### DIAGRAMA DE TEMPERATURAS IXIAMAS

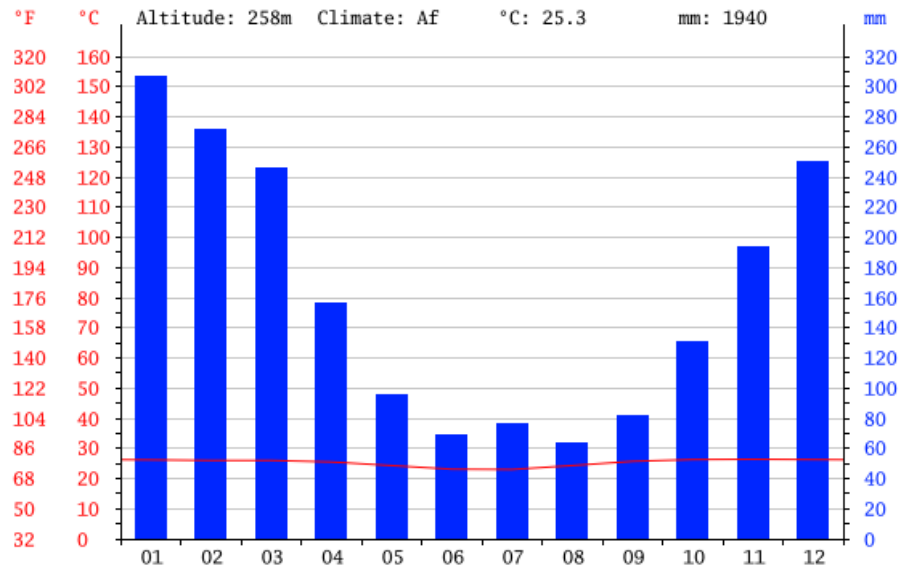


(Climate-Data.ORG)

### 3.3.3. Precipitación

El régimen de precipitaciones (lluvias) se caracteriza por ser unimodal y por presentar una época seca (abril a octubre) y una época de lluvias (noviembre a marzo). Las precipitaciones mínimas oscilan entre 20 mm a 69,8 mm en julio, para la región norte, y entre 38,5 mm a 89,5 mm entre julio y agosto, para la región sur. Los valores máximos de precipitación se dan en febrero, con valores entre 244 mm y 316 mm, en la región norte, y de 203 mm a 377,4 mm entre diciembre y febrero, en la región sur. Para ilustrar mejor las variaciones se incluyen los mapas de precipitación promedio mensual de los meses más húmedos y más secos. (SENAMHI 2007)

## CLIMOGRAMA IXIAMAS



(Climate-Data.ORG)

### 3.3.4. Humedad relativa

Las máximas se presentan en febrero (85%) mientras que las mínimas se registra en septiembre (71,7%). La humedad relativa se incrementa con la altura y disminuye a menor altitud. (SENAMHI 2007)

### 3.3.5. Evaporación y evapotranspiración

La evaporación media anual es 4,3 mm/día, con una máxima en octubre de 4,9 mm/día y una mínima entre junio y julio, con 3,7 mm/día. La evapotranspiración potencial calculada para el municipio por el método Thornthwaite oscila entre 5,6 mm/día en diciembre y 2,6 mm/día en junio. (SENAMHI 2007)



### **3.3.6. Evaporación y evapotranspiración**

La evaporación media anual es 4,3 mm/día, con una máxima en octubre de 4,9 mm/día y una mínima entre junio y julio, con 3,7 mm/día. La evapotranspiración potencial calculada para el municipio por el método Thornthwaite oscila entre 5,6 mm/día en diciembre y 2,6 mm/día en junio. (SENAMHI 2007)

## **3.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

### **3.4.1. Geología**

Las formaciones geológicas responden a los plegamientos de la Faja Subandina y los procesos de depositación de la Llanura Chaco-Beniana. En la Faja Subandina se encuentran unidades geológico-estratigráficas pertenecientes al Paleozoico y Cenozoico. La Faja se caracteriza por la presencia de rocas de los periodos Ordovícico, Devónico, Cretácico y también del Terciario. Los valles intermontanos de estas formaciones presentan depósitos aluviales y coluviales pertenecientes al holoceno, identificables principalmente en los valles del río Tuichi. En la Llanura Chaco-Beniana aparecen extensos depósitos de material poco consolidado del Cuaternario, principalmente aluviales que descansan en partes sobre el basamento, y en partes sobre sedimentitas terciarias sub-horizontales. (ERTS-GEOBOL 1985)

### **3.4.2. Geomorfología**

Dos formaciones geomorfológicas están presentes dentro del municipio: el Subandino y la Llanura Chaco Beniana. El primero es un bloque montañoso y complejo caracterizado por la serranía de Manuque o del Bala, con rumbo

paralelo al Subandino (noroeste-sureste) y la extensa llanura de inundación surcada por ríos de curso divagante. (FAO-CSIC. 2002)

### **3.4.3. Fisiografía**

De acuerdo a las características geomórficas descritas, se distinguen dos provincias fisiográficas: el Subandino y la Llanura Chaco-Beniana.

### **3.4.4. Suelos**

Suelos poco profundos a profundos; drenaje bueno a moderado, en algunos sectores de escaso a muy escaso; sin erosión aparente; reacción de ácida a alcalina; con baja a moderada fertilidad; sin y con mediana toxicidad de aluminio. Capacidad de uso: con limitaciones de humedad. Aptitud y potencialidades de uso fuera de áreas protegidas: Apto para ecoturismo, agroturismo. Altamente apto para uso forestal múltiple. Marginalmente apto para ganadería intensiva. Limitaciones: Inundación, erosión, fertilidad, suelos ácidos. (Gobierno Municipal de Ixiamas 2008)

### **3.4.5. Hidrología**

El municipio presenta cinco unidades hidrológicas principales: Beni (desde Laguna Moa hasta la confluencia con el río Madidi), Madidi, Bajo Madre de Dios, Heath, Tambopata. (Abasto L. 1987)

La cuenca del Amazonas ocupa 724000 km<sup>2</sup> de la superficie del país, por lo que discurren los ríos más importantes, que se caracterizan por su caudal navegable y su aprovechamiento piscícola potencial. Se estima que por la cuenca del Amazonas se vierte 280 mil millones de m<sup>3</sup> /año (Zúñiga, 2005)

Por otro lado, el Plan de Ordenamiento Territorial para Ixiamas del 2009 (GMAI, 2009), señala que la población de Ixiamas participa de 2 subcuencas que forman la cuenca del río Beni. Estas dos subcuencas son:

Subcuenca Beni-Ixiamas (desde la confluencia con laguna Sayuba hasta la confluencia con el río Madidi), abarca principalmente el municipio de Ixiamas en La Paz y de Reyes en el Beni, con un área de 8143 km<sup>2</sup>. Limita al suroeste con la confluencia del río Beni y laguna Sayuba y al noroeste con la confluencia del río Beni con el río Madidi. Subcuenca Madidi, esta cuenca se ubica en su totalidad dentro del municipio de Ixiamas, drena un área de aproximadamente 12776 km<sup>2</sup>, su límites están determinados por la serranía del Tigre el suroeste y por la confluencia con el río Beni al noroeste.

El principal tipo de cobertura son bosques tropicales, aunque también se tiene, en menor proporción, bosques de galería y sabanas inundables.

