

**CAPÍTULO I**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. La madera

La madera como recurso de amplia distribución en diversas latitudes y condiciones climáticas, ha sido utilizada por el hombre desde tiempos inmemoriales por las múltiples ventajas ofrecidas, que la hacen única ante todos los materiales que se conoce, ya que además es un material perecedero, pero su vida útil se puede prolongar aplicando técnicas de preservación y un manejo adecuado. (Custodio Chavesta Manuel, 2015).

#### 1.1.1. Estructura de la madera

La madera se puede definir como un conjunto de tejidos que se encuentran hacia la parte interna de la corteza. Específicamente es la zona comprendida entre la médula y el cambium vascular y en la misma se cumplen diversas funciones: Conducción de agua y sales minerales absorbidas por la raíz, soporte o resistencia mecánica y almacenamiento de sustancias alimenticias. Corresponde a lo que técnicamente se conoce con el nombre de xilema secundario. (Donoso, C. 1978).

#### 1.1.2. Planos de corte de la madera

Debido a que los elementos constituyentes del leño se encuentran orientados y organizados en forma diferente según diversas direcciones consideradas, el aspecto de la madera cambia conforme el plano de corte en que es vista. (Juan José Galante, 1953).

Los cortes en un tronco pueden ser de tres tipos puros y son:

- a) **Corte transversal.** Dirección perpendicular al eje del tronco, se produce, por ejemplo, al voltear un árbol o seccionar un tronco.
- b) **Corte tangencial.** Cuando se realiza tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol. Es el corte en el que mejor se aprecia el veteado o figura de la madera.

- c) **Corte radial.** Cuando tiene dirección paralela a los radios. Es el corte más estable de la madera ante cambios de humedad del material.

## **1.2. Propiedades mecánicas de la madera**

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que definen la aptitud y capacidad para resistir cargas externas, excluyendo los esfuerzos debidos a las tensiones internas producto de los cambios de humedad. Estas están relacionadas con la resistencia que ofrecen las maderas cuando sobre ellas actúan las cargas externas y son determinadas en forma indirecta, obteniéndose los datos para los respectivos cálculos de los ensayos normalizados sobre pequeñas probetas libres de defectos. (Edebé, 1996).

### **1.2.1. Factores que inciden sobre las propiedades mecánicas de la madera**

La madera, es un material heterogéneo, que se ve reflejado por la variabilidad que es posible encontrar en probetas extraídas de una misma especie maderera y de diferentes árboles o aún más de probetas provenientes de un mismo árbol, lo que muestra una marcada diferencia en su densidad y resistencia. Esta variabilidad responde a diferencias 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 las fibras
- ✓ Nudosidad
- ✓ Temperatura
- ✓ Otras influencias

#### **1.2.1.1. 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 & Cuevas, 1982), excepto en la propiedad mecánica de tenacidad, ya que disminuye.

#### **1.2.1.2. 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.

#### **1.2.1.3. Angulo de las fibras**

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

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

#### **1.2.1.4. 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.
- 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 & Cuevas, 1982).

#### **1.2.1.5. 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.

#### **1.2.1.6. 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 & Cuevas, 1982).

### **1.3. 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, G. 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 ( $\epsilon$ ) (Cuevas, E. 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.

(Pérez, A. 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 N° 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.

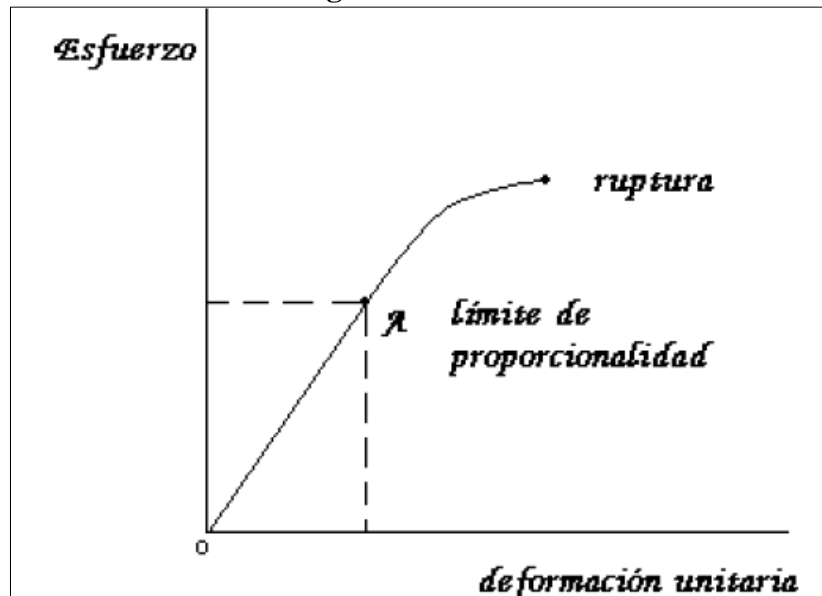
**Tensión máxima o de rotura:** Es aquella que se determina con la carga máxima soportada por el cuerpo y se verifica cuando la carga que se aplica, más allá del límite elástico, provoca la ruptura en el cuerpo.

### 1.3.1. Diagrama esfuerzo - deformación

En el Gráfico N° 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, A. 1983).

**Gráfico N° 1 Diagrama esfuerzo – deformación**

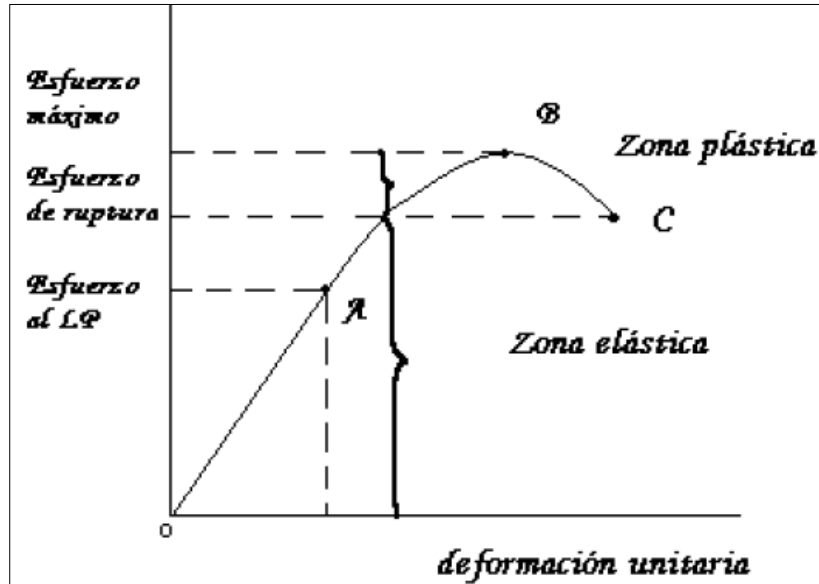


Fuente: Pérez, A. 1983

Según (Karsulovic, J. 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 N° 2), hasta alcanzar un esfuerzo máximo llamado también resistencia o esfuerzo máximo (punto B de la Gráfica N° 2). El punto C del mismo gráfico, corresponde a la tensión máxima o de rotura del material.

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

Gráfico N° 2 Diagrama del ensayo de compresión paralela



Fuente: Pérez, A. 1983

### 1.3.2. Ley de Hooke

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 del Gráfico N° 2, si se sigue agregando carga la ley de Hooke ya no es válida (Karsulovic, J. 1982)

Ahora la ley expresada matemáticamente es:

$$\sigma/\varepsilon = \text{Constante} \Rightarrow E = \sigma/\varepsilon$$

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 utilizara la sigla MOE (Karsulovic, J. 1982). Cuando el esfuerzo y su respectiva deformación son producidos por carga axial, la expresión del módulo de elasticidad puede ser escrita como sigue:

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



#### **1.4. Recursos forestales**

El sector forestal boliviano, en su integridad, está cambiando día a día, por lo tanto, es necesario tener mejor conocimiento posible sobre la ecología de los bosques, su potencialidad y existencia de recursos. (Moreno Rivero Jaime & Roque Moya Roger, 2006). En Bolivia la escala del aprovechamiento de los bosques no es tan intensa, comprobada con otras áreas tropicales de América Latina.

En el caso de la producción maderable, entre otros aspectos, se busca que los aprovechamientos no excedan la tasa de incorporación, ya que al realizar un mal manejo forestal este causa un impacto importante sobre los ecosistemas boscosos que son intervenidos, la corta selectiva y la extracción por arrastre también causan daños en el bosque, particularmente donde los métodos de extracción consisten en el arrastre de trozas por tierra con tractores u otro equipo.

Estos problemas y muchos otros, dan a conocer la falencia de un plan de manejo y de un conocimiento más intenso de los bosques naturales, su conformación en lo que respecta a especies aprovechables.

Un requisito previo para la planificación racional del desarrollo forestal de Bolivia, es el conocimiento de sus recursos forestales y su potencial. Este conocimiento debe concluir con un cálculo aproximado de la extensión. Los tipos y la ubicación de los bosques que el país considera para satisfacer las necesidades de su pueblo a través de los diversos productos y servicios que se pueden derivar de ellos, dentro de lo mismo se concluye también la conservación de suelos y aguas, la conservación de la biodiversidad, la producción de productos maderables y no maderables y la conversión de la tierra para la agricultura sostenible.

Los bosques naturales de Bolivia abarcan un área de aproximadamente 53 millones de ha. Representado el 48% de la superficie del país, concentradas en la porción oriental (Santa Cruz, La Paz, Beni y Pando). Esto representa casi el 10% de los bosques tropicales existentes en América del Sur. Además de los bosques naturales en Bolivia se dispone de 30.000 ha de plantaciones.

Nuestro país cuenta con un extenso y amplio número de especies que oscilan desde 15.000 a 18.000 plantas vasculares, entre otras especies, de las cuales se puede mencionar que 4.000 de estas especies son arbóreas, por tanto se puede indicar que Bolivia es un considerable potencial maderero. (Cámara Forestal de Bolivia, 2016).

#### **1.4.1. Bosques siempre verdes y húmedos en tierras bajas**

Constituidos por bosques que pertenecen a los departamentos de Beni, Pando, norte de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba, se presentan en planicies aluviales o terrenos ligeramente ondulados, por debajo de los 500 msnm. Las precipitaciones anuales oscilan entre 1300 a 2300 mm y una temperatura media de los 25 °C, que poseen gran diversidad de vegetación generalmente predominan las especies siempre verdes. (PDM. San Lorenzo, 2008-2012).

#### **1.4.2. Bosque húmedo subtropical**

Formado por una amplia diversidad de especies maderables, bosque de mucha importancia desde el punto de vista comercial, ya que el 80 % de la madera extraída en el departamento de Santa Cruz es proveniente de dicha formación. Presenta topografía plana con una altura de promedio de 300 a 400 msnm. Con una precipitación promedio anual de 1200 a 2000 mm con y de 24 °C de temperatura.

