

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

El secado de la madera al aire libre, es un método natural de bajo costo económico, sin embargo y debido al desarrollo de equipos de secado, se va perdiendo el interés de investigar sobre el secado de la madera al aire libre, a pesar que se conoce que existen ciertas especies de difícil secado como son las maderas duras. En este sentido, se aplicó el método de secado al aire libre en triángulo horizontal.

Con el secado de la madera en triángulo horizontal, se determinó la pérdida de la humedad, que es sin duda uno de los aspectos más importantes de la tecnología de la madera, que permite disminuir su calidad, por tanto, la madera debe secarse en forma controlada.

El estudio tecnológico de las relaciones entre el agua y la madera, es seguramente el más importante de todos los que dependen de este material, dado que, afecta a la mayoría de los procesos de transformación de la madera, están influenciadas por el contenido de humedad de la madera (Junac, 2006).

La humedad de la madera influye de forma determinante en la concepción de procesos tales como el aserrado, cepillado, encolado, barnizado y otros, respecto al comportamiento de la humedad, que se constituye en un factor determinante en su durabilidad, su resistencia y peso; sobre todo en sus dimensiones (Vignote, et. al, 2000).

La palta (*Persea americana* Mill) presenta una densidad básica de  $0,37 \text{ gr/cm}^3$ , es una madera de baja resistencia mecánica, baja durabilidad natural, posee buenas propiedades de trabajabilidad con maquinaria de carpintería y se recomienda su uso para cajonería, encofrado y revestimientos (Arostegui, 1982).

La palta (*Persea americana* Mill) se la cultiva en la zona de los Yungas y Sorata del departamento de La Paz y en menor proporción en el Chapare Cochabamba y zonas frutícolas en Santa Cruz. En general se encuentran plantas en toda el área tropical con influencia urbana, pero sin una finalidad comercial de la madera, porque se desconoce las técnicas culturales de manejo (Montes ,1989).

## 1.2 JUSTIFICACIÓN.

La humedad de la madera influye en los numerosos procesos de transformación, así el agua se interpone en la madera afectando a los pegamentos y barniz; como en otros procesos de su trabajabilidad y durabilidad, ante esta situación es importante modificar el contenido de humedad de la madera, mediante el secado de la madera, cuando la madera experimenta un secado brusco normalmente se deforma, debido a que la pérdida de humedad no es moderada, sino abrupta, esto altera su constitución anatómica y ocasiona defectos tales como: alabeos, abarquillado, combado, torceduras, rajaduras y grietas.

Las ventajas del triángulo horizontal (triángulo hueco) para el secado al aire libre ponen en manifiesto, el bajo costo económico a comparación con el secado artificial, que incrementa el costo de producción, el secado al aire libre no necesita de personal muy calificado, debiéndose agregar, también que desde el punto de vista ecológico este tipo de secado constituye una respuesta a problemas de contaminación ambiental.

La madera posee una serie de propiedades que la convierten en materia prima de excelente calidad para la fabricación de ciertos productos ya que se desconoce de información documentada, excepto sobre morfología y relocalización, el secado de la madera al aire libre de la especie Palta (*Persea americana* Mill), no ha sido estudiada, por ello motiva a realizar el estudio del secado de la madera de esta especie, con fines de sugerir usos probables e implementar esta técnica en nuevas especies.

### **1.3 HIPÓTESIS**

El secado de la madera usando el método de secado al aire libre mediante el triángulo horizontal bajo cubierta, es óptimo para obtener madera seca y de buena calidad en un menor tiempo, comparado con el encastillado horizontal y a un bajo costo de inversión.

### **1.4 OBJETIVOS.**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar el tiempo óptimo de secado de la madera al aire libre de la especie Palta (*Persea americana* Mill) mediante el método del triángulo horizontal, proveniente de la comunidad de Emborozú, aplicando la NORMA COPANT MADERAS - R- 458, 460 y 185.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ❖ Determinar el contenido de humedad de la Palta (*Persea americana* Mill), hasta obtener el rango de 18 a 13 % de contenido de humedad, mediante el método de las pesadas de acuerdo a la NORMA COPANT 460.
- ❖ Identificar los tipos de defectos que se presentan en la madera mediante el secado al aire libre bajo el triángulo horizontal, mediante la NORMA COPANT 185.
- ❖ Determinar la distribución de humedad en el espesor de la madera de palta (*Persea americana* Mill) a partir del inicio del secado de la madera al aire libre hasta la obtención del contenido de humedad entre el 18 a 13 %.

## CAPITULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

#### **2.1 Higroscopicidad de la madera.**

Es la capacidad que tienen ciertos materiales de absorber humedad de la atmósfera que le rodea y de retenerla en forma del agua líquida o vapor de agua. La madera contiene huecos en el lumen celular, entre las microfibrillas y entre las fibrillas elementales, todos ellos susceptibles de ser ocupados de agua.

El hueco del lumen es relativamente tan grande, que su fuerza capilar no es suficiente como para captar agua de la atmósfera, llenándose solo de agua, cuando la madera se sumerge en ella.

Por el contrario, los huecos entre las microfibrillas y las fibrillas elementales son tan pequeños que originan fuerzas de Van der Waals, capilares y de adhesión superficial suficientes como para captar agua de la atmósfera que le rodea. Como, por otra parte, la atmósfera tiene una fuerza desecante, dependiente de la temperatura, humedad relativa y presión a la que se encuentra, es también capaz de captar agua en la pared celular de la madera. Dependiendo de la fuerza de uno u otro, la madera capta o cede agua. Esta propiedad de los cuerpos de establecer intercambio de humedad con el medio ambiente se denomina higroscopicidad. (Vignote, et al, 2000).

#### **2.2 Tipos de agua en la madera.**

El agua en la madera se encuentra distribuida de la siguiente manera:

##### **2.2.1 Agua libre.**

Es la que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares, dándole a la madera la condición de verde. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros.

Al iniciarse el secado, el agua libre se va perdiendo fácilmente por evaporación, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. En este punto, la madera estará en lo que se denomina "Punto o zona de saturación de las fibras" (PSF), que corresponde a un contenido de humedad entre el 25 y

35% (Junac, 2006).

### **2.2.2 Agua de inhibición.**

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares; también es llamada agua de ligación. Existe la teoría de que el agua higroscópica está constituida por hidrogeniones fijados principalmente a los grupos hidroxilo de la celulosa y hemicelulosa y en menor proporción a los grupos hidroxilo de la lignina.

Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continúa secándose, la pérdida de humedad ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera circundante.

Para la mayoría de las especies, el "equilibrio higroscópico" está entre el 12 y 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar donde se realiza el secado. La madera secada al aire libre sólo puede alcanzar estos valores de humedad de equilibrio. Para obtener contenidos de humedad menores, debe acudir al secado artificial para eliminar el resto del agua de saturación o higroscópica (Junac, 2006).

### **2.2.3 Agua de constitución.**

Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera. (Junac, 2006).

## **2.3 Movimiento del agua en la madera.**

El secado de la madera es un fenómeno consistente en la eliminación superficial del agua, a la vez que esta migra desde el interior hacia el exterior de la madera. Conforme avanza el secado, el frente de evaporación, que al principio estaba en la superficie, se interioriza dentro de la madera por lo que el proceso de evaporación se efectuara en su seno, migrando el agua en forma de vapor y de agua ligada, mediante un fenómeno que sigue las leyes de a difusión desde el frente de a la evaporación hasta la superficie exterior de la madera. El fenómeno termina cuando la pieza de madera alcanza en su conjunto la humedad de equilibrio higroscópico (HEH).

Cuando la madera se encuentra en estado verde, el agua líquida rellena todas las cavidades celulares, existiendo normalmente burbujas de aire en su seno. El proceso de circulación del

agua libre desde el interior hacia el frente de evaporación, donde pasa a estado gaseoso, se efectúa por la acción de fuerzas de tipo capilar, generadas por la existencia de meniscos en la interface aire-agua de los poros de las membranas de las pateaduras. El proceso en esta fase es altamente dependiendo del tamaño de los capilares donde se generan los citados meniscos, siendo a fuerza tanto mayores conforme estos capilares son más estrechos.

La presencia de burbujas de aire en el interior del agua líquida presenta en el exterior de la célula ayuda en el proceso ya que el calentamiento del aire interior, por acción de la temperatura, obliga a su dilatación, empujando el agua hacia el exterior a través de los capilares citados (Fernández, et al, 2007).

### **2.3.1 Gradiente de humedad de la madera.**

Al ser el secado un fenómeno superficial, hace que se produzca un diferencial de humedades (gradiente) entre exterior más seco y el interior, que determina la aparición de tensiones que pueden ser causas de fendas, a estas tensiones producidas por el gradiente de humedad, se unen las tensiones que supone la diferente merma de la madera según diferentes direcciones, que puede ser origen de fendas y alabeos de las piezas.

El principio del secado se basa en sacar el agua de la madera a la misma velocidad a la que circula el agua del interior al exterior, de forma que el gradiente de humedad producido entre el interior y el exterior sea muy pequeño y no cause los defectos anteriormente aludidos (Vignote. et al, 2000).

- **Formula de gradiente de humedad.**

$$GH = H_1 - H_2$$

Dónde:

$GH =$  Gradiente de humedad.

$H_1 =$  Humedad en el centro de la tabla.

$H_2 =$  Humedad en la superficie de la tabla.

### 2.3.2 Determinación del contenido de humedad de la madera.

Se define el contenido de humedad de la madera - CH expresado en porcentaje, como la cantidad en peso de agua contenida dentro un cierto volumen de madera, en relación al peso del mismo volumen de la madera al estado anhidro.

El contenido de humedad de una pieza de madera - CH, se determina en función al peso del contenido de humedad inicial - Ph y al peso final anhidro - Ps (Novoa, 2006).

#### Formula del Contenido de humedad

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad en %

Ph = Peso verde o húmedo de la probeta (gr.)

Ps = Peso seco al horno o anhidro de la probeta (gr.)

### 2.3.3 Agua evaporable

El momento de bajar la humedad relativa del aire, puede ser determinado para cada carga mediante la fórmula de agua evaporable:

$$H_2O_{Evaporable} = \frac{CH_{actual} - HEH}{CH_{verde} - HEH}$$

Dónde:

*CH actual* = Contenido de humedad actual (%).

*CH verde* = Contenido de humedad verde (%).

*HEH* = Humedad de equilibrio higroscópico (%).

Cuando el agua evaporable resulta ser menor a 0,7 eso se aplica para maderas que no tienen tendencia a rajarse o agrietarse fácilmente. En cambio, para maderas que tienen esas tendencias se debe esperar a que el cociente llegue a 0,30 (Cruz, 2005).

## **2.4 Humedad relativa y humedad absoluta**

### **2.4.1 Humedad relativa (HR)**

La humedad relativa del aire húmedo es función de la presión de vapor de agua y de la presión de saturación, por lo que antes de definirlo es necesario conocer el significado de dichas presiones.

Se entiende por humedad relativa al cociente, expresado en tantos por ciento, entre la presión del vapor y la presión de saturación a una temperatura dada. Lógicamente su valor será de 100% (Fernández, et. al. 2007).

### **2.4.2 Humedad absoluta (W)**

Por unidad absoluta se entiende la masa de vapor de agua (usualmente en gramos o kg) contenida en la unidad de masa (usualmente en kg), a veces de volumen ( $m^3$ ) de aire seco. Existen ábacos (por ejemplos el ábaco de villére) que permiten calcular la cantidad del vapor de agua (en gramos) existente en un kg de aire a temperatura y humedad relativa dadas, así como la capacidad de absorción de vapor de agua residual que tiene dicho aire (Fernández, et. al. 2007).

## **2.5 Humedad del aire.**

La humedad relativa del aire influye o afecta directamente la humedad de la madera. Si la humedad relativa aumenta, entonces aumenta la humedad de la madera e inversamente, la humedad de la madera disminuye cuando la humedad relativa del aire disminuye. Esta aseveración se cumple cuando se mantiene la temperatura constante y cuando los procesos se llevan a cabo en un sistema cerrado (Junac, 2006).

## **2.6 Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH)**

La madera es un material higroscópico (es decir, que tienen apetencia por el agua) que va perdiendo o ganando humedad en función de la temperatura y humedad relativa del ambiente en que se encuentra hasta que alcanza una situación de equilibrio con el entorno. El valor del contenido de humedad de la madera en esta situación de equilibrio se denomina Humedad de Equilibrio Higroscópico y suele ser conocida con las siglas HEH (EMC en inglés, UGL en alemán y UEC en italiano).



La Humedad de Equilibrio Higroscópico es una propiedad de enorme trascendencia ya que cualquier madera en servicio o en proceso de secado tendera a tomar o perder humedad hasta alcanzar dicho valor. El valor de la HEH varia con a temperatura y muy especialmente con la humedad relativa del medio circundante. La especie tiene poca influencia sobre el valor de la HEH, aunque si la historia previa del material (a HEH no es la mismo en desorción que en sorción ni en una madera recién cortada con respecto a otra recién fatigada higroscópicamente tras repetir decenas de veces el ciclo sorción –desorción) y los tramites químicos que pueda incorporar la madera (especialmente si son en base a sales hidrosolubles) (Fernández, et. al. 2007).