#### **3.4.6. Vegetación**

Debido a su ubicación entre el Subandino y la llanura Chaco – Beniana, el municipio cuenta con una elevada diversidad vegetal. Los bosques se caracterizan por la riqueza de especies maderables y por su alto valor de diversidad biológica. Se estima más de 6.000 especies de plantas superiores, que además albergan a una alta diversidad de fauna. (SERNAP 2004)

#### **3.4.7. Fauna**

La fauna en estos bosques se caracteriza por la presencia de monos como el maneche (*Alouatta spp.*), el marimono (*Ateles chamek*), el mono nocturno (*Aotus azarae*), el leoncito (*Saguinus fuscicollis*), el mono blanco (*Cebus albifrons*) y el silbador (*Cebus libidinosus*). De especies llamativas como el oso de oro (*Cyclopes didactylus*), la londra (*Pteronura brasiliensis*) y el mapache (*Procyon cancrivorus*). De especies apreciadas por su carne como el

anta (*Tapirus terrestris*), el chanco de tropa (*Tayassu pecari*) y el pejichi (*Priodontes maximus*). De felinos como el jaguar (*Pantera onca*), el puma (*Puma concolor*) y el gato gris (*Puma yaguarondi*). Estudios realizados por Terán (en prensa) sugieren que algunas especies de murciélagos se encuentran restringidas a esta unidad: *Artibeus anderseni*, *Artibeus glaucus*, *Artibeus lituratus*, *Artibeus obscurus*, *Dasypterus ega*, *Vampyressa pusilla*, *Phylloderma stenops* y entre otras. (SERNAP 2004)

En base al conocimiento local, se registraron 46 especies de mamíferos grandes y medianos (< 1 Kg.), 78 especies de aves, 16 especies de reptiles y 54 especies de peces complementada por trabajos realizados en la zona (PGMF, Carmen Pecha 2005).

**CUADRO 1 ESPECIES DE FAUNA Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN**

Nombre común	Nombre tacana	Nombre científico	Familia	Lista roja	CITES
<b>MAMÍFEROS</b>					
Jochi pintado	Bashume	<i>Cuniculus paca</i>	Agoutidae	DD	
Leoncito	Chichulubasume	<i>Saguinus fuscicollis</i>	Callitrichidae	DD	II
Borocho	Buhuequi	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	Canidae	VU	II
Perro de monte	Egie huchi	<i>Speothos venaticus</i>	Canidae	DD	I
Zorro	Cuacua	<i>Atelocynus microtis</i>	Canidae	DD	
Maneche	D'hu	<i>Alouatta seniculus</i>	Cebidae	DD	II
Marimono	Bihua	<i>Ateles chamek</i>	Cebidae	VU	II
Nocturno	Didia	<i>Aotus sp</i>	Cebidae	DD	
Ciervo		<i>Blastocerus dichotomus</i>	Cervidae	VU	I
Huaso	Duquey	<i>Mazama americana</i>	Cervidae	DD	
Urina	Yat'hi Duquey	<i>Mazama gouazoubira</i>	Cervidae	DD	
15 kilos	T'hudhy pacha	<i>Dasyptus kappleri</i>	Dasyptidae	DD	
Pejichi	T'hud+ipa	<i>Priodontes maximus</i>	Dasyptidae	VU	I
Gato gris	Ibadebe	<i>Herpailurus</i>	Felidae	DD	II

		<i>yaguarondi</i>			
Leopardo	Duquey iba	<i>Puma concolor</i>	Felidae	DD	II
Tigre	Iba	<i>Panthera onca</i>	Felidae	VU	I
Tigrecillo	Juri	<i>Leopardus pardalis</i>	Felidae	VU	I
Lobo	Quetcha	<i>Lutra longicaudis</i>	Mustelidae	VU	I
Londra	Quetcha aidha	<i>Pteronura brasiliensis</i>	Mustelidae	EN	I
Oso bandera	Huarayo	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Muymecophagidae	VU	II
Oso de oro		<i>Cyclopes didactylus</i>	Muymecophagidae	DD	
Anta	Ahuada	<i>Tapirus terrestres</i>	Tapiridae	VU	II
Taitetu	Huabuquere	<i>Tayassu tajacu</i>	Tayassidae	VU	II
Tropero	Huabu	<i>Tayassu pecari</i>	Tayassidae	VU	II
AVES					
Aguila arpia	Cacatara	<i>Harpia harpyja</i>	Accipitridae	VU	I
Pato roncador		<i>Neochen jubata</i>	Anatidae	LR	
Garza toro	Ibaojo	<i>Tigrisoma fasciatum</i>	Ardeidae		I
Mamaco		<i>Crax globulosa</i>	Cracidae	VU	
Pio		<i>Rhea americana</i>	Rheidae	LR	II
REPTILES					
Boa	Boye	<i>Boa constrictor</i>	Boidae	LR	II
Caimán		<i>Melanosuchus niger</i>	Alligatoridae	EN	I
Galapago	Chepere	<i>Platemys platycephala</i>	Chelidae	LR	II
Lagarto	Matucha	<i>Caiman yacaré</i>	Alligatoridae	LR	II
Peni	Pid`hud`hu	<i>Tupinambis teguixin</i>	Teiidae	LR	II
Peta del agua	Ena D`hati	<i>Podocnemis unifilis</i>	Pelomedusidae	VU	II
Peta del seco	Yahua D`hate	<i>Geochelone denticulata</i>	Testudinidae	LR	II
Sicuri		<i>Eunecte murinus</i>	Boidae	LR	II
PECES					
Pacu		<i>Colossoma macroponum</i>	Characidae	LR	
Tambaqui		<i>Piaractus brichpomus</i>	Characidae	LR	
Piraiba		<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Pimelodidae	LR	
Coronel		<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>	Pimelodidae	LR	

Surubi	<i>Pseudoplatistom a fasciatum</i>	Pimelodidae	LR	
--------	--	-------------	----	--

Fuente: CIPTA-WCS (2003)

### 3.4.8. Cobertura vegetal

El municipio de Ixiamas tiene una cobertura predominantemente de bosques primarios que abarcan casi el 76% de su superficie. Las sabanas naturales ocupan una quinta parte del mismo. También es importante destacar que el uso actual de la tierra para actividades agrícolas y pecuarias no alcanza al 1% del territorio del municipio. (Gobierno Municipal de Ixiamas 2008)

### 3.4.9. Uso de la tierra

El uso de la tierra en el municipio se caracteriza por el desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas y forestales, tanto de productos maderables como no maderables. (INE 2005)

### 3.4.10. Uso forestal

La actividad forestal es una de las principales en el municipio. De acuerdo a la disponibilidad de recursos del bosque se distinguen el uso forestal maderable y no maderable. Algunas áreas tienen planes de manejo forestal.

Uso forestal maderable: Extracción bajo plan de manejo. Corresponde a áreas de concesiones forestales, ASL, OFC, y propiedades privadas que realizan la extracción de madera de forma selectiva, reguladas por un plan de manejo y por la Superintendencia Forestal. Estas áreas abarcan una superficie de 357.500 has (Plan Forestal Ixiamas, 2007) en los bosques siempre verdes de la Llanura Chaco-beniana, y también en parte de la serranía de El Tigre.

Las principales especies extraídas son: mara, cedro, roble (que no se encuentran con facilidad), aliso, mara macho, almendrillo, bibosi, mapajo, ochoo, palo maría y verdolago.

Los principales productos que se extraen son: castaña, goma, cacao silvestre, majo y jatata. El cacao es vendido a intermediarios o dependiendo de las posibilidades de la familia recolectora directamente en Rurrenabaque, Cobija y Riberalta. Otros productos que se extraen del bosque son: palmito, assaí, chonta, etc. En la mayor parte del municipio existe potencial para el aprovechamiento sustentable de productos no maderables orientados a la artesanía y la elaboración de productos alimenticios ecológicos. (INE 2005)

### **3.5. METODOLOGÍA**

El trabajo se realizó bajo la metodología establecida de las Normas Técnicas de la Comisión Panamericana (COPANT) Maderas, la cual se empleó para determinar las propiedades mecánicas de la madera Cambará, proveniente del municipio de Ixiamas, departamento de La Paz.

Las normas empleadas son:

- COPANT 455 Método de determinación de flexión estática.
- COPANT 458 Selección y recolección de muestras.
- COPANT 459 Acondicionamiento de las muestras físico – mecánicos.
- COPANT 460 Método de determinación del contenido de humedad.
- COPANT 461 Método de determinación del peso específico aparente.
- COPANT 463 Método de determinación de cizallamiento.
- COPANT 464 Método de determinación de compresión paralela al grano.
- COPANT 465 Método de determinación de dureza.
- COPANT 466 Determinación compresión perpendicular al grano.
- COPANT 744 Determinación de extracción de clavos.
- COPANT 30:1-012 Análisis estadístico.