#### **1.4.3. Bosque semihúmedo bajo**

Bosque de transición, ubicado en planicies intercaladas con presencias de colinas tiene una precipitación media anual de 900 a 1200 mm y una temperatura media anual de 24 °C, posee una topografía casi plana con ondulaciones y colinas en la parte central, las altitudes oscilan entre los 350 a 400 msnm.

#### **1.4.4. Bosque semiárido bajo**

Formación que comprende una zona boscosa de monte bajo de unos 350 a 1000 msnm. Con una precipitación media anual de 500 a 1000 mm y una temperatura media anual de 20 °C.

### 1.5. Clasificación de las zonas forestales

El área boscosa del país se puede clasificar de acuerdo con el tipo, volumen y potencial del bosque por departamento.

**Cuadro N° 1 Superficie de las zonas forestales**

Departamentos	Sup. Cubierta con bosques en Km <sup>2</sup>	Porcentaje (%)	Superficie Por departamento en Km <sup>2</sup>
Beni	105.083	18.61	213.564
Cochabamba	26.664	4.72	55.631
Chuquisaca	17.708	3.14	51.524
La Paz	61.381	10.87	133.985
Pando	60.816	10.77	63.827
Santa Cruz	266.478	47.19	370.621
Tarija	26.464	4.69	37.623
Oruro	-----	0	53.588
Potosí	-----	0	118.218
Total	564.684	100	1.098.581

Fuente: Cámara Forestal de Bolivia, 2016

### 1.6. Descripción morfológica de la Palta *Persea americana Mill*

El tronco de la Palta (*Persea americana Mill*), posee una corteza gris-verdosa con fisuras longitudinales, presentando ramificación simpodial, la copa tiene una forma alargada irregular y densa, de follaje persistente.

#### 1.6.1. Hojas

Las hojas alternas, con peciolo de 2–5 cm y limbo generalmente glauco por el envés, estrechamente elípticos, ovados u obovados, de 8–20 por 5–12 cm, coriáceos, de color verde y escasamente pubescentes en la haz pero muy densamente por el envés que es de color marrón amarillento y donde resalta el nervio central; tiene base cuneiforme y ápice agudo, los márgenes enteros y más o menos ondulados.

#### 1.6.2. Flores

Tiene flores de 5–6 mm con perianto densamente pubescente, de tubo muy corto y seis tépalos oblongos de medio centímetro, los 3 exteriores más cortos. Tienen nueve estambres fértiles de unos 4 mm, con filamentos pubescentes, organizados en tres

círculos concéntricos. El ovario es ovoide, de unos 1,5 mm, densamente pubescentes, con estilo también pubescente de 2,5 mm terminado por un estigma discoidal algo dilatado. Las inflorescencias son panículas de 8-4 cm de largo.

### 1.6.3. Fruto

El fruto es una drupa de color amarillo-verde o marrón rojizo, grande, generalmente en forma de pera, a veces ovoide o globoso, de 8–18 cm con epicarpio corchoso más o menos tuberculado, y mesocarpio carnoso y comestible. Este último rodea íntimamente una semilla globular de epispermo (tegumento) papiráceo, sin endospermo de unos 5–6 cm.

### 1.6.4. Taxonomía

**Cuadro N° 2 Taxonomía de la Palta**

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Laurales
<b>Familia</b>	Lauraceae
<b>Tribu</b>	Perseae
<b>Genero</b>	Persea
<b>Especie</b>	<i>Persea americana Mill</i>

Fuente: (INIA, 2010).

### 1.6.5. Características botánicas de la Palta

La *persea americana Mill*, conocida popularmente como Aguacate o Palta es una especie arbórea.

Alcanza una altura máxima de 20 m de altura, sus hojas son alternas con peciolo de 2-5 cm y limbo generalmente glauco por el envés, estrechamente elípticos ovados u obovados de 8- 20 por 5-12 cm coriáceos, de color verde y escasamente pubescentes en el haz, pero muy densamente por el envés que es de color marrón amarillento y donde resalta el nervio central tiene base cuneiforme y ápice agudo, los márgenes enteros y más o menos ondulados.

Esta especie se cultiva en climas tropicales y mediterráneos en todo el mundo donde el clima no es árido en el que los doce meses tienen temperaturas medias o superiores a los 18 °C. (INIA, 2010).

## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

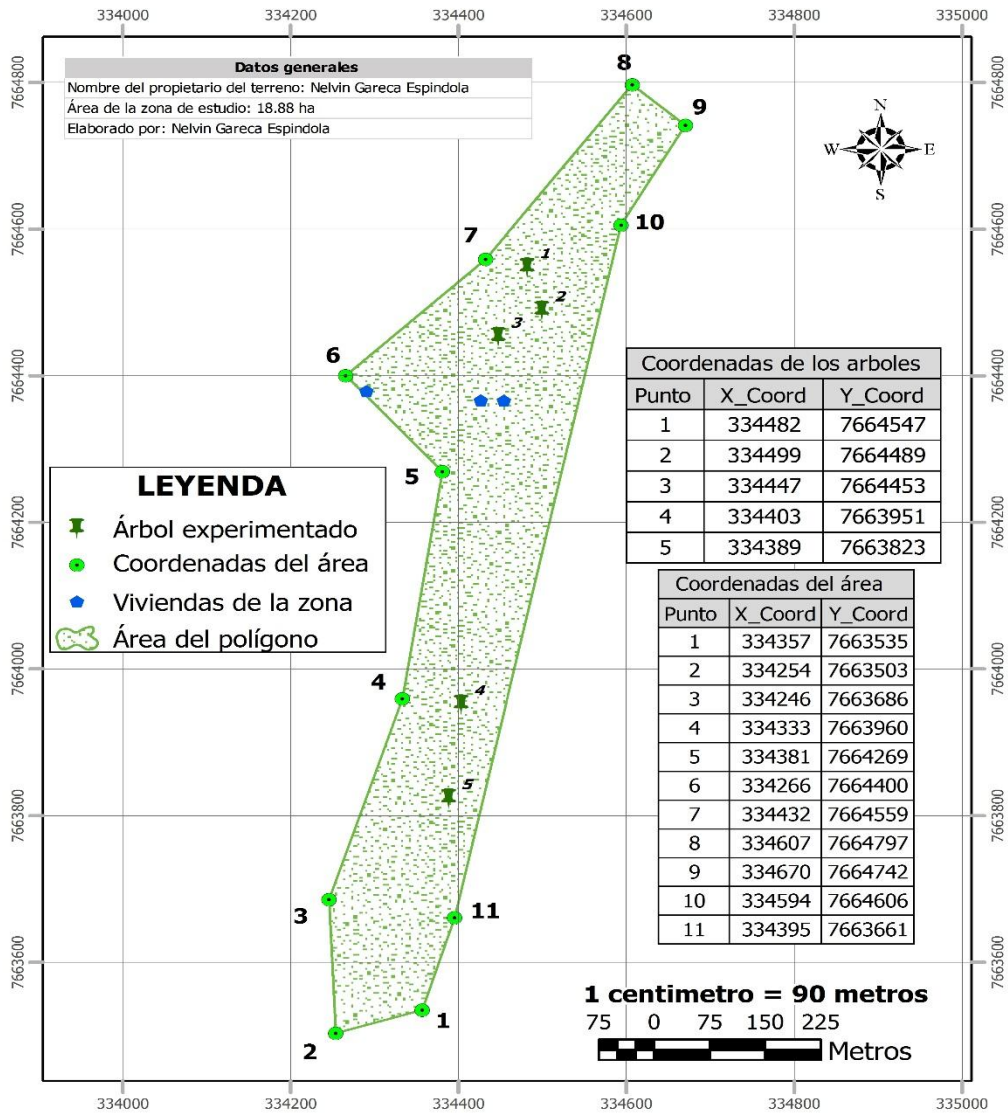
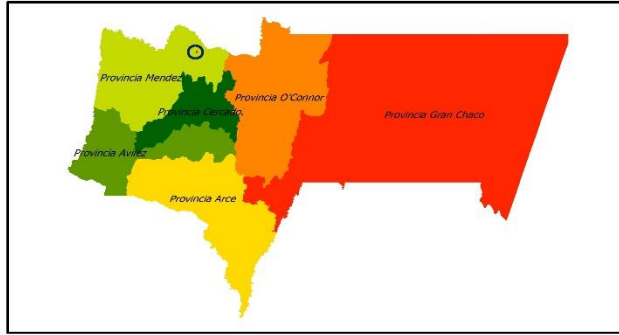
#### 2.1. Ubicación de la área de estudio

El presente estudio se realizó en la comunidad de Pampa Grande, distrito 8 del municipio de San Lorenzo, primera sección municipal de la provincia Méndez del departamento de Tarija, se halla ubicada en el límite departamental entre la provincia Sud Cinti del Departamento de Chuquisaca y la provincia Méndez del Departamento de Tarija, a una altitud de 1240 msnm (Río Pilaya) ubicada en las coordenadas 21° 06' 10,7" de Latitud Sur y 64° 34' 43,3" Longitud Oeste. (PDM. San Lorenzo, 2008-2012). Realizando los diferentes ensayos para determinar la propiedades mecánicas de la madera de Palta *Persea americana Mill*, en el laboratorio de Tecnología de la Madera perteneciente a la Facultad Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. El acceso a la comunidad es a través del camino carretero de tierra San Lorenzo- Carachimayu - León Cancha, desviándose a la altura de la comunidad de Quirusillaspor, el camino que va a la comunidad de Alpaguasi y el desvío Noreste llega a la comunidad de Pampa Grande (Valle del río Pilaya). Las condiciones de accesibilidad a esta comunidad es difícil, sobre todo en época de lluvias, donde los comunarios tienen que caminar hasta 6 horas para llegar a su comunidad, siendo uno de los factores que dificulta la accesibilidad de vehículos, la topografía accidentada del terreno.

##### 2.1.1. Acceso al área de estudio

Cuenta con dos caminos carreteros de tierra uno comienza en San Lorenzo y el otro ingreso es por la comunidad de Yesera, los cuales nos llevan de manera directa pasando por varias comunidades antes de llegar a la comunidad de Pampa Grande, que queda a 100 km de la ciudad de Tarija. La comunidad de Pampa Grande, se encuentra alejada desde el centro urbano del municipio, al igual que Trancas hasta Chamata, desde Mandor Chico hasta Mandor Grande y Acheral, del camino que va hasta Panti Pampa se entra por un desvío a la Comunidad de San Pedro de las Peñas.

# MAPA DE LA UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN





### **2.1.2. Población**

Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2012) la comunidad de Pampa Grande cuenta con una población de 310 habitantes, siendo un promedio de 4 miembros por familia.