## **2.7 Velocidad del aire**

La circulación del aire es otro de los elementos de control de la velocidad de evaporación del agua durante el proceso de secado de la madera. La ventilación o circulación del aire fresco a través del apilado de madera y la expulsión de la humedad, son condiciones necesarias para asegurar la remoción del exceso de humedad dentro de un horno y así mantener las condiciones de humedad relativa deseada.

La velocidad del aire dentro de una pila tiene como funciones principales, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en la madera facilitando así su evaporación y transportar la humedad saliente de la madera (Junac, 2006).

## **2.8 Proceso de secado de la madera**

Las leyes que regulan el proceso de secado de la madera son de naturaleza diferente, dependiendo si el contenido de humedad está por encima o por debajo del punto de saturación de las fibras.

Por encima de este punto, la velocidad de secado, bajo condiciones estables de temperatura y humedad relativa del aire, permanece y el movimiento del agua libre líquida es causado por fuerzas capilares, durante la evaporación del agua libre no se producen tensiones dentro de la madera y solamente se modifica la distribución del contenido de humedad hacia el interior de la pieza (Junac, 2006).

### 2.8.1 Gradiente de secado

El gradiente de secado es una medida del potencial de secado de la madera. De la magnitud de este gradiente depende la forma y progreso del secado. Gradientes demasiado elevados producen un secamiento muy rápido de las capas superficiales de la madera, con el consecuente riesgo de formación de tensiones internas, grietas, deformaciones y aún endurecimiento. Al contrario, un gradiente de secado excesivamente pequeño prolonga el tiempo de secado, aumentando sus costos (Junac, 2006).

- **Formula de gradiente de secado**

$$GS = \frac{CH_{actual}}{HEH}$$

Dónde:

*GS* = Gradiente de secado (%).

*CH actual* = Contenido de humedad actual (%).

*HEH* = Humedad de equilibrio higroscópico (%).

### 2.9 Resistencia a deterioro por agentes biológicos.

Entre los agentes biológicos que atacan a la madera húmeda, se destacan los insectos y hongos. Aunque el secado ofrece sólo una protección muy limitada de la madera contra el deterioro por insectos, hay que señalar la posibilidad y así necesidad de reducir el riesgo mediante el secado.

Para formarse una idea acerca del deterioro causado por hongos, sea en forma de pudriciones o sólo manchas que no destruyen, pero que desvalorizan la madera aserrada, basta inspeccionar los patios de aserraderos o depósitos de madera.

Al no apilar debidamente la madera aserrada, dejándola votada en el suelo, se crean las condiciones ideales para el ataque y desarrollo de hongos. Aunque hasta ahora no se han analizado detalladamente las pérdidas efectivas originadas por hongos. (Junac, 2006).

## **2.10 Defectos en el secado de la madera**

### **2.10.1 Causas de los defectos del secado**

Los defectos del secado pueden ser causados por contracción, por ataque de hongos, por acción química o por ataque de insectos. La contracción es la causa de los defectos como endurecimiento, colapso celular, grietas, rajaduras y torceduras. El ataque de hongos ocasiona la mancha azul en la albura, así como también la pudrición y el moho. Las reacciones químicas que se presentan durante el secado ocasionan oxidaciones que se manifiestan en cambios de color en las superficies de la pieza de madera. El ataque de insectos provoca agujeros.

**Defecto.** - cualquier irregularidad o imperfección de la madera, que afecta las propiedades físico-mecánicas y/o químicas, determinando generalmente una limitación en su uso o aplicaciones.

**Grieta.** - separación de la fibra de la madera que no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada o dos puntos opuestos de la superficie de una madera de sección transversal aproximadamente circular.

**Rajadura.** - es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje longitudinal de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma o dos puntos opuestos de una madera redonda.

**Endurecimiento superficial.** - Es el *estado* de tensiones en una pieza caracterizado por compresión en las capas externas y tensión en la parte interna, como resultado de inadecuadas condiciones de secado.

**Arqueadora o combado.** - Es el alabeo de la cara en la dirección longitudinal

**Encorvadura.** -Es el alabeo de los cantos en sentido longitudinal a las fibras

**Abarquillado (Acanaladura).** - Es el alabeo de sus caras en la dirección transversal a las fibras.

**Torcedura.** - Es el alabeo simultáneo en las direcciones longitudinal y transversal

**Alabeo.** - Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos.

**Colapso.** - Es la reducción de dimensiones de la madera que ocurre durante el proceso de secado por encima del PSF y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. A menudo se observa como un corrugado de la superficie.

**Albura.** - Incluida (inclusa). Anomalía que se manifiesta por la presencia en el duramen de zonas que presentan el color y otras propiedades de la albura.

**Grano.** - (fibra, hebra) inclinado. Desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera con respecto al eje longitudinal de un fuste o de un canto de una pieza.

**Grano Entrecruzado.** - Es la disposición del grano debido a un crecimiento de las fibras en forma espiral con respecto al eje del árbol, alternándose la dirección de la espiral en capas de diverso espesor. (Kollman f. 1959).

### **2.11 Tensiones internas en el transcurso del secado**

En el transcurso del secado aparecen defectos que son consecuencia de las características de contracción de la madera. Esta contracción se produce por debajo del punto de saturación de las fibras.

Durante la primera sub fase de secado, ninguna parte de la madera es sometida a los fenómenos de contracción y por lo tanto no aparecen las tensiones de secado (Novoa, 2006).

### **2.12 Apilado en triángulo**

Consiste en apilar tres piezas de madera que se cruzan una sobre otra en posición horizontal de manera que conformen un triángulo. Estas pilas se elaboran en forma manual, por lo que la altura está condicionada a la facilidad de manipuleo del operario. Cuando se apilan maderas de largos variables, el triángulo está limitado por las piezas más cortas y los extremos de las piezas más largas sobresalen de los vértices. La principal desventaja es que ocupa mucho espacio e impide el secado completo en la zona de apoyo de las piezas, que hacen la función de separadores (Novoa, 2006).

### Fotografía N° 1 Apilado en Triángulo Horizontal



Fuente. Fotografía propia, 2017

#### **Encastillado en forma de triángulo horizontal o triángulo hueco**

Su objetivo es conseguir un secado en el menor tiempo posible, se realiza de manera dispereja, dado que queda más humedad en los extremos de las maderas o cabezas. Es aplicable a tablas de poco largo, si son demasiado largas tienden a deformarse. No requieren separadores (García. et. al. 2004).

#### **2.13 Secado natural (al aire libre)**

Es el sistema de secado más sencillo, está influido por las condiciones climáticas. Para lograr un secado adecuado se necesita tiempo y un encastillado correcto de tablas y cuarterones. Con el uso del secado natural se obtiene un 15% de humedad de la madera. Por ser un secado muy lento, es usado como pre-secado de la madera y así se evitan las grietas cuando se llega a un punto crítico (García. et al. 2004).

##### **2.13.1 Ventajas del secado natural de la madera**

- Sin costo de energía
- Ningún equipo se utiliza para el secado
- Provee las existencias de maderas más necesarias
- Es un proceso de secado lento

(García. et al. 2004).

### 2.13.2 Desventajas del secado natural de la madera

- Existe inestabilidad ambiental (climática)
- Se pierde calidad en la madera por el largo tiempo de almacenaje (rajaduras, hongos, torceduras, alabeo, cambios de color).
- El tiempo de almacenaje favorece el ataque de hongos, mohos, insectos y animales dañinos.
- Se necesita un área grande para el almacenaje
- Existe peligro de incendio
- Límite de secado de la madera: entre 13% y 18% de humedad.

(García. et al, 2004).

### 2.14 Principios generales ligados a la estructura de la madera:

Una cantidad de agua, es eliminada en el transcurso del secado, este fenómeno se descompone en dos fases:

- 1) Migración del agua dentro de la madera, que corresponde al desplazamiento de una cierta cantidad de líquido de las partes internas hacia las partes externas de la madera.
- 2) Evaporación del agua de la superficie de la madera.

Siendo la madera un material anisotrópico, la circulación del agua es diferente en relación a los tres ejes de la madera:

- longitudinal.
- Radial.
- Tangencial.

La circulación del agua por el eje longitudinal es mucho más fácil que por los otros dos ejes. Este eje está constituido por los vasos leñosos y fibras que facilitan la circulación y evacuación del agua. Esto explica la velocidad de circulación del agua en esta dirección y la necesidad de su control.

- Práctica de control de velocidad de circulación de agua, especialmente en especies de madera con altas tensiones internas y propensas a agrietarse, mediante la protección de los extremos de la pieza de la madera con productos antirajadura, a fin de evitar una desecación muy rápida.

En el plano perpendicular a las fibras, el agua se desplaza principalmente por los radios leñosos y difícilmente por las fibras y vasos leñosos. Lo que explica, en la práctica, que

las piezas de madera de corte tangencial secan mucho más rápido que las piezas de madera en corte radial.

- Práctica de secado de piezas de madera de corte homogéneo (Novoa, 2006).

### **2.15 Factores externos que influyen en la circulación natural del agua**

1) Temperatura de la madera; el coeficiente de circulación del agua en la madera aumenta con el incremento de temperatura; este coeficiente se expresa en cm/s.

2) Presión del aire; el coeficiente de circulación del agua en la madera aumenta cuando la presión disminuye; este coeficiente se expresa en cm./s.

Por consiguiente:

La presión del aire y temperatura dentro de la madera, son dos factores fundamentales sobre las cuales se puede influir, para aumentar la velocidad de circulación del agua y, por lo tanto; reducir la duración del secado.

El secado es una operación que se ejecuta en dos etapas; primero se evacua una cierta cantidad de agua a la superficie de las piezas de madera, aplicando los criterios definidos anteriormente; en segundo lugar, se evapora el agua, interviniendo en la aptitud del aire del medio ambiente, en absorber una cierta cantidad de agua. Cuanto mayor sea la cantidad de aire seco del medio ambiente, mayor será el poder de absorción del agua en la superficie de la madera. En la práctica el proceso de absorción se rige por la siguiente ley:

“La cantidad de agua que se desplaza hacia la superficie de la pieza de madera en un tiempo determinado, debe ser igual a la cantidad de agua evaporada de la superficie de la misma pieza de madera en el mismo tiempo determinado”.

Si el aire del ambiente es muy seco, éste evapora mucha más agua del que se desplaza hacia la superficie de la madera, provocando un desecamiento de las zonas superficiales, produciendo una contracción rápida, cementación y núcleos de tensiones, lo que en la práctica se traduce en deformaciones, acanalados, rajaduras, etc. (Novoa, 2006).

## 2.16 Información Climatológica

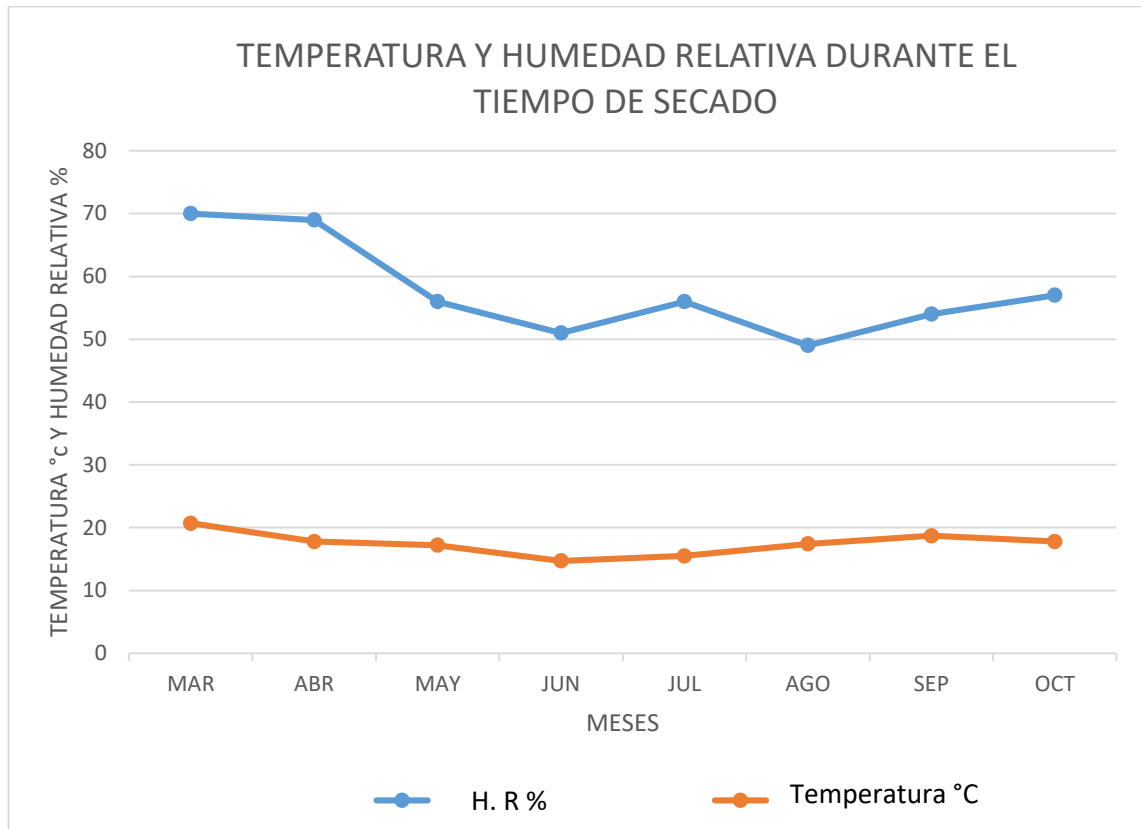
En el Cuadro N° 1 se detalla la información climatológica para el periodo del secado de la madera.