### **3.5.1. Selección y recolección de muestras**

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

#### **3.5.1.1. Definición de la población**

Para realizar el estudio de las propiedades mecánicas de la especie Cambará se establecieron las características de cada individuo como ser: diámetro a una altura de 1.30 m, edad, sanidad, entre otros.

#### **3.5.1.2. Selección de la zona**

Para el estudio de las propiedades mecánicas en madera de Cambará se extrajeron los árboles de la ASL (Agrupación Social del Lugar) San Antonio de la comunidad de Ixiamas, la concesión en sí cuenta con una superficie de 14.986,09 Has.

La superficie de donde se extrajeron los árboles fue de 504 Has la misma que se encontraba divididas en fajas y en picas por el trabajo que realizó la ASL San Antonio de las cuales se eligió al azar los siguientes árboles: 236, 270, 710, 756 y 949 (ver anexos Mapa N° 3 y N° 4)

#### **3.5.1.3. Selección de árboles**

Los arboles seleccionados para el estudio de las propiedades mecánicas fueron escogidos al azar, dentro de las picas ya establecidas, en donde se estaban realizando los trabajos de aprovechamiento en la ASL San Antonio.



Una vez seleccionados, se tomaron de estos las siguientes características que presentaron cada uno de los 5 árboles seleccionados.

#### 3.5.1.4. Ubicación de los árboles

Nº Faja	Nº Pica	Nº de Árbol censados	Coord. X	Coord. Y	DAP (cm)	Altura comercial (m)	Calidad
3 N	13 N	236	547908	8508853	83	23	1
3 N	15 N	270	547939	8509053	94	28	1
2 N	11 N	710	547336	8508685	65	22	1
1 N	8 N	756	547493	8508373	76	23	1
1 N	3 N	949	546792	8507843	81	24	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

#### 3.5.1.5. Selección de árboles

Todos los árboles fueron identificados en estado de pie, se derribaron con una motosierra, donde se confirmó la identificación de la especie, de igual manera se realizó un registro de todos los datos en las planillas de campo (ver anexo I planilla N° 1).

#### 3.5.1.6. Selección de la troza

Posteriormente al apeo de los árboles, se realizó el desramado y los fustes fueron divididos en secciones de 1.50 m de longitud, de las cuales cada sección se marcó en ambos extremos con las letras A, B, C, y D si correspondía desde la parte inferior a la superior de la troza para facilitar su identificación, luego de su correcta identificación se realizó una selección aleatoria para determinar cuáles de las secciones del fuste se utilizarán para las pruebas.

### **3.5.1.7. Selección de la vigueta dentro de la troza**

Las viguetas fueron obtenidas de los tablonces centrales y laterales, tratando que los lados estén bien orientados los mismos que se dividieron longitudinalmente obteniendo de cada uno de ellos las viguetas de 6,5 cm de sección transversal, teniendo en cuenta la escuadría adecuada para una buena orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras. Posteriormente se paso a darle una sección transversal requerida de 5x5 cm.

Cabe hacer notar que los ensayos aplicados son en seco al aire, primero se tuvo que acondicionar las viguetas (sección transversal de 6,5x 6,5 cm) durante un tiempo de 10 días, apilándolas en un galpón con buena circulación de aire

### **3.5.1.8. Tratamiento profiláctico**

Una vez obteniéndose los tablonces centrales en el aserradero, se procedió inmediatamente a limpiar el aserrín que queda después del corte y se fumigó con insecticida y fungicida para evitar el ataque de insectos u hongos. También se procedió al sellado de las testas para evitar las rajaduras debido a la rápida pérdida de humedad por los extremos.

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

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 tablonces centrales de espesor adecuado según el ensayo, para luego ser apilados en un galpón.

- b) La obtención de listones para los ensayos en seco al aire son de 5x5 cm éstos fueron dejados a secar en un galpón al aire libre, hasta llegar a un contenido de humedad adecuada, se realizaron estos listones, mediante una sierra sin fin, una gruésadora 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 de aproximadamente 10 a 12 días, 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 así mismo de la dirección de las fibras traen resultados incorrectos.
- d) Sobre las viguetas (5x5 cm. de sección transversal) seleccionadas al azar se procedió a marcar la longitud requerida de las probetas para los diferentes ensayos, se evitaron los defectos que puedan presentarse en la madera (rajaduras, nudos, pudriciones, etc.)
- e) Para los ensayos de flexión estática se procedió a realizar el corte sobre las viguetas, la obtención de las probetas para este ensayo cuentan con una dimensión final de 5x5x75 cm.
- f) Para el ensayo de compresión paralela, se realizan de igual manera los cortes sobre las viguetas hasta obtener las probetas con sus dimensiones finales de 5x5x20 cm.
- g) En los ensayos de compresión perpendicular, dureza y extracción de clavos los cortes realizados sobre las viguetas tienen una dimensión final de 5x5x15 cm.
- h) Para los ensayos de Cizalladura se proceden a cortar las viguetas hasta tener las dimensiones de 5x5x 6,3 cm. teniendo en cuenta que estas probetas presentan una ceja de 1,8cm de ancho y 1,3 cm de altura, cuyos cortes son realizados con una sierra sin fin, y que dicha ceja tiene que estar presente en una parte de las probetas sobre la sección radial y para la otra parte del ensayo sobre la sección tangencial.

De esta manera después del seccionado respectivo se obtuvieron:

Ensayo	Dimensiones	Cant. Probetas seco al aire
Flexión estática	5x5x75 cm.	10
Compresión paralela	5x5x20 cm.	10
Compresión perpendicular	5x5x15 cm.	10
Dureza	5x5x15 cm.	10
Extracción de clavos	5x5x15 cm.	10
Cizallamiento tangencial	5x5x6,3 cm.	10
Cizallamiento radial	5x5x6,3 cm.	10

#### **3.5.1.10. Codificación de las probetas**

Para mantener un adecuado registro de las probetas con las que se realizó el ensayo y poder facilitar la correcta tabulación de los datos se vio por conveniente realizar una codificación de las mismas, de una manera clara y sencilla que nos permite ubicar una determinada probeta en cualquier momento del ensayo y poder luego reemplazar correctamente, si se diera el caso de existir probetas falladas.

El código fue escrito de forma clara y lo suficientemente grande en uno de los costados de la probeta con lápiz indeleble para evitar que se borre.

### **3.6. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS**

Los ensayos correspondientes a las propiedades mecánicas son determinados de acuerdo a las estipulaciones establecidas por las normas COPANT MADERAS, obteniendo datos para los respectivos cálculos de los ensayos normalizados.

Antes de realizar cada uno de los ensayos, se procedió a la medición de las probetas y determinación de su peso (gr). Estos datos son registrados en planillas de laboratorio así como también los datos correspondientes a carga y deformación.

Se utilizo para todos los ensayos la prensa de ensayos universalesAMSLER cuya precisión es de 0.1 KN que se encuentra en el Laboratorio de Tecnología de la Madera (Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales), maquina universal de ensayos provista con todos los accesorios necesarios para regular la velocidad de los ensayos, y un deflectómetro para medir las deformaciones con una precisión de 0.01 mm.

#### **3.6.1. Determinación de flexión estática (COPANT 455)**

En este ensayo se utilizaron probetas de sección transversal de 5x5 y 75 cm. de longitud, cada una de estas fue colocada entre dos apoyos cilíndricos con una luz de 70 cm. (ver anexo II figura N° 1)

Se aplicó una carga externa, en el centro de la probeta en dirección tangencial a los anillos de crecimiento, dicha carga es transmitida mediante un cabezal metálico. El ensayo se realizó a una velocidad constante de 2,5mm/min.

Dentro del tiempo del ensayo, se tomó lecturas de deformación mediante el deflectómetro, a intervalos constantes de la carga hasta el límite de ruptura y su deflexión y/o deformación correspondiente, las cuales fueron registradas en planillas. Para la interpretación de las fallas se dibujo, con el objeto de clasificarlas, según el tipo de falla (ver anexo II figura N° 2), luego de la zona más cercana de la ruptura se procedió a realizar un corte de una galleta de 2 cm. de espesor, donde se obtuvo el contenido de humedad de cada una de las probetas ensayadas con ayuda de un xilohigrometrico eléctrico.