## **2.2. Aspectos biofísicos**

Estos son los siguientes:

### **2.2.1. El clima**

De acuerdo Plan de Desarrollo Municipal, Diagnóstico Socioeconómico de San Lorenzo, 2008, el clima es cálido desértico, caracterizado por tener temperaturas en zonas con altitud de 1200 a 1400 msnm. Mientras que en las partes altas de la comunidad (serranías) el clima es frío árido, cuyas temperaturas varían de 14-16 °C. De acuerdo a la clasificación de Holdridge la zona corresponde a clima templado de monte espinoso y bosque seco templado. (PDM. San Lorenzo, 2008-2012).

El balance hídrico indica 8 meses de déficit hídrico y únicamente 4 meses de lluvia. De acuerdo a los datos de la estación Campanario que se encuentra en el Distrito 9, el viento registra una velocidad promedio anual de 13,6 km/hr; los meses con mayor intensidad del viento son de mayo a septiembre con una velocidad que oscila de 10,2-13,6 km/hr. La dirección del viento, no es predominante, sino que es una variable cambiante, teniendo direcciones de NS y SW. (SENAMHI, 2015).

Sobre la caracterización climática del municipio, se han utilizado diferentes clasificaciones reconocidas en el mundo tales como Thornthwaite, Caldas, Lang, esta última fue empleada para realizar la clasificación climática y la primera para el balance hídrico.

El municipio San Lorenzo, cuenta con cinco estaciones meteorológicas consistente en dos estaciones climáticas una pluviométrica y tres con variables (temperatura y precipitación).

**Cuadro N° 3 Rangos de clasificación climática de (Caldas)**

<b>Piso térmico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Rango de alturas (m)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Variación de la altitud por condiciones locales</b>
Cálido	C	0 – 1000	$T \geq 24$	Límite superior $\pm$ 400
Templado	T	1001 - 2000	$24 > T \geq 17.5$	Límite superior $\pm$ 500 Límite inferior $\pm$ 500
Frío	F	2001 – 3000	$17.5 > T \geq 12$	Límite superior $\pm$ 400 Límite inferior $\pm$ 400
Páramo bajo	Pb	3001 - 3700	$12 > T \geq 7$	-----
Páramo alto	Pa	3701 - 4200	$T < 7$	-----

Fuente: PDM. San Lorenzo, 2008-2012

Según la clasificación climática de (Lang, 1915). Se tomó los datos de precipitación promedio anual de las estaciones inmersas al interior del municipio de San Lorenzo y con la ayuda del mapa temático de alturas clasificadas, rango de temperaturas promedio y el factor “Lang”, resultando para el área de estudio las siguientes unidades climáticas.

- Cálido desértico
- Cálido semiárido

**a) Clima cálido desértico**

Esta unidad climática se ubica en la parte norte del municipio (límite con el departamento de Chuquisaca), esta se caracteriza por tener temperaturas relativamente altas, se encuentra con rangos de altitud 1200 a 1400 msnm, alcanzando un índice de la clasificación propuesta por Lang de 15, lo que la clasifica en un clima Cálido desértico.

**b) Clima cálido semiárido**

Este tipo de clima que se ubica entre rangos altitudinales de 1000 a 1300 msnm, y temperaturas de 16 °C como promedio, cuyo índice de clasificación de “Lang” es de 56 calificándola como cálido semiárido, esta unidad climática se encuentra al oeste del municipio.

### 2.3. Suelo

El área geográfica del municipio de San Lorenzo se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Cordillera Oriental, y a su vez, dentro de ésta, se diferencian los siguientes tipos de Gran Paisaje: Montañas, Serranías, Colinas, Planicies, Valles y Piedemontes. El paisaje se establece dentro de un Gran Paisaje en base a una morfología específica, para la cual se toma en cuenta los siguientes atributos: forma, amplitud de relieve, grado de disección litología y vegetación. (ZONIZIG, 2001).

El análisis fisiográfico consistió en la identificación de la Provincia Fisiográfica, Gran Paisaje, y los distintos Paisajes y Subpaisajes caracterizados por sus atributos. Esta identificación fue efectuada a un detalle de escala 1:50.000; se empleó imágenes de satélite LANDSAT TM, combinando las bandas 4-5-3 (R-G-B), efectuándose los reconocimientos respectivos en campo a fin de corroborar cada unidad de paisaje identificada.

### 2.4. Vegetación

La vegetación natural del entorno a la comunidad de Pampa Grande, está conformada por bosque ralo xeromórfico emplazado en terrazas aluviales paralelas al río Pilaya y en abanicos y lechos de drenajes principales. En esta zona es común encontrar cactáceas columnares (*Neoraimondia herzogiana*), y árboles de representativos del chaco seco serrano como son el Toboroche (*Chorisia insignis*) y Quebracho Blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco Schldl.*), además de leguminosas arbóreas espinosas.

El bosque, tiene un solo estrato de árboles aislados de hasta 10 m de altura, caducifolios con dosel interrumpido y un sotobosque abierto constituido por matorrales espinosos, en donde las especies *Prosopis alba Griseb.* (Algarrobo), y *Acacia sp.*, constituyen apariencia xerofítica sin embargo, a decir por los comunarios, estas especies, ofrecen un recurso importante para la alimentación del ganado durante los periodos de invierno y primavera, por su disponibilidad de follaje, hojarasca y frutos.

Cuadro N° 4 Vegetación endémica de la zona

N°	Nombre común	Nombre científico	Familia	Grupo com.	Gremio ecológico
1	Algarrobilla	<i>Caesalpinia paraguariensis</i> Burkart	Caesalpinaceae	SV	HD
2	Caraparí	<i>Neocardenasia herzogiana</i> Backeb.	Cactaceae	SV	HD
3	Cebil colorado	<i>Anadenanthera</i> <i>colubrina</i> (Vell.Conc.) B.	Mimosaceae	VA	HD
4	Chañar	<i>Geoffroea decorticans</i> Burkart	Fabaceae	SV	HD
5	Churqui	<i>Acacia caven</i> (Mol.) Hook. & Arn.	Mimosaceae	SV	HD
6	Coca de cabra	<i>Capparis speciosa</i> Griseb.	Capparaceae	SV	EP
7	Garrancho	<i>Acacia</i> sp.	Mimosaceae	SV	HD
8	Higuerilla	<i>Oreopanax</i> sp.	Araliaceae	SV	EP
9	Jarca	<i>Acacia visco</i> Lorentz ex Griseb.	Mimosaceae	SV	HD
10	Lapacho	<i>Tabebuia impetiginosa</i> Standley	Bignoniaceae	VA	HD
11	Mistol	<i>Ziziphus mistol</i> Griseb.	Rhamnaceae	SV	HD
12	Monte hoja	<i>Capparis</i> sp.2	Capparaceae	SV	EP
13	Palo santo	<i>Bulnesia sarmientoi</i> Lorentz	Zygophyllaceae	SV	HD
14	Porotillo	<i>Peltophorum dubium</i> (Sprengel)Taub.	Caesalpinaceae	SV	HD
15	Quebracho bl.	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schldl.	Apocynaceae	VA	HD
16	Soto	<i>Schinopsis</i> sp.	Anacardiaceae	VA	HD
17	Sumalagua	IND.	Ind.	SV	EP
18	Tacko	<i>Prosopis alba</i> Griseb.	Mimosaceae	SV	HD
19	Tala	<i>Celtis spinosa</i> Spreng.	Ulmaceae	SV	EP
20	Toborocho	<i>Chorisia speciosa</i> A. St. Hil.	Bombacaceae	SV	HD
21	Ulala	<i>Cereus</i> sp.	Cactaceae	SV	HD

Fuente: PDM. San Lorenzo, 2008-2012

El siguiente resumen se tomó como base para determinar los pisos ecológicos según el sistema de clasificación de Holdridge, 1978 la misma tiene como referencia la gradiente altitudinal y el clima. En esta clasificación no se menciona la especie en estudio (Palta, *Persea americana* Mill), porque la misma no es endémica del área donde se desarrolló la investigación, siendo la misma introducida como plantaciones en el sistema agroforestal desarrollado junto al maíz y la papa, permitiendo de esta manera poseer un mejor rendimiento económico para los dueños del área donde se realizó la extracción de las muestras para los ensayos de las propiedades mecánicas. Como resultado del trabajo de campo, se identificó 4 pisos ecológicos que son descritos a continuación:

**a) Primer piso ecológico (Puna > 3100 msnm)**

El primer piso ecológico altitudinal denominado Puna, se extiende en la provincia desde los 3100 hasta los 4000 m, altitud a partir de la cual comienza el piso altoandino (> a 4000 msnm). Los ecosistemas vegetales que caracteriza a este piso ecológico (Puna), son bosques que en su mayoría están dominados por varias especies arbustivas y arbóreas de Keñuas (genero *Polylepis*), así como, praderas de gramínoideas con grandes extensiones (*Stipa*, *Festuca* y *Deyeuxia*), que conforman importantes áreas de pastoreo extensivo.

Se caracteriza por su clima frío y árido, con fuertes vientos, escasas precipitaciones en forma de lluvia y algunas veces de granizo; según los registros de la guardiana de Chorcoya, las temperaturas mínimas de invierno llegan incluso hasta los -18 °C y las máximas de verano a los 22 °C. (ZONIZIG, 2001).

**b) Segundo piso ecológico (Prepuna 2300 – 3100 msnm)**

El segundo piso ecológico denominado Prepuna incluye fisiográficamente los valles altos y cabeceras de valles, distribuidos entre los rangos de 2100 a 2300 m y los 3000 a 3200 m de altitud, presentan climas xéricos moderados. En dichos valles, el efecto orográfico de sombra es importante. La vegetación que caracteriza a este piso son manchas de bosques xerofíticos espinosos con presencia de arbustales, con flora rica en elementos andinos endémicos y subendémicos.

En los claros de estos bosques bajos, se desarrollan comunidades herbáceas perennes raras y una vegetación de hierbas efímeras anuales, que en épocas lluviosas pueden ser importantes para la cobertura vegetal y biomasa, las muestra la fisiografía y un tipo de vegetación “Keñual” que conforma esta unidad.

Las condiciones climáticas que son frecuentes en este piso ecológico son precipitaciones que varían de Norte a Sur, presentándose de 400 a 500 mm/año en el sector norte y en el extremo sur de 1000 a 1100 mm/año, acompañadas por vientos moderados en los meses de estiaje.

**c) Tercer piso ecológico (Montano 2000 a 2300 msnm)**

El tercer piso ecológico denominado Montano, se encuentra distribuido en las serranías andinas de la Cordillera Oriental que tienen una orientación de Norte a Sur, con disposición de laderas escarpadas distribuidas por encima de los 2000 a 2300 msnm de altitud. La vegetación que caracteriza a este piso son bosques de especies siempre verdes como caducifolias, arbustos del género Baccharis y en el estrato bajo especies gramíneas y algunas hierbas.