**Cuadro N° 1 Datos Climáticos AASANA- Tarija**

<b>AASANA</b>										
<b>OFICINA DE METEOROLOGIA</b>	<b>RESUMEN CLIMATOLÓGICO</b>									
<b>TARIJA</b>	<b>LATITUD : 21° 33'04" S</b>		<b>LONGITUD: 64° 42'30" W</b>				<b>ALTURA : 1858 msnm</b>			
<b>Gestión 2017</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>Promedio</b>	<b>Unidad</b>
Velocidad del viento	3,6	3,8	4,1	3	3,3	4,8	5,1	5,5	4,2	Nudos
Dirección del viento	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	
Temperatura media	20,7	17,8	17,2	14,7	15,5	17,4	18,7	17,8	17,8	°C
Humedad relativa	70	69	56	51	56	49	54	57	57	%
Precipitación máxima mensual	57,3	2,4	0	0	0	0	11,7	9,5	9,5	mm

Fuente: AASANA- TARIJA Aeropuerto



**Figura N° 1 Temperatura y humedad relativa**

Fuente: Elaboración propia, 2017

## 2.17 Descripción de la especie de estudio.

Descripción Taxonómica de la *Persea americana* Mill

<b>Reino:</b>	Vegetal.
<b>Phylum:</b>	Telemophytae.
<b>División:</b>	Tracheophytae.
<b>Subdivisión:</b>	Anthophyta.
<b>Clase:</b>	Angiospermae.
<b>Sub clase:</b>	Dicotyledoneae
<b>Grado evolutivo:</b>	Archichlamydeae.
<b>Grupo de Ordenes:</b>	Corolinos
<b>Orden:</b>	Ranales o Policarpales
<b>Familia:</b>	Lauraceae
<b>Nombre científico:</b>	<i>Persea americana</i> Mill
<b>Nombre común:</b>	Palta - palto

Fuente: Herbario UAJMS

## 2.18 Descripción dendrológica.

### 2.18.1 Árbol.

Árbol de hasta 25 metros de altura en su medio ambiente nativo, el tronco posee una corteza externa gris-verdosa con fisuras longitudinales también presenta una corteza interna de color amarillento pálido con un exudado blanco o crema sabor amargo y olor a palta. Las hojas coriáceas, verde oscuro, brevemente pecioladas, elípticas o elíptico-lanceoladas; glabras agudas de 10-20 cm de largo, glaucescentes en la cara inferior (Dimitri,1972).

**Fotografía N° 2 Vista general del árbol**



**Fotografía N° 3 Vista de las hojas**



Fuente: Fotografía propia, 2017

### **3.2.2 Inflorescencias**

Flores pequeñas, verdosas, pubescentes, dispuestas en densas panojas de 8–4 cm de largo, tienen nueve estambres fértiles de unos 4 mm, con filamentos pubescentes, organizados en tres círculos concéntricos. El ovario es ovoide, de un 1,5 mm, densamente pubescente, con estilo también pubescente de 2,5 mm terminado por un estigma discoidal algo dilatado, la palta (*Persea americana*) florece con más fuerza durante marzo y abril (Dimitri,1972).

#### Fotografía propia N°4 Vista de inflorescencia



Fuente: Fotografía propia, 2017

#### 3.2.3 Fruto.

La palta "*Persea americana* Mill" su fruto es una vaya piriforme de 10 o más cm de largo con el epicarpio corteza verde oscuro muy coriáceo y grueso y mesocarpio carnoso y comestible, de color amarillo-verde, generalmente en forma de pera. Su fruta madura mayormente durante el verano y el otoño (Dimitri,1972).

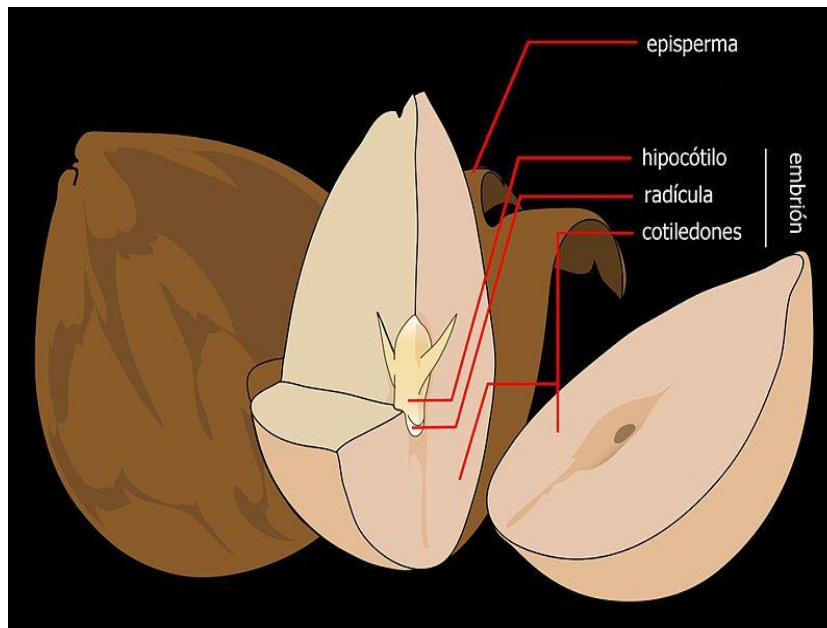
#### Fotografía N° 5 Vista del fruto



Fuente: Fotografía propia, 2017

### 3.2.4 Semillas.

La palta “*Persea americana* Mill” presenta una semilla dura ovalada de episperma (tegumento) papiráceo, sin endosperma, de unos 5–6 cm (Dimitri,1972).



**Imagen N°1 Vista de la semilla**

### 3.2.5 Usos.

La palta tiene diversos usos:

En las comunidades aledañas a la zona de estudio, su madera es utilizada para cajones, cercas, como leña, cuyas utilidades le da cierta importancia económica a esta especie.

Sus frutos utilizan como alimento, las semillas son utilizadas como medicina y también para la piel y el cabello, las hojas son utilizadas como fertilizantes, su corteza rica en tanino se emplea para el curtido de los cueros (Dimitri,1972).

### **3.2.6 Distribución Geográfica.**

La palta (*Persea americana* Mill) es originario de una amplia zona geográfica, que se extiende desde México y Guatemala, hasta la costa Pacífica de Centro América.

Se distinguen tres grupos botánicos: raza mexicana, guatemalteca y antillana, aunque la mayoría de las variedades que tienen interés comercial suelen ser híbridos entre dos de las anteriores (Dimitri,1972).

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

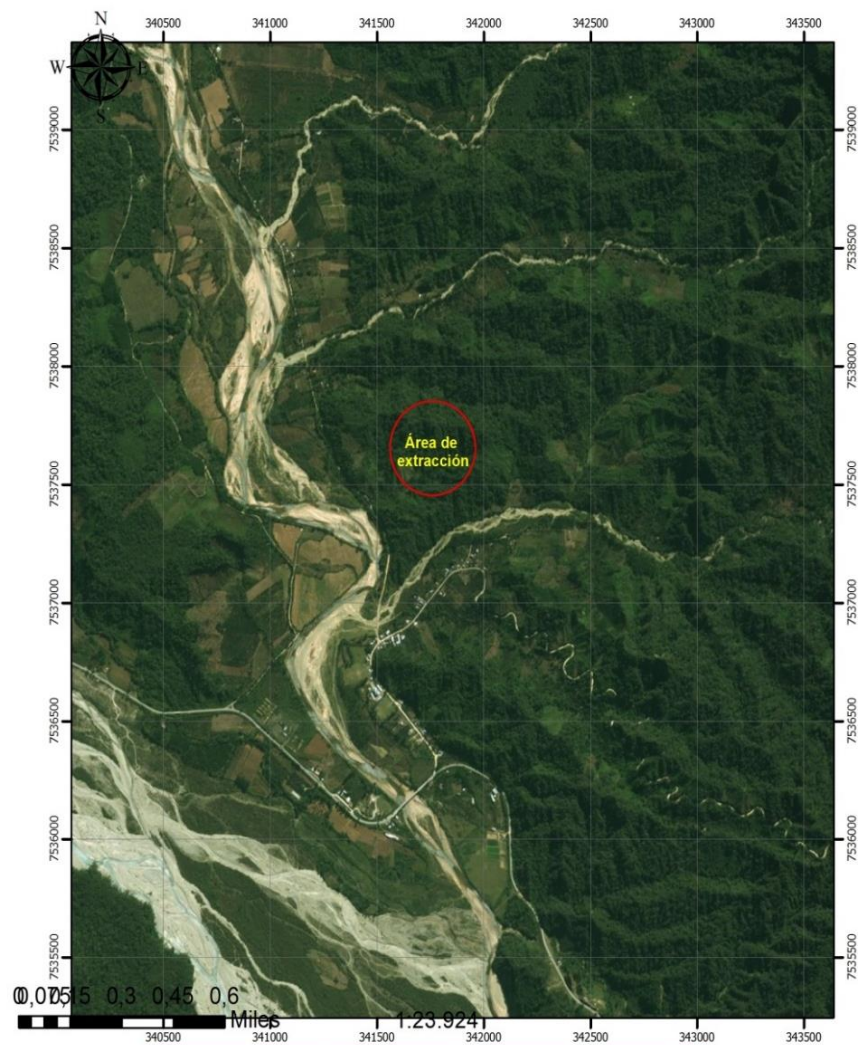
##### **3.1.1 Localización**

La Comunidad de Emborozú, perteneciente al Distrito 9 de El Badén del Municipio de Padcaya, Primera Sección de la Provincia Arce del Departamento de Tarija, Estado Plurinacional de Bolivia.

Los límites de la comunidad son los siguientes: al Sur con la comunidad de El Limal, al Oeste limita con la República Argentina, al Norte con la comunidad de Sidras y al Este con la comunidad de Salado Norte. Cuenta con alturas que oscilan desde 850 a 1150 msnm y un clima subtropical; geográficamente entre las coordenadas 22° 16' 10,11" de latitud Sur y 64° 31'51.52" de longitud Oeste. Emborozú cuenta con un recorrido de 150 Km de la ciudad de Tarija sobre los márgenes de la carretera asfaltada Bermejo- Tarija. La zona de estudio está a una altura de 1042 msnm y con coordenadas: X = 343678; Y = 7537960 Zona 20K. (PDM Padcaya 2015-2019)



## ZONA DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA - EMBOROZU



ZONA DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS		
Mapa de Ubicación		
<i>Tesis de grado: Gloria Hidalgo M.</i>		
Cantón	Emborozú	Cartas DGN Esc. 1:50000
Municipio	Padcaya	Superficie: 20 Hectáreas
Provincia	Arce	Proyección UTM WGS84 Zona 20 Sur
Departamento	Tarija	Fecha de Elab. Mayo 2017

**Fuente:** Elaboración propia, mediante el uso de Google Earth



### **3.1.2 Accesibilidad.**

De acuerdo a información de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), por Emborozú pasa la red fundamental que une a Bermejo con la ciudad de Tarija; la carretera nacional sirve de conexión con la República Argentina considerada como una carretera internacional, la cual cuenta con un sector asfaltado Emborozú cuenta con un camino de Ripio Regular Temporal se puede ingresar a la zona de estudio por un camino de segundo y tercer orden, que en la época de lluvia se dificulta la transitabilidad por el descuido de su mantenimiento. (PDM Padcaya 2015-2019)

### **3.1.3 Geomorfología.**

El 59.72% del territorio municipal tiene un bajo riesgo de amenaza a la sequía, que es explicado porque más del 60% de la superficie municipal está en la provincia fisiográfica del Sub Andino, que incluye a la RNFFT, donde el déficit hídrico no tiene las características de la zona occidental. La zona con menor amenaza del riesgo a la sequía es la comunidad de Emborozú. (PDM Padcaya 2015-2019)

### **3.1.4 Fisiografía.**

Desde el punto de vista de su tipología, fisonomía, aspectos climáticos, Altitudinales y fisiográficos, a partir del mapa de vegetación de la Zonificación Agro Ecológica y Socioeconómica del Departamento de Tarija (ZONISIG, 2001). La vegetación natural tiene múltiples relaciones con los componentes bióticos y abióticos del medio como protector del suelo, estabilizador de pendientes, regulador de la calidad y cantidad de agua en las cuencas, hábitat de la fauna silvestre; expresión de las condiciones locales ambientales y estabilidad ecológica y calidad general del ecosistema. (PDM Padcaya 2015-2019)

### **3.1.5 Suelo.**

Los suelos del área de estudio son profundos de 30 a 150 cm. La textura de estos suelos pertenece al grupo medio como: franco - arcillo – limoso.