En base a las lecturas registradas (ver anexo I planilla N° 2), se trazo la curva carga-deformación (ver gráfico N°3) datos necesarios para calcular el esfuerzo al límite proporcional (ELP), módulo de ruptura (MOR), modulo de elasticidad (MOE), de cada una de las probetas ensayadas en función a las siguientes fórmulas:

- Esfuerzo unitario en el límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{3}{2} \frac{P1 \times L}{b \times h^2}$$

ELP = Esfuerzo unitario en el límite proporcional (Kg/cm<sup>2</sup>)

P1 = Carga en el límite proporcional (Kg)

L = Luz de la probeta (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

- Esfuerzo unitario máximo (MOR)

$$MOR = \frac{3}{2} \frac{P2 \times L}{b \times h^2}$$

MOR = Módulo de ruptura

P2 = Carga máxima (Kg)

- Módulo de elasticidad (MOE)

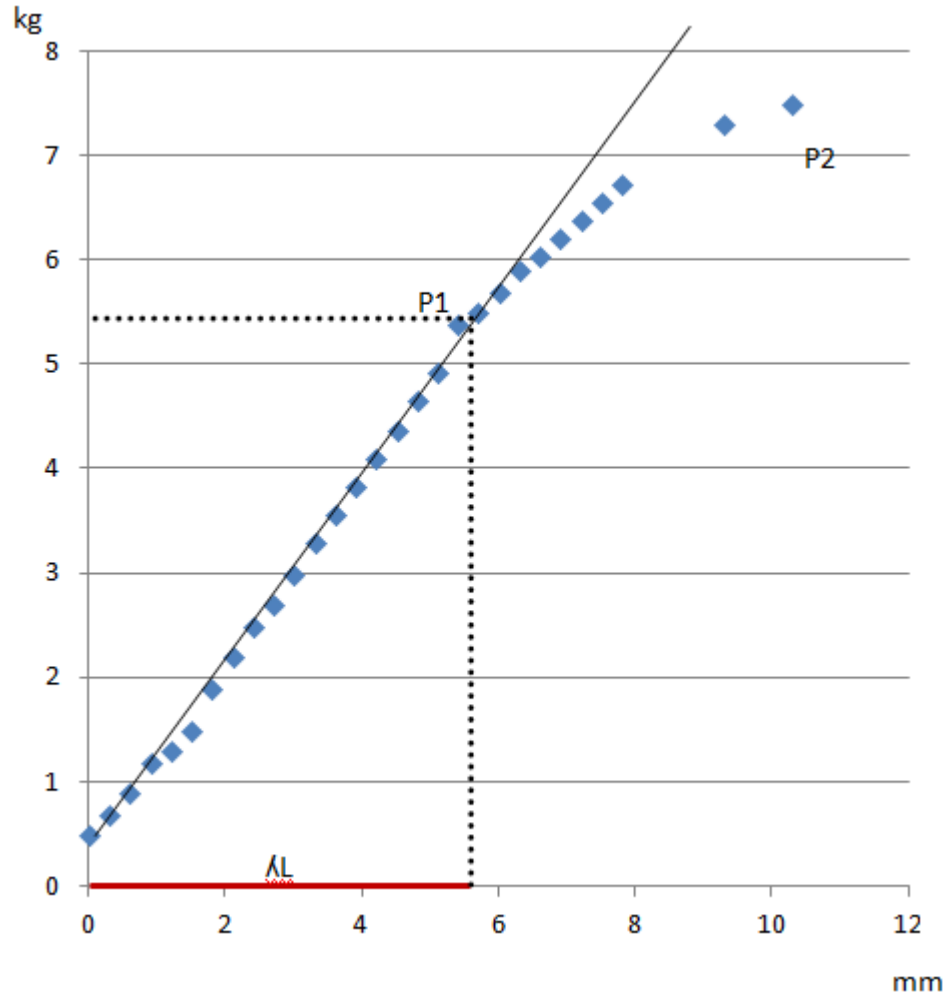
$$MOE = \frac{1}{4} \frac{P1 \times L^3}{b \times \Delta L \times h^3}$$

MOE = Módulo de elasticidad (Kg/ cm<sup>2</sup>)

$\Delta L$  = Deflexión en el límite proporcional (cm)

GRÁFICO N° 3

GRÁFICA FLEXIÓN ESTÁTICA SECO AL AIRE



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- P1 = 550,6488 Kg
- P2 = 700,54764 kg
- $\lambda L$  = 0,56 cm
- L = 70 cm
- B = 4,9
- h = 4,7
- ELP = 534,161 kg/cm<sup>2</sup>
- MOR = 679,571 kg/cm<sup>2</sup>
- MOE = 181.990,616 kg/cm<sup>2</sup>



### 3.6.2. Determinación de compresión paralela al grano (COPANT 464)

Este ensayo se realiza sobre probetas de 5x5 cm. de sección transversal y de 20 cm de longitud, las probetas se disponen verticalmente sobre la base fija de la prensa para aplicar gradualmente la fuerza de compresión a través del plato móvil o cabezal, provista de una articulación esférica para compensar posibles fallas por escuadría que puedan presentarse en las probetas (ver anexo II figura N° 3). Este ensayo se realizo de acuerdo a la norma COPANT 464 y se gráfico las fallas de las probetas para realizar una clasificación según “fallas típicas de compresión paralela al grano” (ver anexo II figura N°4). La carga aplicada sobre la cara transversal de la probeta avanza a una velocidad constante de 0.6 mm/min.

A intervalos constantes de incremento de carga se registraron las lecturas del deflectómetro hasta la ruptura de la probeta y en base a los datos que se obtuvieron se procedió a graficar la curva carga-deformación (ver gráfico N°4) de esta manera se pudo realizar los cálculos del ELP, MOR, MOE, con las siguientes formulas:

- Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)

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

P1 = Carga al límite proporcional (kg)

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

- Modulo de ruptura (MOR)

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

P2 = Carga máxima soportada por la probeta (Kg)

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

- Módulo de elasticidad (MOE)

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

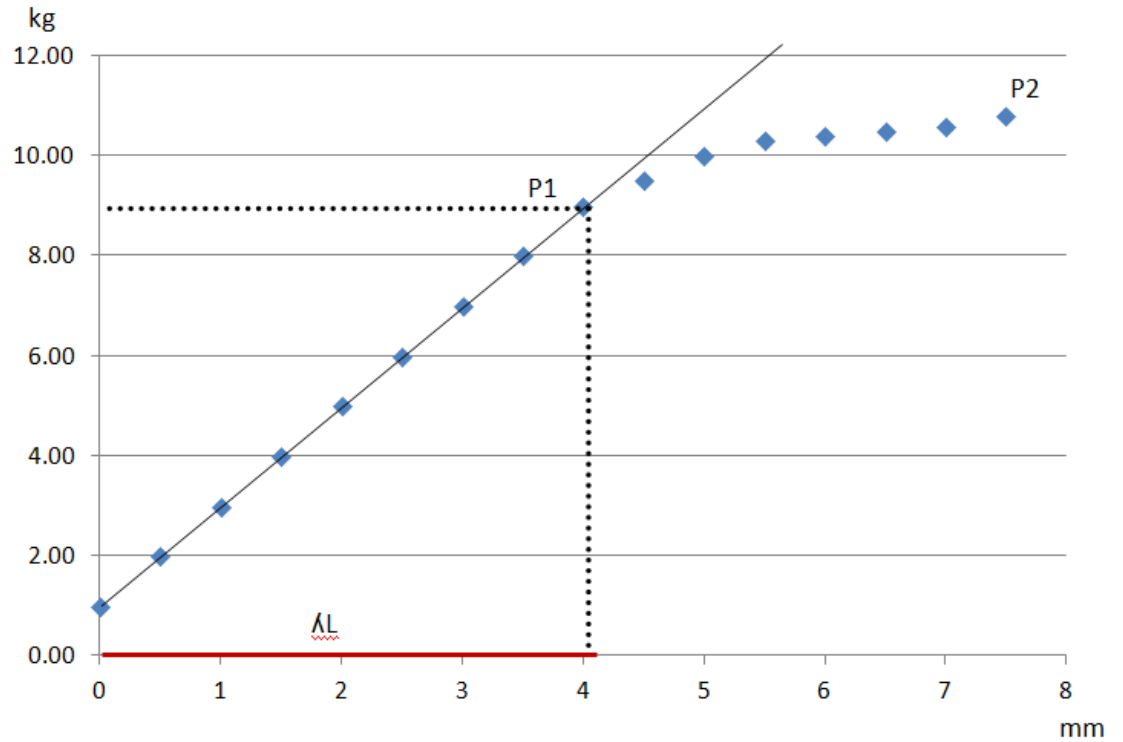
P1 = Carga al límite proporcional (kg)