**d) Cuarto piso ecológico (Subandino y Valluno < a 1900 msnm)**

La vegetación de este piso ecológico está compuesta por vegetación arbustiva, arbórea y epífita xérica, desarrollada sobre todo en los valles y la vegetación pluvioestacional que se desarrolla en las serranías subandinas expuestas al este del municipio.

Se presenta como una serie de mesetas, colinas y valles o distribuidas en laderas y subpaisajes de pendiente inferior de serranías. La época de estiaje es dura, por lo menos unos seis a ocho meses, mientras que las lluvias caen en periodos cortos, con una fuerte intensidad entre los meses de diciembre y febrero.

## **2.5. Fauna**

La fauna del municipio, está constituida por mamíferos carnívoros, mamíferos herbívoros, aves, reptiles entre los más importantes de la fauna terrestre.

La fauna actualmente se encuentra dispersa a causa de las profundas intervenciones del hombre, ya sea por la explotación forestal sin control, lo que está además ocasionando cambios en la estructura de la vegetación, destruyendo de esta manera su hábitat natural.

La fauna y vida silvestre, constituye una alternativa alimentaria de la población. La misma es variada por la existencia de varios pisos ecológicos, y está representada principalmente por las especies que se presentan en la cuadro N° 5.

**Cuadro N° 5 Especies endémicas de la fauna**

Nombre Común	Nombre Científico	Distribución
<b>Mamíferos</b>		
Comadreja	<i>Didelehis albiventris</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Zorro andino	<i>Pseudolapex culpaeus</i>	Cordillera Subandina
Zorrino común	<i>Conepatus chinga rex</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Puma o León	<i>Puma concolor</i>	Cordillera Subandina
Liebre eurpea	<i>Lepus europaeus</i>	Cordillera Subandina
Viscacha	<i>Lagidiun viscacia</i>	Cordillera Oriental
Chanco negro	<i>Tayassu pecari</i>	Cordillera Subandina
Lobito de río	<i>Lontra longicaudis</i>	Cordillera Subandina
Jucumari, Juco, Juca	<i>Tremarctos ornatos</i>	Cordillera Subandina
Corzuela colorada	<i>Mazama americana</i>	Cordillera Subandina
Anta o Tapir	<i>Tapirus terrestres</i>	Cordillera Subandina
<b>Aves</b>		
Águila	<i>Harpyhaliaetus solitarius</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Perdices	<i>Crypturellus tataupa</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Pato de Torrentes	<i>Merganetta armata</i>	Cordillera Subandina
Tucán	<i>Ramphastos toco</i>	Cordillera Subandina
Lechuza	<i>Tyto Alba</i>	Cordillera Subandina
Picaflor	<i>Iran Chilfidae Spp</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Loro Verde	<i>Amazona Mercenaria</i>	Cordillera Subandina
Charata		Cordillera Subandina
Pavas	<i>Penelope montagnii</i>	Cordillera Subandina
<b>Reptiles</b>		
Lagartija	<i>Corotatus Tenificus</i>	Cordillera Subandina
<b>Peces</b>		
Bagre		Cordillera Subandina y Oriental
Sábalo	<i>Prochilodus Platensis</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Doradito	<i>Acestrorhamphus bolivianus</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Churuma	<i>Rhireloricaria Sp.</i>	Cordillera Subandina y Oriental
Mizquincho	<i>Pigidius Spp</i>	Cordillera Subandina y Oriental

Fuente: PDM. San Lorenzo, 2008-2012

## **2.6. Aspectos socioeconómicos**

Las actividades económicas productivas más importantes desarrolladas por las familias de la comunidad, son la agricultura y la ganadería; además, la población desarrolla otras actividades como fuentes alternativas de ingresos, tales como la prestación de servicios en los centros urbanos y otra parte de la población migra a la Argentina.

### **2.6.1. Uso de la tierra**

Según datos que maneja el municipio de San Lorenzo, el distrito 9 donde se encuentra la comunidad de Pampa Grande, indica una densidad poblacional de 5 y 7 habitantes/km<sup>2</sup>. La agricultura, es la actividad productiva más importante de la zona, tanto desde el punto de vista de la seguridad alimentaria de las familias, como de la generación de ingresos. La segunda actividad a la que se dedica la población del lugar, como fuente generadora de empleo y de ingresos, es la ganadería, siendo esta de tipo extensivo hasta extensivo con poco manejo. El tipo de ganado más común en orden de importancia es caprino, ovino, vacuno, porcino y aves de corral. (ZONIZIG, 2001).

En las serranías existen ganadería extensiva con ganado menor, en los valles existe agricultura extensiva en pequeño de maíz, papa, arveja entre sus principales cultivos.



**CAPÍTULO III**  
**MATERIALES Y METODOLOGÍA**

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1. Materiales

Los diferentes materiales que se usaron fueron:

##### 3.1.1. Materiales de campo

- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Motosierra
- ✓ Machetes
- ✓ Cinta diamétrica
- ✓ GPS
- ✓ Mapas y cartografía del lugar
- ✓ Pintura al aceite
- ✓ Brochas
- ✓ Planillas de campo

##### 3.1.2. Materiales de aserradero

- ✓ Sierra sin fin
- ✓ Sierra circular
- ✓ Flexómetro
- ✓ Marcadores
- ✓ Planillas de registro

##### 3.1.3. Materiales de laboratorio

- ✓ Prensa de resistencia de materiales (con accesorios para los diferentes ensayos)
- ✓ Deflectómetro
- ✓ Probetas de madera (palta)
- ✓ Balanza electrónica
- ✓ Calibrador
- ✓ Estufa eléctrica
- ✓ Martillo
- ✓ Planillas para los diferentes ensayos

### **3.1.4. Materiales de gabinete**

- ✓ Computadora
- ✓ Calculadora
- ✓ Planillas de registro
- ✓ Bibliografía (Normas COPANT Maderas)
- ✓ Material de escritorio en gral.

### **3.2. 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 Palta *Persea americana Mill.*

Las normas empleadas son:

COPANT 458 Selección y colección de muestras

COPANT 460 Método de determinación del contenido de humedad

COPANT 455 Método de determinación de flexión estática

COPANT 463 Método de determinación de cizallamiento

COPANT 464 Método de determinación de compresión paralela al grano

COPANT 465 Método de determinación de la dureza

COPANT 466 Método de determinación de compresión perpendicular al grano

COPANT 744 Método de determinación de extracción de clavos

COPANT 30:1-012 Análisis estadístico

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

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

### 3.2.1.1. Definición de población

Para realizar el estudio de las propiedades mecánicas de la especie *Palta Persea americana Mill*, se establecieron las siguientes características de cada individuo como ser: diámetro a una altura de al pecho de 1.30 m, edad, sanidad, entre otros.

### 1.1.2. Selección de los árboles

Se seleccionó según la metodología al azar cinco (5) árboles, para la obtención de 3 probetas por cada ensayo asiendo un total de 180 probetas para los 6 ensayos, correspondiendo 90 para estado verde y 90 para estado seco al aire.

#### 1.1.2.1. Ubicación de los árboles en el área de estudio

**Cuadro N° 6 Coordenadas de los árboles**

Punto	X_Coord	Y_Coord
1	334499	7664489
2	334482	7664547
3	334447	7664453
4	334403	7663951
5	334389	7663823

Fuente: Elaboración propia, 2018

### 1.1.3. Selección de las trozas

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

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

#### 1.1.3.1. Selección de las viguetas dentro de la troza

Las viguetas han sido obtenidos de los tablonces centrales y laterales, tratando que los lados estén bien orientados, los mismos se dividieron longitudinalmente obteniendo de ellos 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, para posteriormente darle una sección transversal de 5\*5 cm.

Cabe hacer notar que los ensayos aplicados son en estado seco al aire (12-18% aproximado de contenido de humedad), primero se tuvo que acondicionar las viguetas en sección transversal de 6,5\*6,5 cm, durante un tiempo de 2 meses apilándolas en un galpón con buena circulación de aire.

#### **1.1.3.2. Aplicación del tratamiento profiláctico**

Una vez obtenidos los tabloncillos centrales en el aserradero, se procedió inmediatamente a limpiar el aserrín el mismo que queda después del corte, para posteriormente fumigarla con insecticida para evitar el ataque de insectos u hongos. También se procedió al sellado de las testas para evitar las rajaduras producidas debido a la rápida pérdida de humedad por los extremos.

#### **1.1.3.3. Obtención de las probetas para los ensayos dentro de las viguetas**

La preparación de las probetas se realizó tomando en cuenta la correcta orientación de los anillos de crecimiento y dirección de las fibras para evitar resultados incorrectos.

Estas se realizaron de acuerdo a las normas propuestas para cada ensayo de la siguiente manera:

- Primeramente se procedió a aserrar los tabloncillos centrales del espesor adecuado según el ensayo, para luego ser apilados en un galpón.
- La obtención de los listones para los ensayos en seco al aire son de 5\*5 cm. Estos fueron dejados secar en un galpón al aire libre, hasta llegar a un contenido de humedad adecuado, se realizaron estos listones, mediante un sierra sin fin, una gruñeadora y una máquina cepilladora, tomando siempre la correcta orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras.
- Después de un tiempo aproximado de 15 a 18 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.

- Sobre las viguetas (5\*5 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, como rajaduras, nudos, pudriciones y otros.
- 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 5\*5\*75 cm.
- Para el ensayo de la compresión paralela, se realizaran de igual manera los cortes sobre las viguetas hasta obtener las probetas con sus dimensiones finales de 5\*5\*20 cm.
- En los ensayos de compresión perpendicular, dureza y extracción de los clavos los cortes realizados sobre las viguetas tienen una dimensión final de 5\*5\*15 cm.
- Para los ensayos de cizalladura se procedió a cortar las viguetas hasta tener las dimensiones de 5\*5\*6,3 cm teniendo en cuenta que estas probetas presentan una ceja de 1,8 cm de ancho y 1,3 cm de altura, cuyos cortes son realizados con una sierra sin fin siendo 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 acción transversal.

El número de probetas que se utilizó para los ensayos de las propiedades mecánicas en los diferentes contenidos de humedad son:

**Cuadro N° 7 Número y dimensiones de las probetas**

Ensayo	Dimensiones cm	N° de probetas Estado verde	N° de probetas Seco al aire
Flexión estática	5*5*75	15	15
Compresión paralela	5*5*20	15	15
Compresión perpendicular	5*5*15	15	15
Dureza	5*5*15	15	15
Cizallamiento radial y tangencial	5*5*6.5	15	15
Extracción de clavos	5*5*15	15	15
Total		90	90

Fuente: COPANT Maderas, 1972

**1.1.4. Codificación de las probetas**

Para tener una correcta tabulación de datos y mejor identificación de las probetas se realizó la codificación de las mismas, de manera que sea clara y sencilla que permita ubicarla cuando se realice el ensayo. El código debe estar escrito claro y grande preferentemente escrito con lápiz indeleble en uno de los costados de cada probeta. La codificación será:

1AIIFv3

Donde:

1 = N° de árbol

A = Troza que puede ser A-B

II = Identificación de la vigueta seleccionada

F = Tipo de ensayo: F (Flexión estática), CP (Compresión paralela), CPN (Compresión Perpendicular), D (Dureza), CR (Cizallamiento radial), CT (Cizallamiento tangencial), E (Extracción de clavos).