**Asociación Fluvisol-Cambisol**, Se localiza en terrazas aluviales de los ríos, la comunidad de referencia esta: Emborozú, con un pH ligeramente ácido a ácido, la fertilidad es moderada.

(PDM Padcaya 2015-2019)

## **3.2 Características Meteorológicas.**

### **3.2.1 Clima.**

El clima que presenta la zona de estudio es catalogado como sub tropical húmedo con temperaturas máximas y mínimas extremas que llegan a 45°C y -4° C respectivamente siendo la media anual de 22.5°, así mismo se tiene una precipitación pluvial de 1000 a 1500 mm al año y una humedad relativa de 70 a 80% (PDM Padcaya ,2015-2019).

### **3.2.2 Hidrología.**

La comunidad de Emborozú, perteneciente al municipio de Padcaya forma parte del gran Sistema hidrográfico de la cuenca del río Bermejo, la que a su vez tiene como parte de ella la subcuenca del río Emborozú sub cuenca rio las tabladas cuenta con un área 185.16 (km<sup>2</sup>)

Tanto la cuenca del Río Bermejo, con su afluente principal el Río Emborozú presentan un alto porcentaje de degradación debido a diferentes causas entre las cuales podemos mencionar:

- El incremento de poblaciones urbanas y rurales que generan importantes niveles de contaminación, zonas de uso intenso de suelos y aguas superficiales como abrevaderos, indican la presencia de tramos con elevada degradación de la calidad hídrica y son algunas de las fuentes de contaminación en la cuenca.

- Los bajos niveles de flúor en todas las corrientes de agua de la cuenca, que tienen relación con los problemas dentales en el área de estudio
- La cuenca tiene bajos índices de absorción del suelo, lo que indica que no pueden existir problemas de alcalinización de suelos por el uso del agua en riego. (PDM Padcaya 2015-2019)

### **3.3 Características Bióticas.**

#### **3.3.1 Vegetación.**

El área de estudio, corresponde a la continuidad de la selva tucumana boliviana, constituido como bosque subtropical o subandino, en los cuales existen innumerables variedad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas; por lo tanto existen bosques primarios y secundarios, es común el corte de árboles para obtener madera, especialmente de aquellas especies forestales de mayor importancia relativa como es el cedro (*Cedrela odorata*), lapacho (*Tabebuia alba*), lapacho (*Handroanthus impetiginosus*), quina (*Cinchona officinalis*), tala (*Cetis tala*), nogal (*Junglas regia*), pacay (*Inga feuilleei*), cebil (*Anadenanthera culubrina*), aliso (*Alnus glutinosa*), etc.

La palta (*Persea americana Mill*) ha sido introducida con fines de plantaciones de carácter comercial en linderos y filas asociadas con plantas frutales como ser los cítricos, por la obtención de frutos de calidad, requeridos en gran medida por la comunidad y con fines de comercialización, como así también para fines medicinales. (PDM Padcaya 2015-2019)

#### **3.3.2 Fauna silvestre**

La información proporcionada por las familias referentes a la existencia de animales:

Garza (*Budulus ibis*), lechuza (*Otus choita*), tero-tero (*Belanopterus cayunensis*) cotorra verde (*Aratingaleu cophihunus*), pava del monte (*Penelope obscura*), tucan (*Ramphastos toco*), picaflor (*Microstilbon burmeisteri*), carpintero (*Picunun senvatus*). Surubí (*Pseudoplatystom afasciatum*), Dorado (*Salminus maxillosus*), Badre (*Hatcheriasp*), sábalo (*Prochilo dusineatus*), boga (*Leporinus obtusidens*). Comadreja

común (*Didephis pusilla*), mono (*Cebus apella*), gualacato (*Eufaractuss excintus*), acutí (*Dasyproctapun ciacata*), zorrilo (*conepatus chinga*), chanco del monte (*Dicolyles lazaen*), gato onza (*Feiswienddi*), corzuela (*Manzana amaericana*).

(PDM Padcaya 2015-2019)

### **3.3.3 Tierras de Uso Forestal**

Uso Productivo de Bosques Permanentes y Uso Agrosilvopastoril; esta subcategoría de uso comprende varias unidades de terreno ubicadas en el Subandino. Las principales referencias de localización son las comunidades de Emborozú, Nogalitos y Salado Conchas, Cuenta con una superficie de 42.851 ha, abarcan aproximadamente 10% del total del municipio. También cabe mencionar que existen propietarios del lugar que realizan plantaciones de eucaliptus para uso comercial. (PDM Padcaya 2015-2019)

## **3.4 Aspectos socioeconómicos.**

### **3.4.1 Sistemas de Producción Agrícola**

Por la ubicación geográfica y las condiciones climáticas que se presentan en el municipio, la producción agrícola en la comunidad de Emborozú son los siguientes: durazno y también cítricos (naranjas, mandarinas, limones, etc.), la cual es de buena calidad que se comercializa en todo el departamento (Consultora Pereira, 2015).

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

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

Gran parte de la comunidad de Emborozú del distrito 9 El Badén, está cubierto por bosques explotados en distintos grados de intensidad, localmente se observan cultivos agrícolas como ser: maíz, papa, tomate, etc. (Consultora Pereira, 2015).

### **3.4.3 Principales Actividades Económicas de las Familias**

La principal actividad productiva dentro de la Sección es la agricultura y ganadería, que forman un conjunto de actividades que la comunidad y las familias campesinas organizan, dirigen y realizan de acuerdo a sus objetivos, cultura y recursos, utilizando prácticas en respuesta al ambiente físico, pues esta, genera al mismo tiempo alimentos para el consumo familiar y también ingresos monetarios.

La unidad campesina es de producción y consumo, para el campesino es de vital importancia asegurar la existencia de su familia y de su parcela, con este objetivo produce rubros dirigidos al mercado cítricos (naranja, mandarina y pomelo), palta, papa, maní y maíz (PDM Padcaya 2015-2019)

### **3.4.4 Producción Ganadera**

A través de los datos recopilados mediante la encuesta realizada en el área de influencia del proyecto la comunidad al margen de ser una zona agrícola es también pecuaria, en menor escala ganado vacuno. (PDM Padcaya 2015-2019)

## **3.5 MATERIALES.**

Para la realización del presente trabajo se utilizó los siguientes materiales:

### **3.5.1 Fase de campo:**

- ❖ Flexómetro
- ❖ Brújula
- ❖ GPS
- ❖ Brochas
- ❖ Planilla de campo
- ❖ Cámara fotográfica
- ❖ Marcadores

**3.5.2 Fase de gabinete:**

- ❖ Material de escritorio
- ❖ Computadora
- ❖ Calculadora

**3.5.3 Material biológico:**

- ❖ Madera de la Palta

**3.5.4 Fase de aserradero:**

- ❖ Sierra sin fin
- ❖ Sierra circular
- ❖ Cepilladora
- ❖ Flexómetro
- ❖ Planilla de registro
- ❖ Escuadra
- ❖ Lápiz cámara fotográfica

**3.5.5 Fase de laboratorio:**

- ❖ Balanza de 30 Kg de capacidad con una precisión de 5 gr
- ❖ Balanza de 3 kg con precisión de 0.01 gr.
- ❖ Estufa eléctrica
- ❖ Escuadra y reglas

### 3.6 METODOLÓGIA.

El trabajo de investigación se realizó en base a las normas COPANT MADERAS (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) 458.

**Cuadro N° 2: Normas para Determinar los Ensayos**

NORMAS	TEMAS
COPANT 458	Selección y colección de muestras.
COPANT 460	Método de determinación del Contenido de Humedad.
COPANT 185	Glosario

#### **Selección y Colección de las Muestras.**

De acuerdo con las normas COPANT 458 se recomienda el sistema al azar, de manera que todos los componentes (zona, sub zona, árbol, etc.) tengan la posibilidad de ser elegidos. Este sistema al azar comprende las siguientes etapas:

- ❖ Definición de la población
- ❖ Selección de la zona
- ❖ Selección de los árboles
- ❖ Selección de las trozas
- ❖ Obtención del tablón
- ❖ Obtención de las tablas
- ❖ Obtención de las probetas
- ❖ Codificación de las probetas

### **3.6.1 Definición de la Población.**

Para realizar la determinación del secado al aire libre de la especie palta (*Persea americana Mill*) se estableció las características de cada individuo, dentro de la población como la edad, especie y diámetro a la altura del pecho, etc.

### **3.6.2 Selección de la Zona.**

En la sección de la zona se tomó en cuenta la cantidad de individuos establecidos mediante una plantación debido a que no es una especie presente en el bosque natural donde no se han considerado parcelas para la identificación de la especie, por lo tanto, las selecciones de los individuos han sido seleccionados al azar de toda la superficie en la cual existe la especie palta.

### **3.6.3 Selección de árboles.**

Se seleccionó 5 árboles al azar, comprendiendo de la siguiente manera:

(Árbol 1 = 6 Tablas, Árboles 2 = 6 tablas, Árbol 3 = 6 tablas, Árbol 4 = 6 tablas y Árbol 5 = 6 tablas), de los cuales se obtendrá un total de 30 tablas, tomando en cuenta la sanidad, un buen fuste y el diámetro mínimo de corta.

### **3.6.4 Selección de las Trozas.**

Se realizó el apeo, desramado y se dividió el árbol en secciones iguales, los cuales serán marcados con pintura desde la parte inferior a la superior de la troza, para poder identificarlos rápidamente. Se eligió las trozas por sorteo, anotando todos los datos de cada troza en planillas.

### **3.6.5 Obtención del tablón**

Una vez trasladadas las trozas al aserradero se procedió a cortar los tablones: Tablón 1A del árbol N° 1 con las siguientes dimensiones espesor = 19,5 cm , ancho = 23 cm y longitud = 150 cm; Tablón 2B del árbol N° 2 con las siguientes dimensiones espesor = 20,5 cm, ancho = 24,5 cm y longitud = 150 cm; Tablón 3C del árbol N° 3 con las siguientes dimensiones espesor = 21,5 cm, ancho = 22 cm y longitud =150 cm; Tablón 4B del árbol N° 4 con las siguientes dimensiones espesor = 25 cm, ancho = 27 cm y



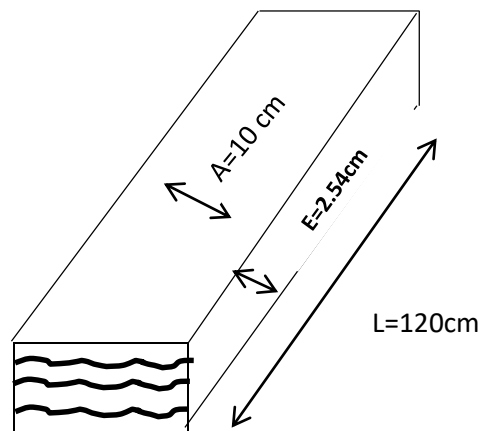
longitud = 150 cm; Tablón 5A del árbol N° 5 con las siguientes dimensiones espesor = 18 cm, ancho = 19cm y longitud = 150 cm.

### 3.6.6 Obtención de las tablas.

Una vez en el aserradero se procedió a cortar las trozas para la obtención de las tablas de 2.54\*10\*120 cm. de dimensión, de las cuales se eligieron las mejores tablas tomando en cuenta que se hallen libres de defectos, para obtener las probetas que se utilizaron en el estudio del secado de la madera. Los cortes serán orientados de manera transversal, radial y tangencial, el ancho será bajo un corte tangencial.

### 3.6.7 Obtención de probetas.

Se tomó en cuenta la codificación de cada tabla, se procedió a elegir 6 tablas por cada árbol, las mismas han sido pintadas con spray en los extremos de cada tabla para evitar la pérdida rápida de humedad porque puede producir grietas y rajaduras en la superficie.