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

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

$\Delta L$  = Deformación de la probeta (cm)

**GRÁFICO N° 4**  
**GRÁFICA DE COMPRESIÓN PARALELA SECO AL AIRE**



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- P1 = 8871,564Kg
- P2 = 11.012,976kg
- $\lambda L$  = 0,41 cm
- L = 15 cm
- B = 4,9
- h = 4,8
- ELP = 359,172 kg/cm<sup>2</sup>
- MOR = 445,869 kg/cm<sup>2</sup>
- MOE = 48.867,024 kg/cm<sup>2</sup>

### 3.6.3. Determinación de compresión perpendicular al grano (COPANT 466)

Este ensayo se realiza sobre probetas de 5x5 cm. de sección transversal y de 20 cm. de longitud de acuerdo a la norma COPANT 466, antes del ensayo se colocan los accesorios necesarios en la prensa de ensayos universales AMSLER; posteriormente sobre una base metálica fija se coloca la probeta horizontalmente para luego aplicar a la probeta una fuerza compresión transmitida por un platillo móvil a través de un bloque metálico de 5x5cm de sección transversal ubicado en el centro de la cara radial de la probeta. (ver anexo II figura N° 5)

Se aplico la carga (o fuerza de compresión) continua con una velocidad uniforme de manera que el plato móvil toque ligeramente el bloque metálico de presión hasta una penetración del bloque de 2,5 mm en la madera. Luego de aplicar la carga se procede sacar galletas de la zona más cercana de la falla para la toma del contenido de humedad para cada una de las probetas.

Se registraron las deformaciones en el deflectómetro y las cargas correspondientes para luego trazar la curva carga-deformación hasta el límite proporcional. (ver anexo I Planilla N°4)

Posteriormente se calculó el esfuerzo al límite proporcional por medio de la siguiente relación matemática:

- Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

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

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

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

#### 3.6.4. Método de determinación de dureza (COPANT 465)

El ensayo de dureza de la madera, se lo realizo con probetas de sección transversal de 5x5 cm. y 15 cm. de longitud de acuerdo a lo estipulado en la norma COPANT 465, se utilizo la maquina universal agregando a esta un accesorio, (ver anexo figura II N° 6) con lo que se mide la resistencia que opone la madera a la penetración de la esfera metálica de 11,284 mm de diámetro, aplicando una carga continua, controlando la penetración mediante el collarín móvil. En cada probeta se realizan 6 penetraciones; en las caras radiales, en las caras tangenciales y en cada uno de los extremos. Después de concluido el ensayo se procedió a cortar una galleta de 2 cm de sección próxima a la penetración, con la cual se determino el contenido de humedad.

La determinación de la dureza se cálculo de la siguiente manera:

Dureza (HB)

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

F = fuerza registrada (Kg.)

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

### 3.6.5. Determinación de cizalladura (COPANT 463)

Para esto se siguió el procedimiento indicado en la norma COPANT 463 donde se colocó la probeta en un accesorio especial para cizallamiento.

Las probetas de cizallamiento presentan una sección transversal de 5x5 cm y 6,3 cm de longitud (en dirección a las fibras), con una entalladura que resulta de realizar un corte en la parte superior de la probeta unas en la cara tangencial las otras en la cara radial de 1,8 cm de ancho por 1,3 cm de alto.

Una vez sujeta la probeta en el accesorio, queda libre (sin apoyo en la base) la parte de la entalladura (ver anexo II figura N° 7) para aplicar una carga a una velocidad uniforme por medio de una placa metálica de 0,6mm/min. hasta que se produce la ruptura de la probeta, momento en que se tomó lectura de la carga máxima y luego se registró en las planillas de cizallamiento. Para determinar el contenido de humedad se utilizó las porciones separadas de cada una de las probetas.

Con los datos obtenidos se calculó el Esfuerzo Unitario Máximo (EUM) a través de la siguiente expresión:

- Esfuerzo unitario máximo (EUM)

$$EUM = \frac{P. max}{A}$$

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

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

### **3.6.6. Extracción de clavos ( COPANT 744)**

Se tomaran en cuenta para este ensayo las especificaciones de la norma COPANT (744), según esta se determina la resistencia de la madera a la extracción de clavos.

Se utilizaron probetas de 5x5 cm. de sección transversal y 15 cm. de longitud, empleando clavos de caño liso de 2,5 mm. de diámetro con punta de forma de diamante; antes de ser introducidos en las probetas cada uno de los clavos fue limpiado con una lija para eliminar cualquier materia extraña o revestimiento. Se introdujeron los clavos perpendicularmente a las caras de las probetas a una profundidad de 32mm. 2 en una cara tangencial otros 2 en una cara radial y uno en cada uno de los extremos de la probeta, realizándose 6 extracciones de clavos por cada una de las probetas.

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 (ver anexo II figura N° 8). Luego de retirar los clavos se procedió a cortar las probetas para la obtención de las galletas para determinar el contenido de humedad.

**CAPÍTULO IV**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS**

**RESULTADOS**



#### 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

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

Los datos estadísticos son:

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

Donde:

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

Los datos anteriores permiten calcular los siguientes valores:

#### 4.1. Valor promedio ( $\bar{X}$ ) de los valores individuales por árbol

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

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

#### 4.2. Valor promedio total ( $\bar{X}$ ) de todos los valores individuales

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

1. Cuando el numero de probetas por árbol (l) sea igual en todos los arboles a ensayar se utiliza la formula:

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

2. Cuando el numero de probetas por árbol (l) no es igual para todos los arboles, se utiliza la siguiente fórmula:

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

En el cálculo del promedio total se utiliza los valores individuales ( $x_{ij}$ ) que corresponde a cada uno de los valores.

### 4.3. Estimación de la varianza

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

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

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Donde:

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

$$n_2 = N - k = 10 - 5 = 5$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 10 - 1 = 9$$

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

Donde:

$N = 10$  (número de probetas por ensayo)

$k = 5$  (número de árboles)

$l = 2$  (número de probetas dentro de un árbol por ensayo)

$$\bar{X} = 170$$

$$I = \frac{1}{N} * (\sum_{j=1}^N x_j)^2 = \frac{(6800,5)^2}{10} = 2312328,88$$

$$II = l * \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} (\sum_{i=1}^k x_i)^2 = 2319286,9$$

$$III = \sum_{i=1}^N x_i^2 = 2326200,9$$

$$S_1^2 = \frac{II - I}{k - 1} = \frac{6958,02}{4} = 773,11$$

$$S_2^2 = \frac{III - II}{N - k} = \frac{6914,016}{5} = 691,40$$

$$S_t^2 = \frac{III - I}{N - 1} = \frac{13872,026}{9} = 730,11$$

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

$S_1^2$  = variación promedio

$S_1^2$  = variación de todos los valores individuales alrededor del promedio total

#### 4.4. Determinación del coeficiente de variación

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

$$S_1 = \sqrt{773,11} = \pm 27,805$$

$$S_2 = \sqrt{691,402} = \pm 26,295$$

$$S_T = \sqrt{730,107} = \pm 27,020$$

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

$$CV_2 = \frac{s_2}{x} * 100 = \frac{26,295}{340} * 100 = 7,733$$

El coeficiente de variación total ( $CV_t$ ) para la varianza de los valores individuales ( $X_1$ ) alrededor del promedio total ( $\bar{X}$ ) se obtiene según:

$$CV_t = \frac{s_t}{x} * 100 = \frac{27,020}{340} * 100 = 7,947$$

#### **4.5. Cálculo del intervalo de la 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 de la siguiente fórmula:

$$\bar{X} \pm q = \bar{X} \pm t_{(k-1)} * \frac{s_1}{\sqrt{N}} = 170 \pm 14,051$$

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

#### 4.6. Determinación del valor relativo del intervalo de confianza ( $\pm p$ )

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

$$\pm P = t_{(k-1)} * \frac{CV_1}{\sqrt{N}} = 4,530$$

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la obtención de los resultados, en primer lugar se presenta los cálculos de los datos obtenidos en los ensayos, para luego realizar el análisis estadístico correspondiente lo que permite utilizar con confiabilidad y proponer los usos adecuados para la especie en estudio.