V = Estado verde de la probeta

S = Estado seco de la probeta

3 = N° de la probeta

### **1.1.5. Realización de los ensayos**

Los ensayos de las propiedades mecánicas se determinaron de acuerdo a las normas COPANT Maderas, para el ensayo en estado verde, las probetas se han mantenido sumergidas en agua dentro de un recipiente hasta realizar el ensayo, para que su contenido de humedad se encuentre sobre el 30% (mayor que el punto de saturación de las fibras). Antes de iniciar los ensayos se ha medido las probetas y su peso en gramos, de acuerdo con la planilla propuesta para cada ensayo.

Para todos los ensayos se utilizó la prensa AMSLER con una capacidad de 40 toneladas, cuya precisión es de 0,1 KN que está ubicada en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Cuya maquina universal de ensayos 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.

#### **1.1.5.1. Determinación de flexión estática**

Éste se determinó según las normas COPANT Maderas 455 (Fotografía N° 1), para lo cual se ensayaron probetas para el estado verde y seco al aire teniendo una sección transversal de 5\*5 cm y una longitud de 75 cm.

La probeta se colocó entre dos apoyos cilíndricos con una luz de 70 cm y se aplicó en la mitad una carga externa en dirección tangencial a los anillos de crecimiento. Dicha carga se regula de tal forma que avance con una velocidad constante de 2,5 mm/min. Las cargas a aplicar son medidas como asimismo las deformaciones que presento



dentro del periodo del ensayo para lo cual se empleó un deflectómetro para la medición progresiva de periodo elástico con intervalos de carga hasta el límite de ruptura y su deflexión correspondiente las cuales se registraron en las planillas acondicionadas para el estudio.

**Fotografía N° 1 Flexión estática**



Fuente: Elaboración propia, 2018

En base a los valores obtenidos se traza la curva de carga de deformación de donde se obtuvo los datos necesarios para los cálculos posteriores, Carga en el límite proporcional (ELP), Modulo de ruptura (MOR), Modulo de elasticidad (MOE), para cada una de las probetas ensayadas. Aplicando las siguientes formulas:

**a) Esfuerzo limite proporcional ELP**

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

Dónde:

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

P<sub>1</sub> = Carga al Límite Proporcional (Kg)

L = Luz de la probeta (cm)

a = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

**b) Módulo de ruptura MOR**

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

Dónde:

MOR = Módulo de ruptura (Kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>2</sub> = Carga máxima (Kg)

L = Luz de la probeta (cm)

a = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

**c) Módulo de elasticidad MOE**

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

Dónde:

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

d = Deformación en el límite proporcional (cm)

P<sub>2</sub> = Carga máxima (Kg)

L = Luz de la probeta (cm)

a = Ancho de la probeta (cm)

$h$  = Altura de la probeta (cm)

### 1.1.5.2. Determinación de la compresión paralela al grano

Se realizó de acuerdo a las normas COPANT Maderas 464 (Fotografía N° 2), según esta norma las probetas tienen las dimensiones de 5\*5 de sección transversal y 20 cm de longitud.

En la máquina de ensayo se colocó la probeta descansando sobre la base fija de la prensa y en la parte superior se utilizó un plato móvil para compensar posibles pequeñas fallas de escuadría en la sección transversal.

**Fotografía N° 2 Compresión paralela al grano**



Fuente: Elaboración propia, 2018

Luego se aplicó sobre la sección transversal de la probeta una carga externa continua de tal manera que el plato móvil avance a una velocidad constante de 0,66 mm/min, a través del deflectómetro se midió la deformación producida por la probeta así mismo se registró la carga que fue aplicada hasta producir la ruptura de la probeta.

En base a los datos obtenidos se determinó la curva de carga de deformación para la obtención de los diferentes esfuerzos como en el caso anterior.

Las fallas se registraron en forma esquemática y se lo clasifico según las “fallas típicas de compresión paralela al grano”, luego de la zona más cercana a la falla se cortó una galleta de 2 cm de sección para la determinación del contenido de humedad para todas las probetas ensayadas.

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

Dónde:

ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>1</sub> = Carga al límite proporcional (Kg)

A = Área de la probeta antes de ensayo (cm<sup>2</sup>)

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

MOR = Módulo de ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>2</sub> = Carga máxima (Kg)

A = Área de la probeta antes del ensayo (cm<sup>2</sup>)

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

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

P<sub>1</sub> = Carga al límite proporcional (Kg)

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

L = Distancia sobre la cual se midió la deformación (cm)

d = Deformación de la probeta (cm)

### 1.1.5.3. Determinación de la compresión perpendicular al grano

Se realizó de acuerdo a las normas COPANT Maderas 466 (fotografía N° 3), para lo cual se empleó para este ensayo probetas de sección transversal de 5\*5 y de 15 cm de longitud: previo a los ensayos se colocó los accesorios de compresión perpendicular sobre la base fija de la prensa y en la parte superior un plato móvil la probeta se apoyó sobre la base fija sobre la cara radial aplicando una carga continua con una velocidad uniforme de 0,3 mm/min por medio de una placa de metal de 5 cm de ancho que se colocó transversalmente a la longitud de la probeta a igual distancia de los extremos de la misma hasta una penetración de la placa metálica de 2,5 cm.

**Fotografía N° 3 Compresión paralela al grano**



Fuente: Elaboración propia, 2018

Durante la ejecución del ensayo se registraron las deformaciones y cargas correspondientes con lo cual se determinó la curva de carga de deformación permitiendo la deformación de la carga al esfuerzo en el límite proporcional ELP como se realizó el ensayo anterior.

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

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

Dónde:

ELP = esfuerzo al límite proporcional (Kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>1</sub> = Carga al límite proporcional (Kg)

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

#### 1.1.5.4. Determinación de la dureza

Se efectuó de acuerdo a lo estipulado por la norma COPANT Maderas 465 (Fotografía N° 4), según la norma se mide la resistencia que pone la madera a una penetración de una semi esfera metálica de 11,284 mm de diámetro y que ocasiona su sección semi esférica de una superficie de 1 cm<sup>2</sup>.

**Fotografía N° 4 Determinación de la dureza de los extremos**



Fuente: Elaboración propia, 2018

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

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

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

Dónde:

HB = Dureza (kg/cm<sup>2</sup>)

F = Fuerza (Kg)

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

#### **1.1.5.5. Determinación de cizalladura**

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma COPANT Maderas 463 (Fotografía N° 5), en la preparación de las probetas se debe de tener especial cuidado de que las superficies indicadas sean perpendiculares al grano la cara indicada debe de ser 50% radial y 50% tangencial. Las probetas a estudiar son de 30 en total 15 radial y 15 tangencial, de acuerdo a las normas las medidas de las probetas fueron de 5\*5 cm de sección transversal y 6,5 cm de longitud (en dirección a las fibras) al mismo tiempo las probetas presentaron una entalladura de 1,8\*1,5 cm en la orientación radial o tangencial.

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

Para la determinación del contenido de humedad se empleó la porción separada para cada una de ellas.

### Fotografía N° 5 Determinación de la cizalladura



Fuente: Elaboración propia, 2018

La determinación del esfuerzo en el límite proporcional se obtiene del cociente (carga máxima-área de desgarre). Aplicando la siguiente formula:

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

Dónde:

$\sqrt{cizall}$  = Resistencia al cizallamiento (Kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>max</sub> = Carga máxima (Kg)

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



### 1.1.5.6. Extracción de clavos

Se realizó de acuerdo a las normas COPANT Maderas 744 (Fotografía N° 6), según la norma se determina la resistencia de la madera a la extracción de los clavos se empleó probetas de sección transversal de 5\*5\*15 cm de longitud.

**Fotografía N° 6 Extracción de clavos**



Fuente: Elaboración propia, 2018

Se utilizó clavos de 2,5 mm de diámetro con punta de diamante las cuales son limpiadas a fin de eliminar cualquier revestimiento o materia extraña cada clavo se utilizó una sola vez estos fueron introducidos perpendicularmente a las caras de las probetas hasta que la penetración alcance 32 mm; 2 clavos son introducidos para lo cual se preparó una plantilla adecuada para este proceso en la cara transversal.

Los 6 clavos de cada probeta son extraídos inmediatamente después de haberlos introducido.

La probeta se colocó en el accesorio y la cruceta móvil enganchara el clavo de la cabeza aplicando la carga de extracción a una velocidad uniforme de 2,5 mm/min.

## 1.2. Análisis estadístico de los resultados

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

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

El análisis estadístico se realizó en base a la norma COPANT 30:1-012 que establece el procedimiento y la presentación de los resultados para poder determinar las propiedades mecánicas de la madera de la especie *Palta Persea americana Mill.*

Los datos estadísticos son:

### Cuadro N° 8 Datos para el análisis estadístico

k = Número de árboles ensayados = 5
l = Número de probetas por árbol = 3
N = Total de probetas ensayadas = 15

Fuente: Elaboración propia, 2018

Donde:

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

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

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

( $\bar{X}$ ) es la variable que indica cada uno de los valores de los resultados obtenidos en cada probeta.

#### b) Estimación de la varianza

Para la estimación de las varianzas, se determinó en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y la varianza total.

**Cuadro N° 9 Fórmulas para determinar la varianza**

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

Fuente: Norma COPANT Maderas 30:1-012

Donde:

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

$$n_2 = N - k = 15 - 5 = 10$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 15 - 1 = 14$$

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

Donde:

N = 15 número de probetas totales

k = 5 número de arboles

l = 3 número de probetas dentro de la árbol

$$\bar{x} = 677,26$$

$$II = l * \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} \left( \sum_{i=1}^k x_i \right)^2 = 7023447.79$$

$$III = \sum_{i=1}^N x_i^2 = 6977517.97$$

$$S_1^2 = \frac{II - I}{k - 1} = \frac{97357.53}{4} = 24339.38$$

$$S_2^2 = \frac{III - II}{N - k} = \frac{45929.82}{10} = 4592.98$$

$$S_T^2 = \frac{III - II}{N - 1} = \frac{143287.35}{14} = 10234.81$$

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

$S_2^2$  = Variación promedio

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

### c) Determinación del coeficiente de variación

Para la determinación primeramente se desarrolla el cálculo de la desviación típica, que es la raíz cuadrada de los valores de variación donde se obtuvo:

$$S_1 = \sqrt{24338.38} = \pm 156.01$$

$$S_2 = \sqrt{4592.98} = \pm 67.77$$

$$S_T = \sqrt{10234.81} = \pm 101.17$$

Para el coeficiente de variación ( $CV_1$ ) de la varianza promedio de los valores individuales entre los (k) árboles se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$CV_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} * 100 = \frac{156.01}{677.26} * 100 = 23.04$$

Para el coeficiente de variación ( $CV_2$ ) de la varianza promedio de los valores de las varianzas dentro de los (k) árboles se determinó mediante:

$$CV_2 = \frac{S_2}{\bar{X}} * 100 = \frac{67.77}{677.26} * 100 = 10.01$$

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

$$CV_T = \frac{S_T}{\bar{X}} * 100 = \frac{101.17}{677.26} * 100 = 14.94$$

**d) Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio total**

Como el valor promedio total ( $\bar{X}$ ) de un muestreo, es solamente una estimación del promedio (N) de la población, también se necesita presentar un análisis estadístico, el intervalo de confianza ( $\pm q$ ) del valor promedio total ( $\bar{X}$ ), para una seguridad estadística postulada (generalmente al 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.