Largo: 120cm

Ancho: 10 cm

Espesor: 2,54cm

### 3.6.8 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 ubicarlas durante la realización del ensayo. El código fue escrito claro y grande con pintura en uno de los costados de la probeta, de la siguiente manera:

1AI1

1=Número de árbol

A= Troza que puede ser A, B y C

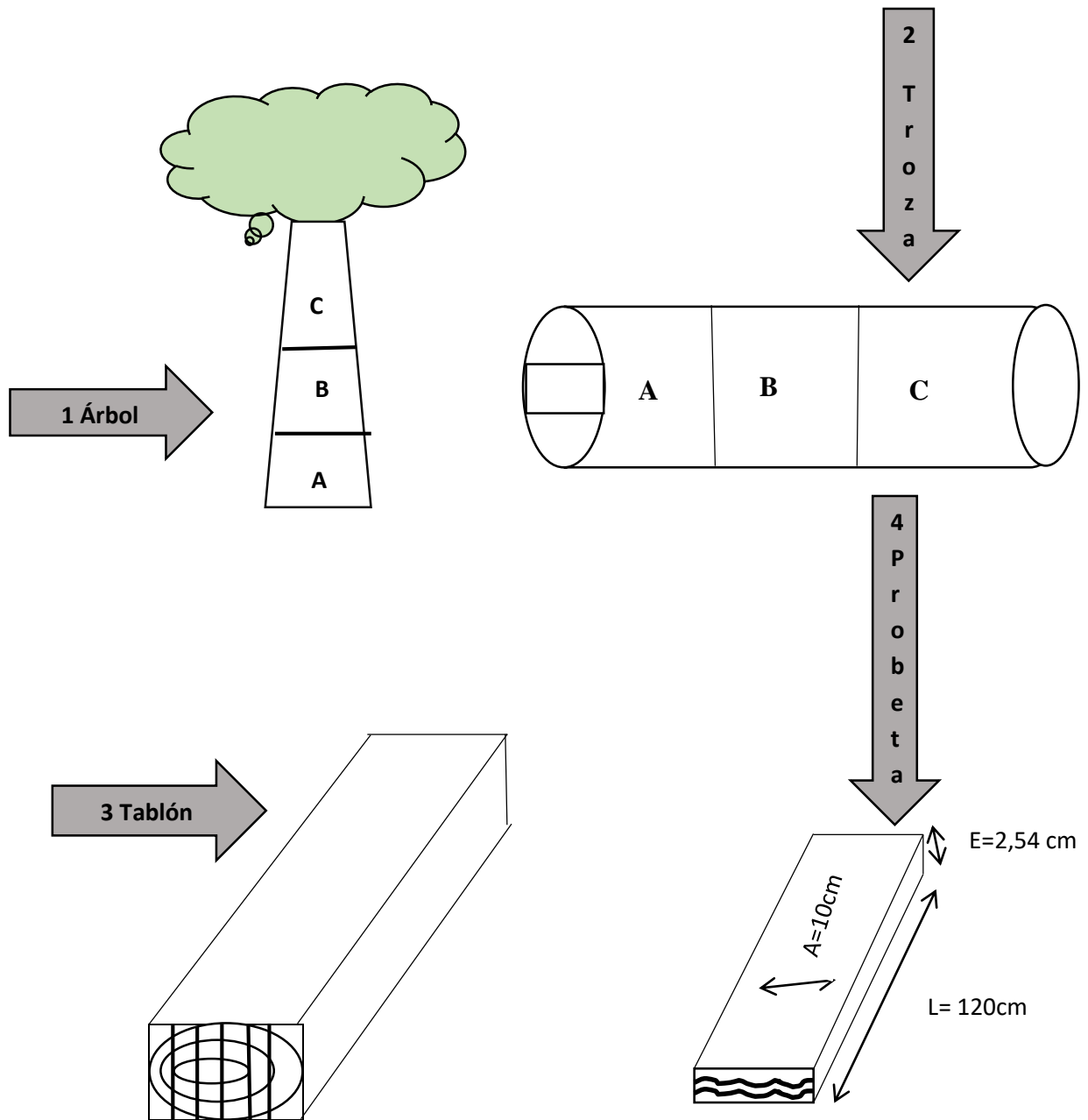
I= Identificación de la probeta seleccionada

1= Número de la probeta

### 3.6.9 Esquema de obtención de las muestras

Para la obtención de las muestras se ha seguido la siguiente secuencia:

**Fig. N° 2 Trozado y obtención de probetas**



Espesor = 2.54 cm, Ancho = 10, Longitud= 120cm

Fuente : elaboración propia, 2017

### 3.6.10 Características de los arboles

A continuación, se muestra las características de cada árbol hasta la obtención de los tablonos como se muestra en cuadro N° 2.

**Cuadro N° 3 Características de los arboles**

Árbol	Fecha de tumbe	DAP (1,30m)	Forma de medula	Sanidad de la troza	Calidad de la troza	Albura		Duramen		Fecha de aserraje tablón
						V	SA	V	SA	
1	4/06/2017	0,45	Céntrica	Sana	1	Leve	Pronunciado	Se distingue		19/07/2017
2	4/06/2017	0,44	Excéntrica	Sana	1	Leve	Pronunciado	Se distingue		19/07/2017
3	4/06/2017	0,47	Céntrica	Sana	1	Leve	Pronunciado	Se distingue		19/07/2017
4	4/06/2017	0,43	Céntrica	Sana	1	Leve	Pronunciado	Se distingue		19/07/2017
5	4/06/2017	0,46	Excéntrica	Sana	1	Leve	Pronunciado	Se distingue		19/07/2017
Promedio		<b>0,45</b>								

Fuente : elaboración propia, 2017

La albura en estado verde no se distingue con el duramen. Se aprecia cambio de color en estado seco al aire mostrando la albura de color blanco amarillento y el duramen regular de color pardo rojizo. La medula de los arboles 2 y 5 es debido a una acción leve del viento tomando en cuenta los árboles se encuentran ubicados en terrenos planos. Las trozas son de calidad 1 lo cual significa que son sanos y de forma cilíndrica.

### **3.6.11 Método de apilado.**

Con la obtención de las tablas para el secado, se procedió al control del peso de cada tabla codificada, que fue anotado en la planilla de registro, posteriormente se procedió a su apilado, en instalaciones del (Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales). Se empleó el apilado de triangulo horizontal o hueco por ser un sistema que en menor tiempo se realiza el secado comparado con el encastillado horizontal.

#### **Fotografía N° 6 Apilado en Triángulo Horizontal**



Fuente: Fotografía propia, 2017

### **3.6.12 Base del apilado.**

Se colocó sobre una base de madera sobre piso de hormigón a 30 cm del suelo, esto es para facilitar la evacuación del aire húmedo que desciende a través de la pila.

### 3.6.13 Cubierta o techo.

El secado de la madera se ubicó en el interior del tinglado donde se encuentra la autoclave de impregnación de la madera, de manera que evite la acción directa del sol y de la lluvia sobre el apilado, así se evita que se produzcan deformaciones y defectos en las tablas.

### 3.6.14 Orientación del apilado.

La orientación del apilado fue en función a la dirección del viento, con la finalidad de facilitar una mayor circulación del aire y protección del sol para evitar rajaduras y otros defectos.

### 3.7 Procedimiento para el control de secado.

Para la determinación del contenido de humedad inicial de las galletas de control, me base en las recomendaciones especificadas en la NORMA COPANT MADERAS- R - 460.

Para que los resultados sean exactos se aplicó lo siguiente:

- Se realizó la eliminación de todas las partículas adheridas a las probetas como ser aserrín o polvo antes de realizar el control del pesado de las mismas.
- La humedad de la madera se calculó en porcentaje, determinando el peso del agua que contiene, respecto del peso del material seco, con la siguiente fórmula:

Dónde:

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

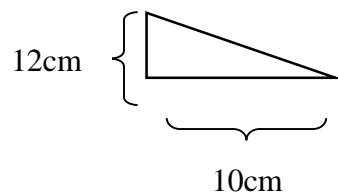
*CH = Contenido de humedad.*

*Ph = Peso de la madera húmeda o peso inicial*

*Ps = Peso la madera seca o anhidra*

Cada galleta obtenida fue codificada y pesada (peso inicial), luego se procedió a introducir a la estufa del Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se aplicó el calentamiento gradualmente, hasta alcanzar una temperatura entre  $101 \pm 2^\circ\text{C}$ . Durante un tiempo de

24 hrs. Procediendo luego a retirar las muestras de la especie palta (*Persea americana* Mill) de la estufa, se dejó enfriar en un desecador y se pesó cada una, se repitió el procedimiento hasta conseguir un peso constante que represento el peso anhidro de cada probeta, la cantidad de probetas para determinar el contenido de humedad inicial fueron de 5 unidades, 1 de cada árbol con la siguiente dimensión:



### 3.7.1 Registro de datos del secado al aire.

La toma de datos se realizó cada 7 días, donde se evaluó el secado de cada tabla, se pesó las tablas hasta que alcanzaron un peso constante.

### 3.7.2 Determinación del contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad mediante el secado de la madera al aire libre aplicando en método de triángulo horizontal, se procedió al control del peso cada 7 días, para lo cual se aplicará la siguiente fórmula.

$$CH_c = \frac{P_c}{P_i} (CH_i + 100) - 100$$

**Donde:**

$CH_c$  = Contenido de humedad de control (%)

$P_c$  = Peso de control (gr)

$P_i$  = Peso inicial (gr)

$CH_i$  = Contenido de humedad inicial (%)

### 3.8 Evaluación de defectos.

Finalizando el tiempo de secado al aire libre, se procedió a la evaluación de los defectos producidos durante el tiempo de secado, identificando las torceduras, arqueaduras y encorvadura; aplicando la “NORMA COPANT 185” que se indica a continuación:

**Cuadro N° 4 Clasificación visual por defectos para madera**

<b>TIPO DE DEFECTO</b>	<b>TOLERANCIA PERMITIDA</b>
Arqueadura	Permitida a 1% por cada 120 cm. de longitud.
Encorvadura	Permitida a 0,33 % por cada 120 cm. de longitud.
Torcedura	Permitida solamente cuando este defecto se presente en forma muy leve y en una sola arista. Se permitirá 0,33 % de alabeo para una pieza de 120 cm. de longitud.

### 3.11 Distribución de la humedad en la madera.

Para determinar la distribución de la humedad en el espesor de la madera se procederá a registrar los contenidos de humedad con el xilohigrómetro en ambas caras de la probeta a 1/4, 1/2, 3/4 de profundidad respecto al espesor.

- **Gradiente de secado.**

$$GS = \frac{CH_{actual}}{HEH}$$

*Donde:*

*GS = Gradiente de secado*

*CH actual = Contenido de humedad actual (%)*

*HEH = Humedad de equilibrio higroscópico (%)*

- **Gradiente de humedad.**

$$GH = H_1 - H_2$$



*Donde:*

*GH = Gradiente de humedad.*

*H<sub>1</sub> = Humedad en el centro de la tabla (%)*

*H<sub>2</sub> = Humedad en la superficie de la tabla (%)*

- **Agua evaporable.**

$$H_2O.Evaporable = \frac{CH.final - HEH}{CH.verde - HEH}$$

*Dónde:*

*H<sub>2</sub>O evaporable = agua evaporable*

*CH final = Contenido de humedad actual (%)*

*CH verde = Contenido de humedad verde (%)*

*HEH = Humedad de equilibrio higroscópico (%)*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

Realizada la tabulación de datos obtenidos en el ensayo de secado al aire libre en triángulo horizontal bajo cubierta y realizado el análisis estadístico correspondiente a cada ensayo, se ha obtenido los siguientes resultados:

**4.1 Contenido de humedad inicial.** El contenido de humedad inicial se determinó a través de una probeta obtenida de cada árbol, tomando el peso verde y posteriormente el peso anhidro. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

*Cuadro N° 5 Cálculo del contenido de humedad inicial.*

ÁRBOL	SECCIÓN O TROZA	Peso promedio Pv (gr)	Peso promedio Po (gr)	CH (%)
1	1A	480,10	263,68	82,08
2	2B	453,85	248,61	82,56
3	3C	405,85	226,45	79,22
4	4B	456,75	259,41	76,07
5	5A	478,95	273,85	74,90
PROMEDIO		455,10	254,40	79,00

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Los árboles han sido derribados el 4 de junio del 2017, con un diámetro promedio de 45 cm de DAP a 1,30 metros de altura a partir del nivel del suelo; obteniendo una troza de cada árbol como se muestra en el Cuadro N° 4, las mismas han sido apiladas a 30 cm del suelo y bajo sombra durante 45 días en el sitio de corta con un promedio de contenido de humedad de los árboles de 79,00 %; posteriormente se procedió al

transporte de las trozas a la Carpintería del Sr. Marcelino Martínez donde se obtuvieron los tablones, llevando un periodo de secado de 21 días, para cada uno de los procesos se aplicó pintura y parafina para proteger de organismos xilófagos y pérdida brusca de humedad. Finalmente, en fecha 9/08/2017 se ha obtenido las probetas para iniciar el proceso de secado al aire libre mediante el método del triángulo horizontal.

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

Donde:

CH = Contenido de humedad.

Pv = Peso verde (gr)

Po = Peso anhidro (gr)

**Árbol 1:**  $CH = \frac{480,10gr - 263,68gr}{263,68gr} * 100 = 82,08 \%$

**4.2 Cálculo de la densidad básica y peso específico anhidro.** Para calcular la densidad básica se trabajó con diez probetas de la especie Palta (*Persea americana* Mill) luego se tomó el peso verde y el peso anhidro al igual se obtuvo el volumen verde y el volumen anhidro, realizado los cálculos se obtiene una densidad básica de 0,37 gr/cm<sup>3</sup>, un peso específico anhidro de 0,41 gr/cm<sup>3</sup> y también se calculó el peso específico al 12% que es 0,44 gr/cm<sup>3</sup> como se indica a continuación:

Cuadro N° 6 Determinación de la densidad básica y el peso específico.