A continuación se presentan los promedios del contenido de humedad, como también los resultados de todos los ensayos realizados.

### a) Contenido de humedad

ESTADO	CH %
Seco al aire	11,7

### 5.1. FLEXIÓN ESTÁTICA

Este ensayo fue realizado de acuerdo a lo estipulado en la norma COPANT MADERAS 455.

ESTADO	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
Seco al aire	463,156	538,47	141.688,575
Ajustado al 12 %	465,810	540,900	141.691,229

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los valores ajustados al 12 % C.H. están determinados en función de la siguiente fórmula:



$$\log R_{12} = \log RSA + \frac{(HSA - H_{12})}{(HV - HSA)} * \log \frac{RSA}{HV}$$

Donde:

R<sub>12</sub> = Resistencia mecánica al 12% en kg/cm<sup>2</sup>

RSA = Resistencia mecánica al en estado seco al aire en kg/cm<sup>2</sup>

H<sub>12</sub> = Contenido de humedad al 12%

HSA = Contenido de humedad seco aire en %

HV = Contenido de humedad verde (C.H. =30%)

$$\log R_{12} = \log 463,156 + \frac{(11.15 - 12)}{(30 - 11.15)} * \log \frac{463,156}{30}$$

$$\log R_{12} = 2,6657 + (-0,4509) * \log 1.1886$$

$$\text{Log } R_{12} = 2.6713$$

$$R_{12} = 10^{2.6318}$$

$$R_{12} = 465,810 \text{ kg/ cm}^2$$

Estos resultados ajustados al 12 % nos indican la resistencia de la madera en sus diversos ensayos tomando en cuenta que el contenido de humedad en la madera ensayada es de 11.7 % y la densidad básica es de 0.47 kg/cm<sup>3</sup>

## 5.2. COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma COPANT 466.

ESTADO	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )
Seco al aire	44,719
Ajustado al 12 %	43,771

Fuente: Elaboración propia, 2017.

## 5.3. COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO

De acuerdo a la norma COPANT 464 se determinaron los siguientes resultados.

ESTADO	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
Seco al aire	363,239	435,654	46.556,594
Ajustado al 12 %	362,44	434,86	46.555,80

Fuente: Elaboración propia, 2017.

## 5.4. DUREZA

Se realizo de acuerdo a la norma COPANT 465 arrojando los siguientes resultados.

ESTADO	LADOS (Kg/cm <sup>2</sup> )	AXIAL (Kg/cm <sup>2</sup> )
Seco al aire	479,778	647,522
Ajustado al 12 %	454,778	623,522

Fuente: Elaboración propia, 2017.

### 5.5. EXTRACCIÓN DE CLAVOS

Se obtuvieron los siguientes resultados utilizando la norma COPANT 744.

ESTADO	RADIAL (Kg)	TANGENCIAL (Kg)	AXIAL (Kg)
Seco al aire	167,489	146,534	113,291
Ajustado al 12 %	167,275	146,234	112,491

Fuente: Elaboración propia, 2017.

### 5.6. CIZALLAMIENTO

En base a la norma COPANT 463, se obtuvieron los siguientes resultados.

ESTADO	RADIAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (Kg/cm <sup>2</sup> )
Seco al aire	91,681	94,581
Ajustado al 12 %	91,416	93,875

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Donde X es la media aritmética de todos los datos obtenidos como ser el del C.H, ELP etc. de cada probeta para realizar con estos valores las diferentes estimaciones.

CV1 es el coeficiente de variación entre árboles que hace referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de los datos, éstos toman la unidad de acuerdo a sus datos.

CV2 es el coeficiente de variación dentro de cada árbol que hace referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de los datos, éstos toman la unidad de acuerdo a sus datos.

CVT es el coeficiente de variación total dentro de los valores obtenidos con el CV2 expresado en porcentaje (%)

S1 es la desviación típica entre los árboles es una medida de dispersión que representan los datos en su distribución con respecto de la media aritmética de dicha distribución, éstos toman la unidad de acuerdo a sus datos.

S2 es la desviación típica dentro de cada uno de los árboles es una medida de dispersión que representan los datos en su distribución con respecto de la media aritmética de dicha distribución, éstos toman la unidad de acuerdo a sus datos.

ST es la desviación total dentro de cada árbol tomado el conjunto de los 5 obtenidos en S2.

Q es el intervalo de confianza y la amplitud del intervalo de los datos que varían conjuntamente, de forma que un intervalo más amplio tendrá más probabilidad de acierto (mayor nivel de confianza), mientras que para un intervalo más pequeño, que ofrece una estimación más precisa, aumenta su probabilidad de error.

P es el intervalo de confianza de manera porcentual

CUADRO N° 2

DATOS Y RESULTADOS DEL CAMBARÁ

FLEXIÓN ESTÁTICA

árbol N	probeta	ESTADO SECO AL AIRE				AJUSTADO AL 12%		
		C,H, %	ELP (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (kg/cm2)	ELP (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (kg/cm2)
1	1	11,95	360,392113	388,844122	109.494,131583	363,046	391,498	109.496,785
	2	12,21	455,429812	521,846660	176.523,182964	458,084	524,500	176.525,837
2	1	12,25	437,379902	488,836361	120.755,100271	440,034	491,490	120.757,754
	2	12,22	455,232143	512,136161	180.122,537145	457,886	514,790	180.125,191
3	1	11,99	421,795360	507,876045	147.207,782173	424,449	510,530	147.210,436
	2	12,28	399,489431	455,232143	158.527,552177	402,143	457,886	158.530,206
4	1	12,71	514,154034	563,591922	190.168,686977	516,808	566,246	190.171,341
	2	12,4	587,829691	697,145388	150.206,794195	590,484	699,799	150.209,448
5	1	12,54	534,161030	679,571532	181.990,616383	536,815	682,225	181.993,270
	2	12,23	465,693766	567,386078	188.899,370667	468,348	570,040	1.892,024
X		12,278	463,156	538,247	141.688,575	465,810	540,900	141.691,229
S1		0,074	2014,976	3193,854	44049688,826	2.025,256	3.180,184	43.997.575,395
S2		0,035	470,488	4533,458	7848748,887	474,181	4.598,389	7.811.339,083
ST		0,053	1202,088	3898,909	24996562,542	1.208,901	3.926,607	24.952.187,863
CV1		2,205	14,935	8,676	10,604	14,948	8,642	10,583
CV2		1,52	7,217	10,337	4,476	7,233	10,392	4,459
CVT (%)		1,876	11,536	9,586	7,988	11,549	9,603	7,970
Q		0,137	22,684	28,560	3354,014	22,742	28,498	3352,029
P		1,114	7,547	4,384	5,359	7,554	4,367	5,348

Fuente: elaboración propia 20017,

## FOTOGRAFÍA N° 1

### FALLA PRODUCIDA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



Falla de tracción simple presente en el ensayo en flexión estática, esta falla se produce porque al momento de aplicar la carga a la probeta y llegar ésta a su límite de ruptura y separan las fibras de forma paralela al radio y luego sus fibras se rompen con un ángulo aproximado de  $45^\circ$ .