**Cuadro N° 10 Valores para la seguridad estadística**

k-1	2	3	4	5	7	9	14	19	&
t (k-1)	4.3	3.18	2.78	2.57	2.37	2.26	2.15	2.09	1.96

Fuente: Norma COPANT 30:1-012

$$q = \pm(k-t) * \frac{S_1}{\sqrt{N}} = \pm(2.57) * \frac{156.01}{\sqrt{15}} = \pm 103.52$$

**e) Determinación del valor relativo del intervalo de confianza ( $\pm P$ )**

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

$$p = \frac{q}{\bar{X}} * 100 = \frac{103.52}{677.26} * 100 = 15.29\%$$

**Tabla N° 1 Análisis estadístico, propiedades mecánicas Flexión estática MOR**

N° de probeta	N° de árboles					Σ lineal
	1	2	3	4	5	
1	710,95	779,47	531,07	702,38	539,64	
2	788,04	685,25	668,12	685,25	488,24	
3	788,04	839,43	685,25	625,29	642,42	
Σ	3	3	3	3	3	15
$\sum_{i=1}^N x_i$	2287,03	2304,16	1884,44	2012,93	1670,30	10158,86
$\bar{X}$	762,34	768,05	628,15	670,98	556,77	3386,29
$\sum_{i=1}^N x_i^2$	1747461,05	1781798,36	1197990,68	1353902,62	942295,09	7023447,79
$\sum_{j=1}^k \frac{1}{l} \left( \sum_{i=1}^k x_i \right)^2$	1743499,05	1769716,71	1183707,92	1350625,41	929968,88	6977517,97
$\sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{j=1}^k \frac{1}{l} \left( \sum_{i=1}^k x_i \right)^2$	3962,00	12081,65	14282,76	3277,21	12326,21	45929,82

Fuente: Elaboración propia, 2018

Grados de libertad			Varianza	Desviación típico
$n_1 = k - 1 = 4$	I = 6880160,44	A <sub>1</sub> = 97357,53	$S_1^2 = 24339.38$	$S_1 = 156.01$
$n_2 = N - k = 10$	II = 6977517,97	A <sub>2</sub> = 45929,82	$S_2^2 = 4592.98$	$S_2 = 67.77$
$n_3 = N - 1 = 14$	III = 7023447,79	A <sub>3</sub> = 143287,35	$S_T^2 = \pm 10234.81$	$S_T = 101.17$
Coeficiente de variación %		Intervalo de confianza		
$CV_1 = 23.04$		$q = \pm 103.52$	$p = 23.04\%$	
$CV_2 = 10.01$		$\bar{X} \pm q = 677.26 \pm 15.29$		$\bar{X} \pm p = 677.26 \pm 15.29\%$
$CV_3 = 14.94$				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPÍTULO IV

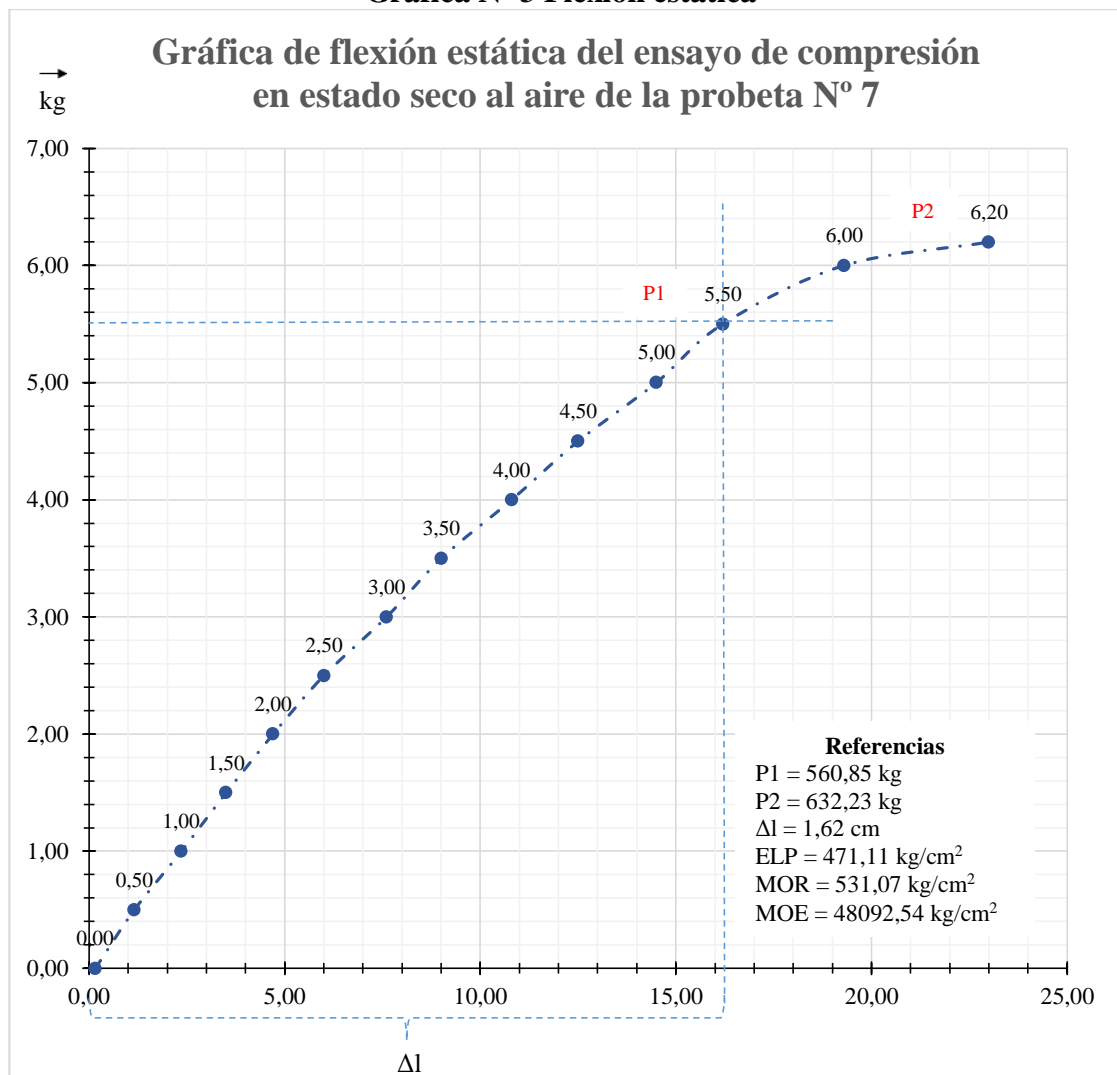
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 2.1. Presentación de resultados

Concluido los ensayos de las propiedades mecánica y obteniendo los valores correspondientes en cada etapa se procedió a realizar los diferentes cálculos y el análisis estadístico según lo establecido en la norma COPANT 30:1-012 en lo relativo al proceso de los resultados individuales.

##### 2.1.1. Flexión estática

**Gráfica N° 3 Flexión estática**



Fuente: Elaboración propia, 2018



**Tabla N° 2 Flexión estática**

Estado	CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
Verde	90,71	296,66	471,97	36912,71
Seco al aire	13,09	519,65	677,26	52801,11
Ajustado al 12%		524,41	683,90	53008,61

Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo a la clasificación de las propiedades mecánicas de la madera del Cedro *Cedrela odorata*, esta presenta una flexión estática de 511 kg/cm<sup>2</sup> (Rojas Gutiérrez Hugo Víctor & Sandoval Silva Julio, 1997). En cambio nuestra especie en estudio Palta presenta un 677,26 kg/cm<sup>2</sup> proporcionado la misma un mayor grado al MOR respecto al cedro.

### 2.1.2. Compresión paralela al grano

**Tabla N° 3 Compresión paralela al grano**

Estado	CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
Verde	103,49	212,92	252,07	13708,71
Seco al aire	11,17	240,65	325,22	15317,47
Ajustado al 12%		239,91	324,40	15324,04

Fuente: Elaboración propia, 2018

Según el estudio realizado por (Rojas Gutiérrez Hugo Víctor & Sandoval Silva Julio, 1997). La especie Cedro presenta una compresión paralela al grano de 400 kg/cm<sup>2</sup> siendo esta mayor respecto a la Palta ya que este presento valores de 325,22 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.1.3. Compresión perpendicular al grano

**Tabla N° 4 Compresión perpendicular al grano**

Estado	CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>
Verde	109,37	75,19
Seco al aire	11,17	53,16
Ajustado al 12%		53,42

Fuente: Elaboración propia, 2018

#### 2.1.4. Dureza

**Tabla N° 5 Dureza**

Estado	CH%	Extremos kg/cm <sup>2</sup>	Axial kg/cm <sup>2</sup>
Verde	105,65	464,99	468,73
Seco al aire	11,49	576,14	621,18
Ajustado al 12%		576,22	620,09

Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo a la clasificación de las propiedades mecánicas de la madera Cedro *Cedrela odorata*, esta presenta una dureza axial de 697 kg/cm<sup>2</sup> siendo la misma mayor respecto a la Palta ya que esta presenta valores de 621,09 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 2.1.5. Extracción de clavos

**Tabla N° 6 Extracción de clavos**

Estado	CH%	Radial kg	Tangencial kg	Axial kg
Verde	105,65	143,95	132,90	115,74
Seco al aire	11,49	143,61	132,56	121,86
Ajustado al 12%		143,84	132,47	121,84

Fuente: Elaboración propia, 2018

#### 2.1.6. Cizallamiento

**Tabla N° 7 Cizallamiento**

Estado	CH%	sentido	kg/cm <sup>2</sup>
Verde	104,54	Radial	91,37
		Tangencial	93,41
Seco al aire	10,64	Radial	83,41
		Tangencial	83,01
Ajustado		Radial	83,49
		Tangencial	83,13

Fuente: Elaboración propia, 2018

Respecto al cizallamiento en comparación la Palta esta es de 83,41 kg/cm<sup>2</sup> resultando mayor respecto al Cedro ya que esta posee un valor de 57 kg/cm<sup>2</sup>.