PROB.	Pv (gr)	Vv (cm <sup>3</sup> )	Po (gr)	Vo (cm <sup>3</sup> )	DB (gr/cm <sup>3</sup> )	Pe.a (gr/cm <sup>3</sup> )	Pe 12 (%) (gr/cm <sup>3</sup> )
G1	102,23	101,35	44,26	88,73	0,44	0,50	0,53
G2	90,97	92,19	38,64	86,78	0,42	0,45	0,48
G1	81,97	97,10	30,47	88,09	0,31	0,35	0,38
G2	82,88	89,09	27,63	87,37	0,31	0,32	0,35
G1	90,25	88,92	38,44	86,24	0,43	0,45	0,48
G2	92,39	98,13	39,61	86,38	0,40	0,46	0,49
G1	86,70	84,85	35,89	78,56	0,42	0,46	0,49
G2	86,99	96,53	29,83	88,36	0,31	0,34	0,37
G1	87,61	96,26	33,62	86,09	0,35	0,39	0,42
G2	88,79	99,79	31,41	86,51	0,31	0,36	0,39
SUMATORIA					3,7	4,08	4,38
Media	$\bar{X}$				0,37	0,41	0,44
varianza	$S^2$				0,0032	0,0040	0,0040
Desviación estándar	S				0,0570	0,0630	0,0630
Coeficiente de variación	CV				15,3946	15,4496	14,3914
Error estándar	$S_{\bar{X}}$				0,0180	0,0199	0,0199

Fuente: Elaboración propia. 2017

$$DB = \frac{Po}{Vv}$$

Donde:  
 DB = Densidad básica.  
 Po = Peso anhidro.  
 Vv = volumen verde

$$Pe = \frac{Po}{Vo}$$

Donde:  
 Pe = Peso específico anhidro.  
 Po = Peso anhidro  
 Vo = Volumen anhidro.

$$Pe_{12} = Pe \frac{1 + 0,12}{1 + 0,84 * Pe * 0,12}$$

Donde:  
 Pe<sub>12</sub> = Peso específico al 12 %  
 Pe = Peso específico anhidro.

**Ejemplo:**

$$DB = \frac{44,26}{101,35} = 0,44 \text{ gr/cm}^3 \qquad Pe = \frac{44,26}{88,73} = 0,50 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe_{12} = 0,50 \frac{1 + 0,12}{1 + 0,84 * 0,50 * 0,12} = 0,53 \text{ gr/cm}^3$$

**4.3 Análisis estadístico.** Las probetas (tablas presentan las siguientes dimensiones 2,54 cm de espesor x 10 cm de ancho x 120 cm de longitud) para el ensayo del secado al aire libre de la especie Palta tiene un contenido de humedad del 71,00 % al momento de iniciar el proceso de secado, la temperatura ambiente del inicio del proceso ha sido de 20°C y la humedad relativa de 56 %. Los registros de control de peso de las tablas se realizó cada 7 días durante 70 días, momento en el cual se estableció el contenido de humedad (Equilibrio higroscópico). El total de la madera secada al aire libre ha alcanzado un promedio del contenido de humedad de 14,81%, una varianza de 0,67 el cual significa que existe una variación aceptable, una desviación estándar de 0,82 y un coeficiente de variación de 5,54, la varianza, desviación estándar y el coeficiente de variación son estadígrafos de dispersión porque todas las muestras estudiadas han sido homogéneas la cual nos permiten corroborar como han sido trabajadas las muestras. El rango de control del contenido de humedad en estado seco al aire es de 18 a 13%. (Ver cuadro N° 10).

Cuadro N° 7 Peso de control

Árbol	Nº Probeta	9/08/2017 Peso inicial	16/08/2017 Peso 2	23/08/2017 Peso 3	30/08/2017 Peso 4	6/09/2017 Peso 5	13/09/2017 Peso 6	20/09/2017 Peso 7	27/09/2017 Peso 8	4/10/2017 Peso 9	11/10/2017 Peso 10	18/10/2017 Peso 11
1	1AI1	2370	1890	1810	1620	1610	1580	1570	1575	1560	1545	1540
	1AI2	2140	1700	1560	1490	1475	1445	1435	1440	1430	1400	1385
	1AI3	2380	1910	1750	1670	1645	1610	1600	1605	1590	1565	1538
	1AI4	2485	1985	1820	1715	1680	1660	1645	1645	1635	1620	1620
	1AI5	2570	2060	1895	1790	1750	1720	1705	1705	1690	1675	1670
	1AI6	2145	1660	1560	1505	1486	1475	1460	1460	1425	1405	1395
2	2BI1	2375	1895	1730	1670	1655	1615	1605	1615	1600	1585	1578
	2BI2	2035	1715	1635	1590	1490	1475	1465	1415	1385	1352	1342
	2BI3	2290	1810	1680	1630	1620	1590	1580	1585	1560	1527	1525
	2BI4	2170	1720	1585	1525	1515	1485	1480	1480	1470	1455	1440
	2BI5	2635	2105	1945	1870	1860	1825	1810	1815	1790	1758	1750
	2BI6	2340	1875	1720	1645	1625	1590	1585	1590	1575	1562	1555
3	3CI1	2410	1965	1815	1725	1695	1675	1650	1650	1640	1623	1610
	3CI2	2645	2105	1940	1890	1835	1800	1785	1785	1795	1773	1762
	3CI3	2170	1780	1660	1540	1510	1480	1470	1475	1460	1445	1430
	3CI4	2385	1945	1785	1690	1660	1625	1610	1610	1600	1583	1575
	3CI5	2395	1935	1780	1710	1690	1655	1645	1650	1645	1612	1595
	3CI6	2085	1795	1645	1490	1470	1445	1430	1440	1430	1400	1386
4	4BI1	2300	1890	1810	1720	1645	1655	1610	1615	1575	1543	1531
	4BI2	2455	1975	1815	1725	1705	1695	1680	1680	1670	1652	1643
	4BI3	2385	1955	1800	1700	1670	1635	1620	1625	1615	1595	1583
	4BI4	2385	1940	1770	1695	1680	1650	1640	1645	1635	1602	1595
	4BI5	2255	1815	1670	1590	1565	1535	1525	1525	1536	1521	1505
	4BI6	2275	1835	1700	1610	1590	1560	1550	1555	1545	1529	1520
5	5AI1	2425	2021	1875	1825	1815	1781	1775	1780	1770	1755	1738
	5AI2	2140	1875	1795	1750	1635	1595	1585	1580	1567	1545	1530
	5AI3	2210	1875	1755	1710	1700	1675	1665	1670	1630	1600	1585
	5AI4	2300	1945	1815	1755	1750	1720	1710	1720	1675	1655	1642
	5AI5	2395	2015	1890	1825	1810	1790	1780	1780	1756	1742	1730
	5AI6	2315	1980	1855	1810	1795	1748	1730	1735	1705	1670	1655

Fuente: Elaboración propia. 2017



**Cuadro N° 8 Análisis estadístico del contenido de humedad de control para el secado al aire libre**

Árbol	Nº Probeta	9/08/2017 CH inicial	16/08/2017 CH1	23/08/2017 CH2	30/08/2017 CH3	6/09/2017 CH4	13/09/2017 CH5	20/09/2017 CH6	27/09/2017 CH7	4/10/2017 CH8	11/10/2017 CH9	18/10/2017 CH10
1	1AI1	76,23	40,54	34,59	20,46	19,72	17,49	16,74	17,11	16,00	14,88	14,51
	1AI2	75,99	39,81	28,29	20,30	21,30	18,83	18,01	18,42	17,60	15,13	13,90
	1AI3	76,98	42,03	30,13	24,18	22,32	19,72	18,98	19,35	18,23	16,38	14,37
	1AI4	77,45	41,75	29,96	22,47	19,97	18,54	17,47	17,47	16,75	15,68	15,68
	1AI5	75,11	40,36	29,12	21,96	19,24	17,19	16,17	16,17	15,15	14,13	13,79
	1AI6	78,12	37,85	29,54	24,97	23,40	22,48	21,24	21,24	18,33	16,67	15,84
	$\bar{X}$	76,65	40,39	30,27	22,39	20,99	19,04	18,10	18,29	17,01	15,48	14,68
2	2BI1	74,02	38,85	26,76	22,36	21,26	18,33	17,60	19,34	17,23	16,14	15,62
	2BI2	78,98	45,78	38,98	35,15	26,65	25,38	24,53	20,28	17,73	14,92	14,07
	2BI3	74,13	37,63	27,75	23,94	23,18	20,90	20,14	20,52	18,62	16,11	15,96
	2BI4	71,66	36,06	25,38	20,64	19,85	17,47	17,08	17,08	16,29	15,10	13,91
	2BI5	73,12	38,30	27,79	22,86	22,20	19,90	18,92	19,25	17,60	15,50	14,98
	2BI6	74,23	39,61	28,07	22,48	20,99	18,39	18,01	18,39	17,27	16,30	15,78
	$\bar{X}$	73,36	39,37	29,12	24,57	22,36	20,06	19,38	19,14	17,46	15,68	15,05
3	3CI1	71,03	39,45	28,80	22,42	20,29	18,87	17,10	17,10	16,39	15,18	14,26
	3CI2	73,02	37,70	26,90	23,63	20,03	17,75	16,76	16,76	17,42	15,98	15,26
	3CI3	75,01	43,56	33,88	24,20	21,78	19,36	18,56	18,96	17,75	16,54	15,33
	3CI4	74,62	42,40	30,69	23,73	21,54	18,98	17,88	17,88	17,15	15,90	15,32
	3CI5	69,98	37,33	26,33	21,36	19,94	17,46	16,75	17,11	16,75	14,41	13,20
	3CI6	72,35	48,38	35,98	23,17	21,51	19,45	18,21	19,03	18,21	15,73	14,57
	$\bar{X}$	72,67	41,47	30,43	23,09	20,85	18,64	17,54	17,81	17,28	15,62	14,66
4	4BI1	71,23	40,71	34,75	28,05	22,47	23,21	19,86	20,23	17,26	14,87	13,98
	4BI2	71,43	37,91	26,74	20,45	19,06	18,36	17,31	17,31	16,61	15,36	14,73
	4BI3	74,56	43,09	31,74	24,42	22,23	19,67	18,57	18,94	18,20	16,74	15,86
	4BI4	72,05	39,95	27,68	22,27	21,19	19,03	18,31	18,67	17,95	15,57	15,06
	4BI5	70,65	37,35	26,38	20,33	18,43	16,16	15,41	15,41	16,24	15,10	13,89
	4BI6	72,65	39,26	29,01	22,18	20,67	18,39	17,63	18,01	17,25	16,04	15,35
	$\bar{X}$	72,10	39,71	29,39	22,95	20,67	19,14	17,85	18,09	17,25	15,61	14,81
5	5AI1	59,78	33,16	23,54	20,25	19,59	17,35	16,95	17,28	16,62	15,63	14,51



	5AI2	60,99	41,05	35,04	31,65	23,00	19,99	19,24	18,86	17,88	16,23	15,10
	5AI3	61,55	37,06	28,29	25,00	24,27	22,44	21,71	22,08	19,15	16,96	15,86
	5AI4	58,99	34,45	25,46	21,32	20,97	18,90	18,21	18,90	15,79	14,40	13,51
	5AI5	58,08	33,00	24,75	20,46	19,47	18,15	17,49	17,49	15,90	14,98	14,19
	5AI6	62,11	38,65	29,90	26,75	25,70	22,41	21,14	21,49	19,39	16,94	15,89
	$\bar{X}$	60,25	36,23	27,83	24,24	22,17	19,87	19,12	19,35	17,46	15,86	14,84
<b>DÍAS</b>		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
<b>Sumatoria</b>		2130,1	1183,01	882,23	703,43	642,22	580,54	551,96	556,11	518,72	469,50	444,28
<b>Media</b>	$\bar{X}$	71,00	39,43	29,41	23,45	21,41	19,35	18,40	18,54	17,29	15,65	14,81
<b>Varianza</b>	$S^2$	34,28	11,14	13,46	11,27	3,69	4,21	3,55	2,55	1,02	0,59	0,67
<b>Desv. Estand.</b>	$S$	5,85	3,34	3,67	3,36	1,92	2,05	1,88	1,60	1,01	0,77	0,82
<b>Error Estand.</b>	$S_{\bar{X}}$	1,07	0,61	0,67	0,61	0,35	0,37	0,34	0,29	0,18	0,14	0,15
<b>Coef. Variación</b>	$CV$	8,25	8,46	12,47	14,32	8,97	10,61	10,24	8,61	5,84	4,93	5,54