CUADRO N° 3

DATOS Y RESULTADOS DEL CAMBARÁ

COMPRESIÓN PARALELA

árbol N	probeta	ESTADO SECO AL AIRE				AJUSTADO AL 12%		
		C,H, %	ELP (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (kg/cm2)	ELP (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (kg/cm2)
1	1	11,09	332,643	432,147	58.358,339	331,845	431,349	58357,541
	2	11,13	381,466	426,879	42.861,360	380,668	426,081	42860,562
2	1	11,20	366,850	427,785	61.655,544	366,052	426,987	61654,746
	2	11,18	357,926	425,498	37.875,748	357,128	424,700	37874,950
3	1	11,47	381,161	430,503	51.858,703	380,363	429,705	51857,905
	2	10,84	402,521	446,695	57.916,698	401,723	445,897	57915,900
4	1	11,50	358,335	443,926	42.914,412	357,537	443,128	42913,614
	2	11,59	358,146	444,780	45.623,638	357,348	443,982	45622,840
5	1	11,38	359,173	445,869	48.867,025	358,375	445,071	48866,227
	2	10,81	334,173	432,460	47.634,475	333,375	431,662	17633,677
X		11,22	363,24	435,65	46.556,59	362,44	434,86	46555,80
S1		0,243	926,159	4146,955	29.818.475,811	926,451	3467,730	29450268,265
S2		0,04	456,718	1591,885	7.133.948,855	447,747	1555,190	7051341,664
ST		0,136	679,085	2802,185	17.879.251,097	674,502	2461,130	17661359,537
CV1		4,267	14,137	21,659	20,001	14,186	20,154	19,928
CV2		1,73	9,928	13,419	9,783	9,862	13,497	9,751
CVT (%)		3,194	12,106	17,804	15,488	12,104	16,979	15,433
Q		0,249	15,379	32,543	27.5953	15,382	29,759	27.4244
P		2,156	7,144	10,945	10,108	7,169	10,185	10,071

Fuente: elaboración propia 20017,

## FOTOGRAFÍA N° 2

### FALLA PRODUCIDA DURANTE EL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA



Falla de aplastamiento obtenida en el ensayo de compresión paralela, este tipo de falla presenta un plano de ruptura en las fibras de manera casi horizontal.



CUADRO N° 4

## DATOS Y RESULTADOS DEL CAMBARÁ

## CIZALLAMIENTO

árbol N	probeta	estado seco al aire				AJUSTADO AL 12 %	
		RADIAL		TANGENCIAL		RADIAL	TANGENCIAL
		C,H, %	EUM (Kg/cm2)	C,H, %	EUM (Kg/cm2)	EUM (Kg/cm2)	EUM (Kg/cm2)
1	1	11,10	97,64114286	11,1	103,9405714	97,37614286	103,2345714
	2	11,50	96,41710506	11,5	98,7977743	96,15210506	98,0917743
2	1	11,30	86,73480460	12,1	91,4231724	86,46980460	90,7171724
	2	11,60	97,22911628	11,9	98,4148372	96,96411628	97,7088372
3	1	11,00	88,34978626	11,4	91,0742290	88,08478626	90,3682290
	2	11,20	76,97497276	11,6	85,7040934	76,70997276	84,9980934
4	1	10,60	103,94820155	12,1	102,3672403	103,68320155	101,6612403
	2	10,80	89,37314286	11,4	89,3731429	89,10814286	88,6671429
5	1	11,20	101,58279389	10,4	91,0742290	101,31779389	90,3682290
	2	11,40	78,56208560	10,7	93,6396576	78,29708560	92,9336576
X		11,17	91,681	11,4	94,581	91,416	93,8748948
S1		0,16	471,49	0,14	170,97	463,979	170,573
S2		0,025	129,498	0,172	133,441	125,63	130,206
ST		0,087	291,495	0,158	151,215	285,901	149,328
CV1		3,56	21,547	3,391	10,531	21,456	10,56
CV2		1,423	11,292	3,730	9,304	11,164	9,226
CVT (%)		2,659	16,942	3,574	9,904	16,842	9,881
Q		0,199	10,973	0,190	6,605	10,885	6,6
P		1,799	10,889	1,714	5,322	10,843	5,337

Fuente: elaboración propia 20017,

### FOTOGRAFÍA N° 3

#### FALLA PRODUCIDA EN EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO



Ruptura de la pieza obtenida en el ensayo de cizallamiento, esto resulta al momento de aplicar la carga máxima a la probeta la cual está presentando una resistencia opuesta a esta carga que provoca la ruptura de sus fibras.

## DATOS Y RESULTADOS DEL CAMBARÁ

## COMPRESIÓN PERPENDICULAR

árbol N	probeta	estado seco al aire		AJUSTADO AL 12%
		C,H, %	ELP (kg/cm2)	ELP (kg/cm2)
1	1	11,66	43,110	42,162
	2	11,31	47,890	46,942
2	1	11,89	43,761	42,813
	2	11,52	46,616	45,668
3	1	11,66	41,038	40,090
	2	11,46	43,000	42,052
4	1	11,58	48,879	47,931
	2	11,41	50,575	49,627
5	1	11,34	41,867	40,919
	2	11,34	40,459	39,511
X		11,52	44,719	43,771
S1		1,71	59,563	57,677
S2		0,038	47,025	45,265
ST		0,101	52,964	51,145
CV1		3,645	14,260	14,085
CV2		1,719	12,671	12,478
CVT (%)		2,802	13,447	13,263
Q		0,209	3,900	3,838
P		1,842	7,206	7,118

Fuente: elaboración propia 20017.

CUADRO N° 6

DATOS Y RESULTADOS DEL CAMBARÁ

DUREZA

árbol N	probeta	ESTADO SECO AL AIRE			AJUSTADO AL 12 %	
		C,H, %	EXTREMOS Kg/cm2	LADOS Kg/cm2	EXTREMOS Kg/cm2	LADOS Kg/cm2
1	1	11,40	652,6208	374,747	628,621	349,747
	2	11,70	713,804	509,860	689,804	484,860
2	1	12,40	876,9592	596,536	852,959	571,536
	2	11,90	632,2264	504,761	608,226	479,761
3	1	11,80	601,6348	446,128	577,635	421,128
	2	11,60	662,818	451,226	638,818	426,226
4	1	11,40	514,9586	527,705	490,959	502,705
	2	12,10	657,7194	441,029	633,719	416,029
5	1	11,90	627,1278	339,057	603,128	314,057
	2	11,70	535,353	606,733	511,353	581,733
X		11,79	647,5222	479,778	623,522	454,778
S1		1,07	279,740	255,990	348,990	302,440
ST		8,02	22,620	19,740	26,210	22,610
CV1		0,6	57.281,040	63.118,440	61.606,510	87.407,080
CV2		0,77	239,330	251,370	248,210	295,650
CVT (%)		5,78	19,350	19,380	18,640	22,100
Q		0,68	210,400	220,990	218,200	259,910
P		5,08	17,010	17,040	16,390	19,430

Fuente: elaboración propia 20017,

CUADRO N° 7

DATOS Y RESULTADOS DEL CAMBARÁ

EXTRACCIÓN DE CLAVOS

árbol N	probeta	ESTADO SECO AL AIRE				AJUSTADO AL 12%		
		EXTRACCION (Kg)				EXTRACCION (Kg)		
		C,H, %	RADIAL	TANG	AXIAL	RADIAL	TANG	AXIAL
1	1	11,17	99,422700	114,718500	89,7353600	99,208700	114,418500	88,9353600
	2	11,46	140,721360	109,619900	87,6959200	140,507360	109,319900	86,8959200
2	1	11,20	193,236940	183,549600	101,9720000	193,022940	183,249600	101,1720000
	2	11,18	205,983440	170,803100	127,4650000	205,769440	170,503100	126,6650000
3	1	11,46	160,605900	123,895980	108,0903200	160,391900	123,595980	107,2903200
	2	11,31	133,073460	125,425560	113,6987800	132,859460	125,125560	112,8987800
4	1	11,20	153,977720	155,507300	118,7973800	153,763720	155,207300	117,9973800
	2	11,18	168,253800	124,915700	129,5044400	168,039800	124,615700	128,7044400
5	1	11,38	201,394700	173,352400	117,2678000	201,180700	173,052400	116,4678000
	2	11,09	218,220080	183,549600	138,6819200	218,006080	183,249600	137,8819200
X		11,26	167,489	146,534	113,291	167,275	146,234	112,491
S1		0,10	105,32	317,01	62,68	104,397	313,37	61,816
S2		0,02	35,558	106,425	23,313	35,456	105,224	22,822
ST		0,056	68,618	206,174	41,960	68,113	203,819	41,294
CV1		2,729	10,687	18,341	11,147	10,64	18,282	11,092
CV2		1,243	6,212	10,646	6,798	6,201	10,594	6,74
CVT (%)		2,083	8,626	14,818	9,120	8,594	14,744	9,066
Q		0,157	5,186	8,998	4,001	5,163	8,946	3,973
P		1,379	5,401	9,285	5,633	5,377	9,239	5,605