La discusión se realizó con la madera de la especie Cedro *Cedrela odorata*, porque esta es la más representativa del departamento debido a la utilización en los diferentes procesos de transformación en productos elaborados y la gran facilidad en cuanto a la trabajabilidad por sus características físico-mecánicas de la misma.

En las siguientes tablas, se presentan los ensayos de las propiedades mecánicas de la madera de la especie Palta *Persea americana Mill*, con sus respectivos análisis, de cada uno de los ensayos realizados en el presente estudio. En dicho análisis se determinó el valor promedio  $\bar{X}$ ; coeficiente de variación entre arboles  $CV_1$ , dentro de los arboles  $CV_2$  y un total  $CV_T$ ; desviación típica entre arboles  $S_1$ , dentro de los arboles  $S_2$  y un total  $S_T$ ; varianza entre los arboles  $S_1^2$ , varianza dentro de los arboles  $S_2^2$  y total  $S_T^2$ ; intervalo de confianza  $\pm q$  y porcentual  $\pm P\%$ .

El valor promedio total  $\bar{X}$  del muestreo más o menos el intervalo de confianza  $\pm q$  se encuentra incluido el verdadero valor promedio de la población con una probabilidad del 95%

**Tabla N° 8 Datos totales de las propiedades mecánicas, flexión estática**

Propiedades mecánicas de la palta <i>Persea americana</i> Mill												
Árbol	Probeta	Estado verde				Estado seco al aire				Ajustado al 12% de contenido de humedad		
		CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>	CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
1	1	97,50	308,36	445,41	43796,53	13,60	556,77	710,95	53493,31	562,34	724,44	53703,18
	2	81,92	256,97	453,98	41971,68	12,50	471,11	788,04	56998,57	478,63	794,33	57543,99
	3	93,10	282,67	436,85	27158,14	12,60	513,94	788,04	50874,76	512,86	794,33	51286,14
2	1	98,81	334,06	603,88	47446,24	14,00	556,77	779,47	53493,31	562,34	776,25	53703,18
	2	94,43	308,36	488,24	38743,08	11,95	556,77	685,25	50521,46	562,34	694,83	50118,72
	3	88,07	282,67	419,72	34199,14	13,20	642,42	839,43	48804,27	645,65	851,14	48977,88
3	1	80,15	308,36	471,11	33577,34	12,50	471,11	531,07	48092,54	467,74	537,03	47863,01
	2	91,49	308,36	445,41	40292,81	14,80	513,94	668,12	57891,97	524,81	676,08	58884,37
	3	81,34	334,06	479,68	31178,96	12,20	471,11	685,25	59190,82	467,74	691,83	58884,37
4	1	96,33	308,36	479,68	41971,68	12,80	556,77	702,38	49156,02	562,34	707,95	48977,88
	2	95,35	282,67	453,98	31840,58	13,30	513,94	685,25	55962,23	524,81	691,83	56234,13
	3	84,66	308,36	479,68	41971,68	12,10	471,11	625,29	49643,92	467,74	630,96	50118,72
5	1	95,74	256,97	453,98	26232,30	13,60	513,94	539,64	55962,23	524,81	537,03	56234,13
	2	95,59	334,06	573,90	36375,45	12,40	428,28	488,24	49966,28	426,58	489,78	50118,72
	3	86,12	235,56	394,02	36935,07	14,80	556,77	642,42	51964,93	575,44	660,69	52480,75
$\bar{x}$		90,71	296,66	471,97	36912,71	13,09	519,65	677,26	52801,11	524,41	683,90	53008,61
$S_l$		6,44	30,00	36,49	4839,74	0,57	66,81	156,01	2877,26	67,37	157,09	3005,48
$S_2$		6,40	29,82	59,44	6654,37	1,03	46,92	67,77	3888,91	51,32	69,91	4031,51
$S_T$		6,41	29,87	53,89	6190,43	0,92	53,36	101,17	3628,76	56,37	102,67	3766,98
$CV_1\%$		7,10	10,11	7,73	13,11	4,34	12,86	23,04	5,45	12,85	22,97	5,67
$CV_2\%$		7,06	10,05	12,59	18,03	7,84	9,03	10,01	7,37	9,79	10,22	7,61
$CV_T\%$		7,07	10,07	11,42	16,77	7,02	10,27	14,94	6,87	10,75	15,01	7,11
$p$		4,27	19,91	24,22	3211,51	0,38	44,33	103,52	1909,27	44,71	104,24	1994,35
$q\%$		4,71	6,71	5,13	8,70	2,88	8,53	15,29	3,62	8,53	15,24	3,76

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla N° 9 Datos totales de las propiedades mecánicas, compresión paralela al grano**

Propiedades mecánicas de la palta <i>Persea americana</i> Mill												
Árbol	Probeta	Estado verde				Estado seco al aire				Ajustado al 12% de contenido de humedad		
		CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>	CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>	ELP kg/cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>
1	1	100,41	195,79	240,65	10877,01	11,20	342,63	387,49	26767,65	338,85	389,05	26302,68
	2	101,30	232,50	240,65	13285,49	10,40	232,50	383,41	18599,69	234,42	380,19	18620,87
	3	100,73	208,02	248,81	13001,43	11,40	232,50	346,70	18599,69	234,42	346,74	18620,87
2	1	97,15	220,26	261,05	11592,61	10,30	281,44	338,55	13728,91	281,84	338,84	13803,84
	2	104,08	208,02	261,05	11556,83	11,70	330,39	350,78	19434,66	331,13	346,74	19498,45
	3	109,16	146,84	273,28	24473,28	10,30	305,92	358,94	14567,43	302,00	354,81	14791,03
3	1	100,48	220,26	256,97	13766,22	10,80	318,15	342,63	12476,57	316,23	338,84	12589,25
	2	101,82	220,26	236,58	14210,29	11,40	159,08	293,68	10100,08	158,49	295,12	10232,93
	3	108,25	232,50	256,97	13676,24	10,20	208,02	281,44	18088,95	208,93	281,84	18197,01
4	1	100,77	256,97	277,36	16578,67	12,70	183,55	269,21	12236,64	181,97	269,15	12302,67
	2	105,66	171,31	228,42	19034,77	11,40	159,08	220,26	9357,43	158,49	218,78	9332,54
	3	100,13	220,26	244,73	11592,61	12,50	134,60	244,73	9282,97	134,90	245,47	9332,54
5	1	106,55	208,02	256,97	10401,14	10,50	318,15	399,73	18714,86	316,23	398,11	18620,87
	2	100,76	232,50	256,97	10568,01	12,30	220,26	330,39	14210,29	218,78	331,13	14125,38
	3	115,13	220,26	240,65	11012,98	10,50	183,55	330,39	13596,27	181,97	331,13	13489,63
$\bar{X}$		103,49	212,92	252,07	13708,51	11,17	240,65	325,22	15317,47	239,91	324,40	15324,04
$S_l$		4,31	22,00	13,79	3859,62	1,02	94,39	88,64	6971,56	94,38	88,18	6849,68
$S_2$		4,80	28,08	13,57	3788,19	0,76	57,83	27,78	3441,10	56,76	26,76	3359,54
$S_r$		4,67	26,49	13,63	3808,74	0,84	70,24	52,88	4726,99	69,61	52,28	4633,25
$CV_1\%$		4,16	10,33	5,47	28,15	9,15	39,22	27,25	45,51	39,34	27,18	44,70
$CV_2\%$		4,64	13,19	5,38	27,63	6,77	24,03	8,54	22,47	23,66	8,25	21,92
$CV_r\%$		4,51	12,44	5,41	27,78	7,53	29,19	16,26	30,86	29,02	16,12	30,24
$p$		2,86	14,60	9,15	2561,13	0,68	62,63	58,82	4626,12	62,63	58,51	4545,25
$q\%$		2,76	6,86	3,63	18,68	6,07	26,03	18,09	30,20	26,10	18,04	29,66

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla N° 10 Datos totales de las propiedades mecánicas, compresión perpendicular al grano**

Propiedades mecánicas de la palta <i>Persea americana</i> Mill						
Árbol	Probeta	Estado verde		Estado seco al aire		Ajustado al 12% de contenido de humedad
		CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	CH%	ELP kg/cm <sup>2</sup>	ELP kg/cm <sup>2</sup>
1	1	110,85	85,66	11,50	85,66	85,11
	2	102,18	85,66	11,20	61,18	61,66
	3	103,18	61,18	11,40	61,18	61,66
2	1	119,00	61,18	12,60	48,95	48,98
	2	102,95	73,42	10,70	73,42	74,13
	3	113,08	73,42	11,30	24,47	24,55
3	1	119,53	85,66	10,80	48,95	48,98
	2	101,34	85,66	11,80	24,47	24,55
	3	113,62	97,89	10,50	24,47	25,12
4	1	117,49	73,42	10,20	61,18	61,66
	2	111,42	85,66	12,50	110,13	109,65
	3	103,51	61,18	10,20	24,47	25,12
5	1	118,86	97,89	11,40	61,18	61,66
	2	101,43	48,95	10,60	36,71	37,15
	3	102,10	50,99	10,80	50,99	51,29
$\bar{X}$		109,37	75,19	11,17	53,16	53,42
$S_I$		4,84	15,96	25,40	25,40	25,31
$S_2$		8,01	15,59	24,48	24,48	24,25
$S_T$		7,25	15,70	24,74	24,74	24,56
$CV_1\%$		4,43	21,23	47,77	47,77	47,38
$CV_2\%$		7,33	20,74	46,05	46,05	45,40
$CV_T\%$		6,63	20,88	46,55	46,55	45,98
$p$		3,21	10,59	16,85	16,85	16,79
$q\%$		2,94	14,09	31,70	31,70	31,44

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla N° 11 Datos totales de las propiedades mecánicas, dureza**