Fuente: Elaboración propia 2017

**Formula:**  $CH_c = \frac{P_c}{P_i} (CH_i + 100) - 100$

**Ejercicio:**  $CH_c = \frac{1890}{2370} * (76,23 + 100) - 100 = 40,54\%$

**Donde:**

$CH_c$  = Contenido de humedad de control (%)

$P_c$  = Peso de control en gr

$P_i$  = Peso inicial

$CH_i$  = Contenido de humedad inicial %

Formulas: Varianza; desviación estándar; Error estándar; Coeficiente de variación

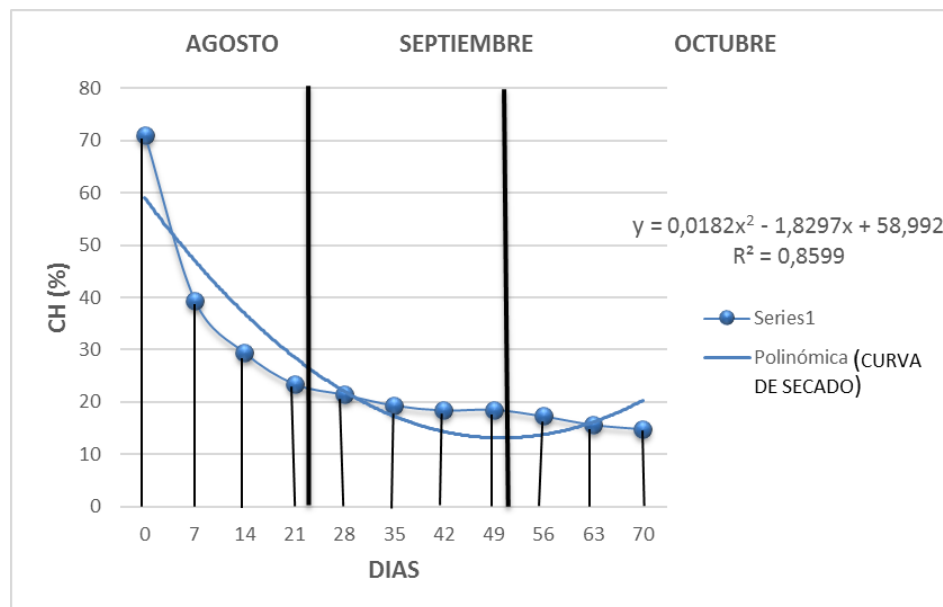
$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad CV = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

Contenido de humedad

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

Este grafico muestra el comportamiento de la madera de Palta (*Persea americana*) durante el proceso de secado, ante las condiciones ambientales expuestas en el ensayo.

**Figura N° 3 Comportamiento promedio de la curva teórica de secado al aire libre, según Cuadro N° 10**



**Series 1: CURVA DEL SECADO**

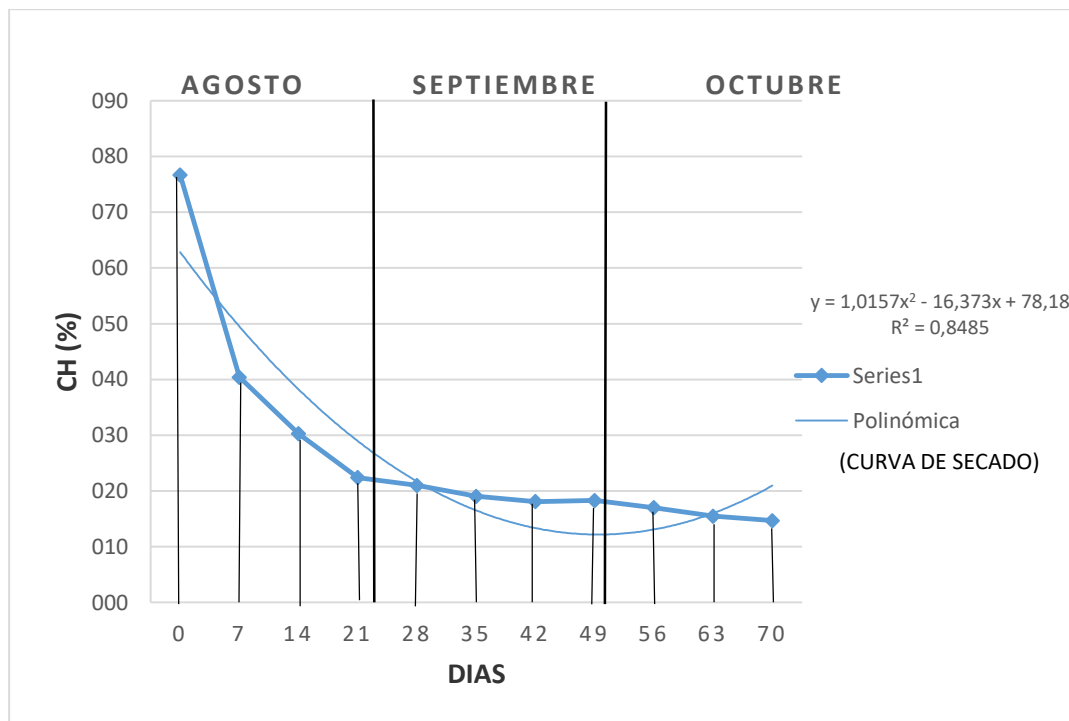
Fuente: Elaboracion propia, 2017

En los primeros 21 días de secado se presentó una rápida pérdida de humedad, (hasta un 55%) en el secado al aire libre, llegando cerca del punto de saturación de las fibras (PSF) de ahí en adelante continúa una curva donde el ritmo de secado se tornó mucho

más lento, próximamente alcanza una estabilidad hasta el final del estudio y la curva tiende a adquirir los valores de la humedad de equilibrio higroscópico.

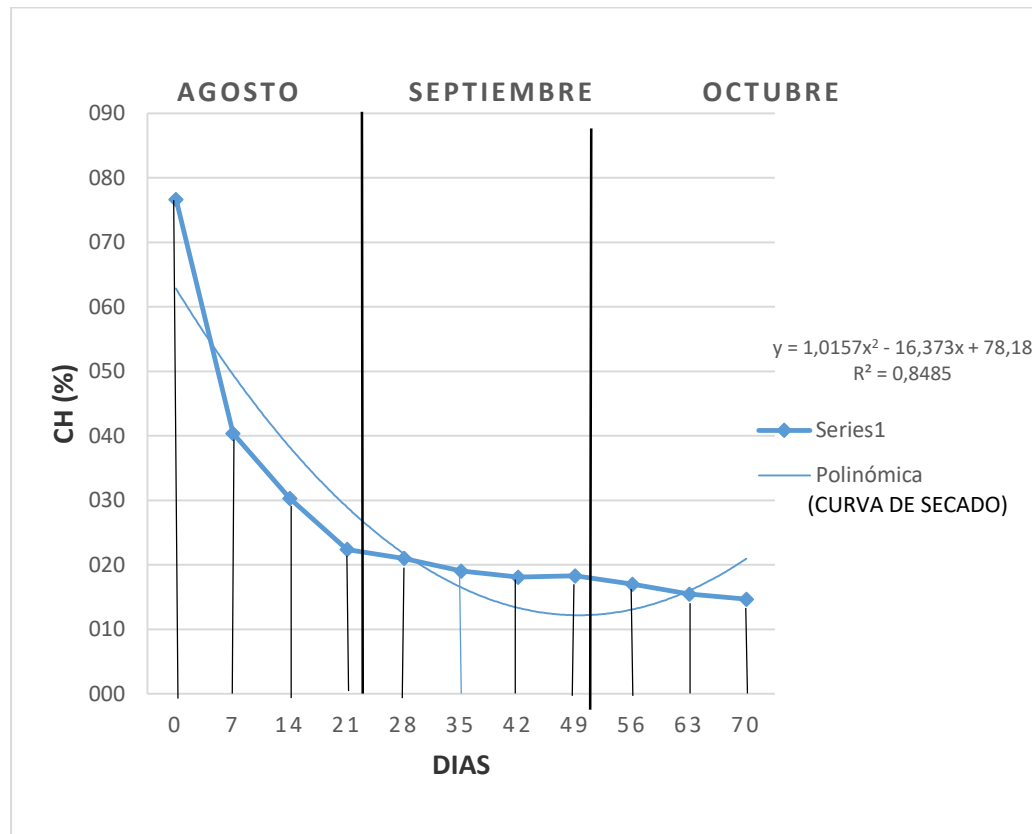
En los gráficos N° 3 y 4 se obtiene las medias del contenido de humedad inicial y final, el árbol 1 tiene un contenido de humedad inicial de 76,65 % finalizando con un contenido de humedad de 14,68 %; el árbol 5 ha tenido un contenido de humedad inicial de 60,25 % y final de 14,84 %, realizando la curva de secado se puede apreciar que a los 21 días presenta una mayor pérdida de humedad, luego el ritmo de secado es mucho más lento.

**Figura N° 4 Comportamiento de la curva teórica de secado al aire libre del árbol N° 1**



Fuente: Elaboración propia, 2017

**Figura N° 5 Comportamiento de la curva teórica de secado al aire libre del árbol N° 5**



*Fuente: Elaboración propia, 2017*

El cuadro N° 8 presenta la temperatura máxima y la humedad relativa para cada registro de pesos de control de las probetas del secado al aire libre.

*Cuadro N° 9 Temperatura máxima y humedad relativa en el periodo de secado*

<b>PERÍODO</b>	<b>Temperatura Máxima*</b>	<b>Humedad Relativa*</b>
09/08/2017	20°C	56,0%
16/08/2017	19°C	35,0%
23/08/2017	19°C	48,0%
30/08/2017	18°C	70,5%
06/09/2017	20°C	70,0%
13/09/2017	21°C	61,0%
20/09/2017	31°C	32,5%
27/09/2017	24°C	62,5%
4/10/2017	22°C	49,0%
11/10/2017	23°C	67,5%
18/10/2017	24°C	65,5%

*Fuente: Elaboración propia. 2017*

#### 4.4 Control de defectos.

En el Cuadro N° 9 se mencionan los defectos más comunes presentados en las probetas estudiadas para el secado al aire libre: arqueadura, encorvadura y torceduras, donde se puede apreciar que la torcedura influyo casi en todas las probetas estudiadas para el secado al aire libre; las mismas están dentro de la tolerancia permitida según la “NORMA COPANT 185”

*Cuadro N° 10 Defectos producidos en el secado*

TIPO DE DEFECTO	PROBETAS	VALOR %
ARQUEADURA TOLERANCIA= $H/L * 100 \leq 1\%$	1AI2	0,50
	1AI3	0,42
	1AI4	0,50
	1AI5	0,50
	1AI6	0,67
	2AI1	0,50
	2AI4	0,42
	3CI3	0,42
	3CI5	0,42
	3CI6	0,25
	4BI2	0,50
	4BI4	0,42
	5AI3	0,50
	Media	0,46
ENCORVADURA TOLERANCIA= $H/L * 100 \leq 0.33\%$	3CI1	0,25
	3CI4	0,17
	3CI5	0,33
	3CI6	0,25
	4BI1	0,33
	4BI2	0,33
	4BI3	0,25
	4BI4	0,33
	5AI4	0,17
	5AI5	0,25
	5AI6	0,25
	Media	0,26
	1AI1	0,17
	1AI2	0,25

<p style="text-align: center;">TORCEDURA</p> <p style="text-align: center;">TOLERANCIA=H/L*100 ≤ 0.33%</p>	1AI3	0,33
	1AI4	0,17
	1AI5	0,33
	1AI6	0,33
	2AI1	0,25
	2AI2	0,17
	2AI3	0,25
	2AI4	0,25
	2AI5	0,25
	2AI6	0,33
	3CI1	0,25
	3CI2	0,21
	3CI3	0,25
	3CI4	0,33
	3CI5	0,21
	3CI6	0,17
	4BI1	0,25
	4BI2	0,33
	4BI3	0,33
	4BI4	0,25
	5AI1	0,17
	5AI2	0,33
	5AI3	0,33
	5AI4	0,25
	5AI5	0,29
	5AI6	0,25
	Media	0,26

*FUENTE: Elaboración propia 2017*

ARQUEADURA

TOLERANCIA=H/L\*100 ≤ 1%

T=Tolerancia

$$T = \frac{0,6 \text{ (cm)}}{120 \text{ (cm)}} * 100 = 0,50\%$$

H= Altura (cm)

L=Longitud (cm)

ENCORVADURA

TOLERANCIA=H/L\*100 ≤ 0.33%

T=Tolerancia

$$T = \frac{0,3 \text{ (cm)}}{120 \text{ (cm)}} * 100 = 0,25\%$$

H= Altura (cm)

L=Longitud (cm)

TORCEDURA

$$\text{TOLERANCIA} = H/L * 100 \leq 0.33\%$$

T=Tolerancia

H= Altura (cm)

$$T = \frac{0,2 \text{ (cm)}}{120 \text{ (cm)}} * 100 = 0,17\%$$

L=Longitud (cm)

**4.5 Distribución de la humedad en el espesor.** La distribución de la humedad en el espesor de la madera se representa en el Cuadro N° 12. Las humedades se registraron con el xilohigrómetro en ambas caras de la probeta a 1/4, 1/2, 3/4, de profundidad con respecto al espesor. La humedad interna en la madera es variada, siendo en el centro de la tabla mucho mayor que en la superficie de la misma, esto es una característica muy común en aquellas maderas secadas al aire libre, ya que no se somete a las tablas a un proceso de homogeneizado y acondicionado durante la etapa final de secado; lo que normalmente se da en las cámaras de secado convencionales.