Fuente: elaboración propia 20017,

## 5.7.DISCUSIÓN

Para la discusión del presente estudio se comparó los resultados obtenidos en los ensayos de las propiedades mecánicas de la especie Cambará (*Erisma uncinatum Warm*) procedentes del municipio de Ixiamas y los datos presentados en el proyecto de apoyo a la coordinación e implementación del plan de acción forestal para Bolivia FAO-PAFBOL (GCP/BOL/028/NET) SERIE TÉCNICA XII “INFORMACIÓN TÉCNICA PARA EL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE 134 ESPECIES MADERABLES DE BOLIVIA” elaborado por Víctor Hugo Gutiérrez Rojas.

Para el caso específico de la especie Cambará (*Erisma uncinatum Warm*) los valores comparativos de los ensayos de las propiedades mecánicas tienen procedencia del departamento de Santa Cruz. Ambos estudios realizados, utilizaron como base metodológica las normas COPANT MADERAS.

En el ensayo de flexión estática el presente estudio obtuvo para el módulo de elasticidad un valor de 141.691,299 kg/cm<sup>2</sup> al 12%, en comparación al valor de 115.000 kg/cm<sup>2</sup> al 12%, los resultados del módulo de ruptura son 540,900 al 12 % comparado al valor de 897 kg/cm<sup>2</sup> al 12% obtenido en Santa Cruz.

En cuanto a la compresión paralela el módulo de ruptura tenemos 434,86 kg/cm<sup>2</sup> ajustado al 12 %, en Santa Cruz el valor es más alto 524 kg/cm<sup>2</sup> (12%).

Para el ensayo de corte radial nuestro valor es un poco inferior 91,416 (12%), pero con una diferencia mínima al valor de 98 kg/cm<sup>2</sup> (12%) obtenido en Santa Cruz.

Y por último en los ensayos de dureza lateral se presenta una diferencia con valores más altos de la madera de Ixiamas que alcanza 454,778 kg/cm<sup>2</sup> (12%) frente al valor de 374 kg/cm<sup>2</sup> (12%) obtenido en la madera de Santa Cruz.

La variación de los datos comparados en este estudio puede deberse a una gran variedad de factores que actúan de forma directa o indirecta en el desarrollo de los árboles. Pese a ser una misma especie al tratarse de un material heterogéneo, la madera presenta variaciones, inclusive dentro de un mismo árbol, por la forma

aleatoria de desarrollarse internamente. No resulta raro que en maderas, de la misma especie, de diferentes zonas se presenten diferencias principalmente por los factores ecológicos, por presentar mayor incidencia en las características anatómicas de las especies forestales estas diferencias se dan por diferencias de temperatura, precipitación, suelo, pisos altitudinales y otros que afectan directamente el desarrollo de los individuos.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y cumpliendo los objetivos planteados en el presente estudio, de la especie Cambará (*Erismia uncinatum* Warm), se llegó a las siguientes conclusiones.

### a) FLEXIÓN ESTÁTICA

Como parámetros más relevantes en el estado seco al aire, son; el modulo de ruptura y modulo de elasticidad, el primero alcanzando un valor de  $538,274 \text{ kg/cm}^2$  clasificándose, como madera de **media resistencia a la flexión estática**, de acuerdo al rango de clasificación. Además se puede afirmar, que es una madera de muy poca deformación indicado por su modulo de elasticidad, presentando un valor de  $141.688,575 \text{ kg/cm}^2$ . Y por último presentó un ELP cuyo valor fue de  $463,156 \text{ kg/cm}^2$ . En los ensayos se presentaron los siguientes tipos de fallas, tracción simple (50 %), grano entrecruzado (45%) y compresión con un 5% de presencia en las probetas.

### b) COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO

La madera presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras, representando por el esfuerzo al límite proporcional cuyo valor es de  $44,719 \text{ kg/cm}^2$  en estado seco al aire, indicando que se trata de una madera con **mediana resistencia a la penetración de la placa metálica**.

### c) COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO

El ensayo está reflejado con mayor importancia, por el modulo de ruptura cuyo valor alcanzado es de  $435 \text{ kg/cm}^2$ , en estado seco al aire y según rangos de clasificación de maderas se considera como una madera de **resistencia alta a la compresión paralela al grano**. Las fallas que estuvieron presentes en los ensayos fueron de cizallamiento o corte (45%) y aplastamiento (55%).

#### **d) DUREZA**

El resultado de estos ensayos obtenidos en probetas secas al aire, presentaron los siguientes valores, 493,544 kg/cm<sup>2</sup> en sus caras radiales, 466,012 kg/cm<sup>2</sup> en sus caras tangenciales y 647,522 kg/cm<sup>2</sup> en la parte axial, que catalogados de acuerdo a la clasificación, es una madera de **mediana resistencia a la penetración**.

#### **e) EXTRACCIÓN DE CLAVOS**

Presenta resultados promedios en estado seco al aire de; 167,489 kg en la cara radial, 146,534 kg en la cara tangencial, mientras que en su cara axial el valor fue de 113,291 kg, en base a los resultados se la clasifica como una madera de **mediana resistencia a la extracción de clavos**.

#### **f) CIZALLAMIENTO**

Que indica la resistencia de la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en direcciones opuestas, presentó como resultados promedios en condiciones secas al aire, del esfuerzo de ruptura son de 91,681 kg/cm<sup>2</sup> en sus ensayos radiales, y un valor de 94.581 kg/cm<sup>2</sup> en los ensayos tangenciales, lo cual la clasifica como una madera de **alta resistencia al corte**.

La determinación de los usos más adecuados están de acuerdo a los valores obtenidos en los diferentes ensayos y a las “tablas de requisitos que deben reunir las maderas según sus usos”, es así que se sugiere que la madera de Cambará (*Erismia uncinatum Warm*) puede ser usada en diferentes rubros, tomando en cuenta sus características como la resistencia mecánica, textura, comportamiento en el secado y la alza de su valor comercial en el mercado.

## 6.1. RECOMENDACIONES

Luego de realizado el estudio con los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de las propiedades mecánicas del Cambará (*Erisma uncinatum* Warm) se puede dar como recomendaciones las siguientes:

- Es una madera fácil de procesar mecánicamente, y presenta un buen acabado superficial para puertas, marcos de puertas, ventanas y marcos de ventanas en la cual es muy utilizada, es recomendable la aplicación de una capa de recubrimiento a modo de evitar la absorción de humedad por ser una madera permeable, no es recomendable para usos que estén en contacto en el suelo como ser pisos de machimbre o parquet puesto que presenta un rápido desgaste.
- Es una madera que puede ser utilizada para la fabricación de muebles y carpintería en general, quedando con una buena presentación al barnizarlos.
- De igual manera es utilizada para la fabricación de láminas de enchape, que brindan con diferentes tintes un fino acabado para variados usos.
- Para tener un mayor conocimiento sobre el comportamiento de esta madera resultaría muy útil realizar otros estudios complementarios como ser el de sus propiedades físicas, su trabajabilidad, preservación, durabilidad secado entre otros que apoyen a complementar este estudio.
- Difundir las características y propiedades de esta especie a los diferentes niveles de la sociedad, que están involucrados con el rubro de la madera, con la finalidad de facilitar su trabajabilidad de la especie por presentar ventajas como ser el costo/pie tablar y las dimensiones de árboles que pueden aprovecharse de esta especie.