Propiedades mecánicas de la palta <i>Persea americana</i> Mill									
Árbol	Probeta	Estado verde			Estado seco al aire			Ajustado al 12% de contenido de humedad	
		CH%	Extremos kg/cm <sup>2</sup>	Lados kg/cm <sup>2</sup>	CH%	Extremos kg/cm <sup>2</sup>	Lados kg/cm <sup>2</sup>	Extremos kg/cm <sup>2</sup>	Lados kg/cm <sup>2</sup>
1	1	100,52	509,86	486,92	10,45	683,21	693,41	676,08	691,83
	2	104,17	443,58	463,97	10,50	571,04	647,52	562,34	645,65
	3	102,05	438,48	443,58	10,55	581,24	652,62	575,44	645,65
2	1	103,78	489,47	469,07	11,50	545,55	627,13	549,54	630,96
	2	111,76	458,87	395,14	11,55	601,63	683,21	602,56	676,08
	3	112,35	484,37	469,07	12,50	591,44	652,62	588,84	660,69
3	1	117,16	463,97	476,72	12,30	601,63	688,31	602,56	691,83
	2	105,97	484,37	476,72	11,50	596,54	642,42	602,56	645,65
	3	102,01	453,78	466,52	12,30	601,63	622,03	602,56	616,6
4	1	104,36	560,85	581,24	12,70	586,34	609,28	588,84	602,56
	2	108,17	453,78	441,03	11,10	550,65	591,44	549,54	588,84
	3	105,43	453,78	458,87	11,95	576,14	624,58	575,44	630,96
5	1	103,30	453,78	474,17	11,15	509,86	494,56	512,86	489,78
	2	103,27	407,89	451,23	10,70	474,17	466,52	478,63	467,74
	3	100,38	418,09	476,72	11,60	571,04	622,03	575,44	616,60
$\bar{x}$		105,65	464,99	468,73	11,49	576,14	621,18	576,22	620,09
$S_I$		5,72	40,98	30,66	1,13	62,55	97,83	57,76	99,48
$S_2$		4,35	36,05	40,86	0,52	38,70	44,09	38,57	43,80
$S_T$		4,78	37,53	38,23	0,75	46,77	64,21	44,90	64,79
$CV_1\%$		5,41	8,81	6,54	9,83	10,86	15,75	10,02	16,04
$CV_2\%$		4,12	7,75	8,72	4,57	6,72	7,10	6,69	7,06
$CV_T\%$		4,52	8,07	8,16	6,52	8,12	10,34	7,79	10,45
$p$		3,79	27,19	20,34	0,75	41,51	64,92	38,33	66,01
$q\%$		3,59	5,85	4,34	6,53	7,20	10,45	6,65	10,65

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla N° 12 Datos totales de las propiedades mecánicas, extracción de clavos**

Propiedades mecánicas de la palta <i>Persea americana</i> Mill												
Árbol	Probeta	Estado verde				Estado seco al aire				Ajustado al 12% de contenido de humedad		
		CH%	Extracción kg			CH%	Extracción kg			Extracción kg		
			Radial	Tangencial	Axial		Radial	Tangencial	Axial	Radial	Tangencial	Axial
1	1	100,52	140,21	122,37	117,27	12,45	142,76	132,56	94,32	141,25	131,83	93,33
	2	104,17	163,16	130,01	122,37	12,50	127,47	99,42	99,42	125,89	100,00	100
	3	102,05	124,92	132,56	117,27	11,55	140,21	132,56	142,76	141,25	131,83	141,25
2	1	103,78	135,11	96,87	117,27	10,50	147,86	140,21	142,76	147,91	138,04	141,25
	2	111,76	137,66	132,56	114,72	10,55	127,47	135,11	112,17	128,82	134,90	112,2
	3	112,35	137,66	124,92	112,17	13,10	158,06	127,47	112,17	158,49	128,82	112,2
3	1	117,16	124,92	127,47	114,72	11,50	145,31	135,11	109,62	144,54	134,90	109,68
	2	105,97	132,56	147,86	109,62	11,30	145,31	137,66	137,66	144,54	138,04	138,04
	3	102,01	142,76	137,66	112,17	11,00	122,37	137,66	96,87	123,03	138,04	97,72
4	1	104,36	163,16	135,11	127,47	11,30	142,76	127,47	112,17	144,54	128,82	112,2
	2	108,17	147,86	152,96	124,92	11,70	142,76	124,92	127,47	141,25	125,89	128,82
	3	105,43	137,66	135,11	112,17	10,65	150,41	142,76	147,86	151,36	141,25	147,91
5	1	103,30	147,86	137,66	107,07	12,10	158,06	135,11	132,56	158,49	134,90	131,83
	2	103,27	170,80	137,66	112,17	10,95	152,96	147,86	137,66	154,88	147,91	138,04
	3	100,38	152,96	142,76	114,72	11,15	150,41	132,56	122,37	151,36	131,83	123,07
$\bar{x}$		105,65	143,95	132,90	115,74	11,49	143,61	132,56	121,86	143,84	132,47	121,84
$S_l$		5,72	16,67	16,67	7,61	0,67	11,91	11,59	14,48	13,10	11,69	14,89
$S_2$		4,35	12,35	10,96	4,56	0,80	10,20	10,67	19,17	9,98	10,02	18,76
$S_T$		4,78	13,72	12,85	5,60	0,77	10,72	10,94	17,95	10,97	10,53	17,74
$CV_1\%$		5,41	11,58	12,54	6,57	5,85	8,29	8,74	11,88	9,11	8,83	12,22
$CV_2\%$		4,12	8,58	8,24	3,94	6,98	7,10	8,05	15,73	6,94	7,57	15,40
$CV_3\%$		4,52	9,53	9,67	4,84	6,68	7,46	8,26	14,73	7,62	7,95	14,56
$p$		3,79	11,06	11,06	5,05	0,45	7,90	7,69	9,61	8,69	7,76	9,88
$q\%$		3,59	7,69	8,32	4,36	3,88	5,50	5,80	7,89	6,04	5,86	8,11

Fuente: Elaboración propia, 2018



**Tabla N° 13 Datos totales de las propiedades mecánicas, cizallamiento**

Propiedades mecánicas de la palta <i>Persea americana</i> Mill									
Árbol	Probeta	Estado verde			Estado seco al aire			Ajustado al 12% de contenido de humedad	
		CH%	Radial	Tangencial	CH%	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial
			EUM kg/cm <sup>2</sup>	EUM kg/cm <sup>2</sup>		EUM kg/cm <sup>2</sup>	EUM kg/cm <sup>2</sup>		
1	1	102,45	86,88	93,81	11,05	91,77	93,41	91,2	93,33
	2	106,91	86,47	98,30	10,40	77,50	79,13	77,62	79,43
2	1	104,84	90,55	93,41	10,70	82,39	77,09	83,18	77,62
	2	109,73	96,26	109,31	10,75	80,35	77,50	81,28	77,62
3	1	107,96	101,56	99,52	11,03	87,29	89,74	87,1	89,13
	2	105,20	85,66	80,35	10,08	84,84	83,21	85,11	83,18
4	1	98,47	79,13	94,22	10,58	75,05	85,66	75,86	85,11
	2	103,01	86,88	78,31	10,68	81,99	84,84	81,28	85,11
5	1	102,25	105,24	104,01	10,10	89,33	77,09	89,13	77,62
	2	104,55	95,04	82,80	10,63	83,62	82,39	83,18	83,18
$\bar{x}$		104,54	91,37	93,41	10,60	83,41	83,01	83,49	83,13
$S_1$		3,70	9,43	8,16	0,21	4,80	5,96	4,50	5,54
$S_2$		2,78	6,71	11,59	0,40	5,43	5,25	5,07	5,09
$S_T$		3,22	8,03	10,21	0,33	5,16	5,57	4,83	5,30
$CV_1\%$		3,54	10,33	8,74	2,01	5,75	7,18	5,39	6,67
$CV_2\%$		2,66	7,34	12,41	3,79	6,51	6,32	6,07	6,13
$CV_T\%$		3,08	8,79	10,93	3,13	6,18	6,71	5,78	6,37
$p$		3,01	7,67	6,63	0,17	3,90	4,84	3,66	4,50
$q\%$		2,88	8,39	7,10	1,63	4,67	5,83	4,38	5,42

Fuente: Elaboración propia, 2018

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. Conclusiones

De acuerdo a los resultados y cumpliendo con los objetivos planteados en el presente estudio, de la especie Palta *Persea americana Mill*, se llegó a las siguientes conclusiones de acuerdo a la clave para la clasificación de maderas. (Ver anexo N° 1).

##### a) Flexión estática

Como parámetros más relevantes en el estado seco al aire son: el módulo de ruptura, el mismo alcanzo un valor de 677,26 kg/cm<sup>2</sup> clasificándose como una madera de ***media resistencia a la flexión estática***, de acuerdo al rango de clasificación. En los ensayos se presentaron los siguientes tipos de fallas, tracción simple 54.5%, grano entrecruzado 48% y compresión con un 2,5% de presencia en las probetas. (Ver anexo N° 2).

##### b) Compresión paralela

El ensayo está reflejado con mayor importancia, por el módulo de ruptura cuyo valor alcanzado es de 325,22 kg/cm<sup>2</sup>, en estado seco al aire y según el rango de clasificación de las maderas es considerada como una madera de ***resistencia media a la compresión paralela al grano***. Las fallas que se presentaron en los ensayos fueron en su mayor proporción de aplastamiento con un 65% y un 35% de cizallamiento o corte. (Ver anexo N° 3).

##### c) Compresión perpendicular

La madera presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras, presentando por el esfuerzo límite proporcional cuyo valor es de 53,16 kg/cm<sup>2</sup>, en estado seco al aire, indicando su clasificación de una madera con ***mediana resistencia a la penetración de la placa metálica***.

#### d) Dureza

Los resultados obtenidos en probetas secas al aire, presento el siguientes valores de acuerdo a la dureza de sus lados son de 621,18 kg/cm<sup>2</sup>, siendo la misma clasificada como una madera de *resistencia media* de acuerdo a la clasificación de maderas.

#### e) Extracción de clavos

Los resultados promedio que presento en estado seco al aire son de 143,61 kg en su cara radial. 132,56 kg en su cara tangencial y de 121,86 kg en su cara axial.

#### f) Cizallamiento

El cizallamiento indica la resistencia de la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en direcciones opuestas en el estudio se presentó promedios en el estado seco al aire de 83,41 kg/cm<sup>2</sup> en sus caras radiales y un valor de 83,01 kg/cm<sup>2</sup> en sus caras tangenciales siendo la misma clasificada como una madera de *media resistencia* al corte.

### 3.2. Recomendaciones

Finalizado el estudio de las propiedades mecánicas de la Palta *Persea americana Mill* podemos realizar la siguiente recomendación:

- Principalmente para la obtención de buenos resultados basados en los protocolos existentes COPANT Maderas, para los diferentes ensayos es importante y vital calibrar los instrumentos y equipos del laboratorio ya que al realizar esto reduciremos a un mínimo los errores sistemáticos.
- Pese a que actualmente la madera no posee mucho valor comercial debido al gran uso como producto no maderable del mismo, los diferentes ensayos clasifican esta especie con una madera de resistencia media. La misma puede ser utilizada estructuralmente para realizar diferentes trabajos en el ámbito de la carpintería en general (puertas, ventanas, revestimientos de interiores y muebles en gral.) de acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio,

- Esta especie posee características casi similares a las del Cedro *Cedrela odorata*, en las propiedades mecánicas, en sus diferentes planos y contenidos de humedad pudiendo recomendar de esta manera un uso más continuo de la madera de Palta *Persea americana Mill*, tratando de reducir de esta manera el desmesurado aprovechamiento de otras especies que se encuentran en proceso de vulneración.