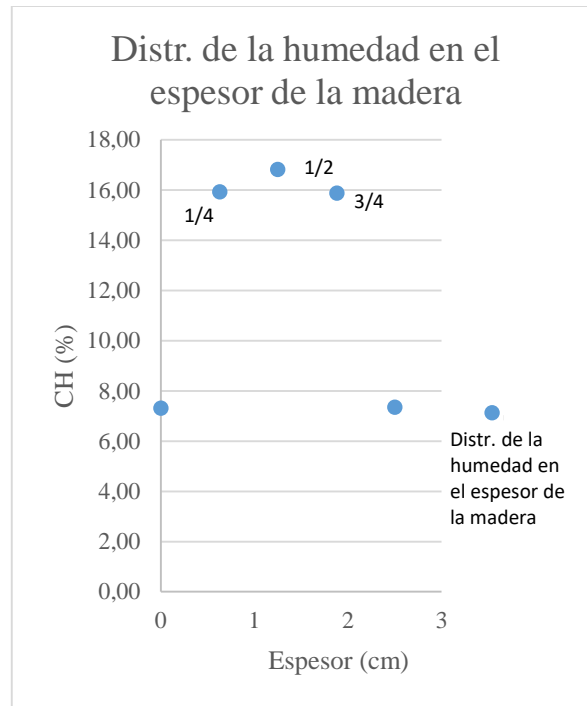
*Cuadro N° 11 Distribución de la humedad (%) en el espesor de la madera secada al aire libre.*

<b>PROBETA</b>	<b>CARA I</b>	<b>1/4 ESP.</b>	<b>1/2 ESP.</b>	<b>3/4 ESP.</b>	<b>CARA II</b>
1AI1	7,1	16,10	15,65	16,25	7,5
1AI2	8,5	15,31	16,63	14,86	8,0
1AI3	7,6	15,86	15,56	13,25	7,9
1AI4	6,6	14,11	17,69	15,30	7,1
1AI5	6,1	16,25	16,68	14,56	7,1
1AI6	5,1	15,98	15,79	15,65	5,9
2BI1	6,2	15,85	16,33	16,58	5,4
2BI2	6,7	14,65	16,68	16,86	6,3
2BI3	7,1	16,39	15,95	15,98	7,7
2BI4	7,4	15,68	17,68	16,10	7,3
2BI5	8,0	15,87	15,76	17,26	7,7
2BI6	7,5	16,23	17,95	16,11	7,6
3CI1	8,0	14,65	16,65	15,96	7,8
3CI2	7,6	15,68	15,33	16,25	7,2
3CI3	5,6	16,20	16,99	14,36	5,6
3CI4	7,5	15,68	16,25	15,98	6,8
3CI5	7,4	14,98	16,55	16,35	8,0
3CI6	6,6	15,66	15,23	16,99	7,4
4BI1	7,8	15,62	18,62	16,26	7,6
4BI2	7,4	16,35	16,65	15,15	7,6
4BI3	7,6	17,85	18,55	16,55	7,4
4BI4	8,4	16,28	16,18	15,78	8,3
4BI5	7,4	15,65	15,85	14,85	7,5
4BI6	7,6	17,10	17,69	16,11	7,4
5AI1	8,7	15,69	16,19	17,29	9,1
5AI2	6,3	16,86	18,26	16,76	6,8
5AI3	7,8	17,11	17,91	16,87	7,3
5AI4	8,2	15,63	16,53	14,31	7,5
5AI5	8,2	16,28	17,78	15,28	7,8
5AI6	7,2	16,32	18,82	16,37	7,6
Sumatoria	219,20	477,87	504,38	476,23	220,40
Media	7,31	15,93	16,81	15,87	7,35
Varianza	0,72	0,58	1,08	0,92	2,12
Desv. Estand.	0,85	0,76	1,04	0,96	1,46

Error Estand.	0,16	0,14	0,19	0,18	0,27
Coef. Variación	11,65	4,79	6,17	6,04	11,21

*Fuente: Elaboración propia 2017*

**Figura N° 6 Distribución de la humedad en el espesor de la madera secada al aire libre**



*Fuente: Elaboración propia 2017*

La humedad en la superficie de la cara I fue de 7,31 % y en la cara II de 7,35%, en el centro de las tablas contiene mayor humedad, con un valor de 16,81%, estos valores fueron calculados con los datos obtenidos en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Cuadro N° 12 Resultados de la humedad de equilibrio higroscópico HEH %.**

FECHA	TEM(°C)	H. R.(%)	HEH (%)
9/08/2017	20°C	56,0%	10,20%
16/08/2017	19°C	35,0%	6,80%
23/08/2017	19°C	48,0%	8,80%
30/08/2017	18°C	70,5%	13,50%
6/09/2017	20°C	70,0%	13,10%
13/09/2017	21°C	61,0%	11,10%
20/09/2017	31°C	32,5%	6,15%
27/09/2017	24°C	62,5%	11,4%
4/10/2017	22°C	49,0%	8,9%
11/10/2017	23°C	67,5%	12,4%
18/10/2017	24°C	65,5%	12,0%
MEDIA	22°C	56.4%	10.5%

*FUENTE: Elaboración propia 2017*

En este cuadro N° 14 se observa que con la temperatura ambiente y la humedad relativa ambiente se pudo calcular la humedad de equilibrio higroscópico según Eisenmann.

**4.6 Gradientes y agua evaporable.** Se ha obtenido gradiente de humedad para el secado al aire libre de 9,51 % que es la diferencia entre el centro de la tabla y la superficie y un gradiente de secado de 1,41 es decir un valor muy bajo, también se tiene un valor del agua evaporable igual a 0,07157 lo que nos indica que no existe una salida de agua de las tablas al medio ambiente.

**Cuadro N° 13 Cálculo del agua evaporable, gradientes de humedad y secado bajo cubierta**

PROB.	CH Verde	CH Final	HEH	CH SUP	1/2 ESP.	GS	GH	H2O
1AI1	76,23	14,51	10,5	7,0	15,65	1,38	8,65	0,06101
1AI2	75,99	13,90	10,5	8,5	16,63	1,32	8,13	0,05192
1AI3	76,98	14,37	10,5	7,6	15,56	1,37	7,96	0,05821
1AI4	77,45	15,68	10,5	6,6	17,69	1,49	11,09	0,07737
1AI5	75,11	13,79	10,5	6,1	16,68	1,31	10,58	0,05092
1AI6	78,12	15,84	10,5	5,1	15,79	1,51	10,69	0,07897
2BI1	74,02	15,62	10,5	6,2	16,33	1,49	10,13	0,08060
2BI2	78,98	14,07	10,5	6,7	16,68	1,34	9,98	0,52213
2BI3	74,13	15,96	10,5	7,1	15,95	1,52	8,85	0,08581
2BI4	71,66	13,91	10,5	7,4	17,68	1,33	10,28	0,05576
2BI5	73,12	14,98	10,5	8,0	15,76	1,43	7,76	0,07154
2BI6	74,23	15,78	10,5	7,5	17,95	1,50	10,45	0,08285
3CI1	71,03	14,26	10,5	8,0	16,65	1,36	8,65	0,06212
3CI2	73,02	15,26	10,5	7,6	15,33	1,45	7,73	0,07614
3CI3	75,01	15,33	10,5	5,6	16,99	1,46	11,39	0,07487
3CI4	74,62	15,32	10,5	7,5	16,25	1,46	8,75	0,07517
3CI5	69,98	13,20	10,5	7,4	16,55	1,26	9,15	0,04539
3CI6	72,35	14,57	10,5	6,6	15,23	1,39	8,63	0,06580
4BI1	71,23	13,98	10,5	7,8	18,62	1,33	10,82	0,05730
4BI2	71,43	14,73	10,5	7,4	16,65	1,40	9,25	0,06942
4BI3	74,56	15,86	10,5	7,6	18,55	1,51	10,95	0,08367
4BI4	72,05	15,06	10,5	8,4	16,18	1,43	7,78	0,07409
4BI5	70,65	13,89	10,5	7,4	15,85	1,32	8,45	0,05636
4BI6	72,65	15,35	10,5	7,6	17,69	1,46	10,09	0,07804
5AI1	59,78	14,51	10,5	8,7	16,19	1,38	7,49	0,08137
5AI2	60,99	15,10	10,5	6,3	18,26	1,44	11,96	0,09111
5AI3	61,55	15,86	10,5	7,8	17,91	1,51	10,11	0,10500
5AI4	58,99	13,51	10,5	8,2	16,53	1,29	8,33	0,06207
5AI5	58,08	14,19	10,5	8,2	17,78	1,35	9,58	0,07755
5AI6	62,11	15,89	10,5	7,2	18,82	1,51	11,62	0,10444
SUMATORIA						39,48	285,28	2,14701
PROMEDIO						1,41	9,51	0,07157

*Elaboración propia 2017*

*Donde:*

*GS = Gradiente de secado.*

*CH actual = Contenido de humedad actual.*

*HEH = Humedad de equilibrio higroscópico.*

$$GS = \frac{CH \text{ .actual}}{HEH}$$

*Donde:*

*GH = Gradiente de humedad.*

*H<sub>1</sub> = Humedad en el centro de la tabla.*

*H<sub>2</sub> = Humedad en la superficie de la tabla.*

$$GH = H_1 - H_2$$

*Donde:*

*CH actual = Contenido de humedad actual.*

*CH verde = Contenido de humedad verde.*

*HEH = Humedad de equilibrio higroscópico.*

$$H_2O.Evaporable = \frac{CH \text{ .actual} - HEH}{CH \text{ .verde} - HEH}$$

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo de investigación sobre el ensayo de secado al aire libre, y con los resultados obtenidos en campo, se puede concluir de la siguiente manera:

- La especie Palta (*Persea americana* Mill) tiene una densidad básica de 0.37 gr/cm<sup>3</sup> por lo tanto se clasifica como una madera liviana, es una especie que requiere de un secado más lento, la duración de este proceso fue de 70 días aplicando un secado al aire libre en triangulo horizontal bajo cubierta; el promedio del contenido de humedad inicial de las 30 tablas es de 71,00 % llegando a un contenido de humedad final promedio de 14,81 % que se encuentra dentro del rango de 18 a 13 %.
- El secado de la madera en triangulo horizontal es óptimo para obtener madera seca al aire, tomando en cuenta a que el tiempo de secado es menor, con diferencia a que el volumen a secar es reducido en comparación con otros métodos, por ejemplo, el encastillado horizontal.
- En el secado al aire libre se observó que es muy frecuente las torceduras, arqueaduras y encorvadura; sin embargo, los resultados muestran que las tablas no han sido afectadas por estos defectos, encontrándose dentro de los límites permisibles.
- El gradiente de humedad existente fue de 9,51 el cual es muy importante debido a que promueve la movilización del agua presente en las zonas internas por difusión, de modo que es conveniente para la realización del secado.
- La distribución de la humedad en el interior de la madera al término del proceso de secado varía de acuerdo a la profundidad, siendo en el centro de la tabla más alta que en la superficie. Ésta característica es muy normal en los procesos de secado al aire libre, por lo que se obtuvo para éste ensayo un resultado de

16,81% de humedad en el centro y en las superficies un valor promedio de 7,28%.

- Los costos de inversión para el secado al aire libre de triangulo horizontal bajo cubierta son menores que los requeridos por los hornos de secado artificial, es un buen método para el secado de maderas.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se espera que este estudio sirva de base para futuros proyectos que conlleven a obtener modelos de secado al aire libre que permitan alcanzar una mayor eficiencia de la energía solar.
- Es oportuno aclarar que no resulta conveniente apilar la madera con diferentes dimensiones de ancho y espesor, ya que las piezas de mayor espesor demoran más tiempo en disminuir su contenido de humedad.
- Para evitar la presencia de defectos en las piezas de maderas a secar se aconseja colocar contrapesos en el apilado para evitar torceduras y arqueaduras.
- Se recomienda aplicar los tratamientos profilácticos con parafina y pintura en los extremos de las tablas para evitar pérdidas bruscas de humedad y evitar la presencia de agrietamientos, rajaduras y otros defectos.
- Si se realiza el secado al aire libre de triángulo horizontal bajo cubierta es conveniente elegir una zona.
- Los tinglados pueden asegurar una buena protección a la madera frente a la acción del sol y la lluvia; pero no siempre impedir que el material leñoso, retome humedad durante los períodos de elevada humedad relativa del aire.