

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS

NATURALES RENOVABLES



**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SECADO NATURAL
MEDIANTE TÉCNICAS DE APILADO EN TRIÁNGULO Y CABALLETE DE
LA ESPECIE FORESTAL *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var
amazonicum (Huber ex Ducke) BARNEBY “pino chuncho”, EN TINGO
MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES**

ADIN ADONIAS ZEVALLOS HUAMAN

PROMOCIÓN 2008 - I

Tingo María – Perú

2011



K50

Z76

Zevallos Huamán, Adin Adonias

Determinación de las características del secado natural mediante técnicas de apilado en triángulo y caballete de la especie forestal *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho", en Tingo María. 2011

91 páginas; 17 cuadros; 11 fgrs.; 59 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. en Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables

1. SECADO

2. DEFECTOS

3. APILADO

4. CONTRACCIÓN

5. DEFORMIDADES

6. HUMEDAD



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María - Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

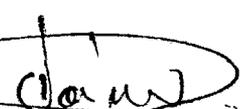
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 12 de enero de 2012 a horas 03:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

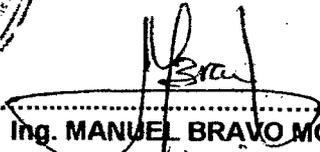
DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SECADO NATURAL MEDIANTE TÉCNICAS DE APILADO EN TRIÁNGULO Y CABALLETE DE LA ESPECIE FORESTAL *schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE *var amazonicum* (Huber ex Ducke) BARNEBY "pino chuncho", EN TINGO MARÍA

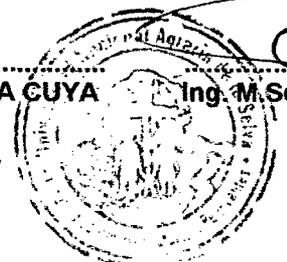
Presentado por el Bachiller: **ADÍN ADONÍAS ZEVALLOS HUAMÁN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de "MUY BUENO".

En consecuencia el sustentante queda apto para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, mención FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 12 de enero de 2012


.....
Ing. M.Sc. RICARDO OCHOA CUYA 
Presidente Ing. M.Sc. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
Miembro


.....
Ing. RAÚL ARAUJO TORRES 
Miembro Ing. MANUEL BRAVO MORALES
Asesor



DEDICATORIA

A DIOS por ser siempre mi guía y haberme dado una linda familia.

A mis queridos padres Gilberta Huamán y Leonidas Zevallos, quienes depositaron toda su confianza en mí y me apoyaron en todo para poder cumplir no solamente uno de mis sueños, sino cumplir el de ellos también.

A mis hermanos Abraham, Lucila, Isaac, Job, Ena, David, Esther y Evarista, quienes son un gran motivo para mí y por haberme incentivado a seguir adelante y a tener presente que podemos lograr todos nuestros objetivos poniendo nuestro esfuerzo y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyó en mi formación profesional.

Al Ing. Manuel BRAVO MORALES y el Ing. Jorge Luís VERGARA PALOMINO, por sus acertadas orientaciones durante la ejecución y redacción de la tesis.

A toda la plana de catedráticos del Departamento Académico de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables y el trabajador Mario SOSA por sus enseñanzas y orientaciones durante mi permanencia en las aulas universitarias.

A mis queridos primos; Rufina y Marino por su apoyo incondicional como parte de mi formación personal y profesional.

A mis grandes amigas (os): Frits, David, Orlando, Paúl, Roy, Alex, Yahn Carlos, Edwin, entre otros, quienes compartieron conmigo invalorable momentos durante mi etapa universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. La madera	4
2.2. Propiedades físicas de la madera	5
2.2.1. Higroscopicidad	5
2.2.2. Contenido de humedad (CH).....	5
2.2.3. Densidad.....	10
2.2.4. Contracción de la madera.....	13
2.2.5. Variación de las propiedades físicas.....	19
2.3. El agua de la madera	22
2.3.1. Agua libre.....	22
2.3.2. Agua higroscópica	23
2.3.3. Agua de constitución.....	23
2.4. Secado de la madera	24

2.4.1. Secado al natural o aire libre	25
2.4.2. Apilado de madera aserrada en secado natural	26
2.4.3. Consideraciones en las técnicas de secado natural	27
2.4.4. Importancia del techado de los apilados.....	27
2.4.5. Influencia en la madera de los factores internos y externos	27
2.4.6. Factores que inciden en el secado de la madera.....	29
2.5. Consideraciones previas en el secado de la madera	31
2.5.1. Contenido de humedad.....	32
2.5.2. Espesor de la madera.....	32
2.5.3. Despiece de la madera	32
2.5.4. Calidad de la madera.....	33
2.6. Defectos comunes en el secado de la madera.....	33
2.7. Características generales de la especie forestal <i>Schizolobium</i> <i>parahyba</i> (Vellozo) Blake var <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	34
2.7.1. Taxonomía de la especie.....	34
2.7.2. Características ecológicas	35

2.7.3. Descripción geográfica	35
2.7.4. Descripción botánica.....	36
2.7.5. Descripción de la madera	37
2.7.6. Características tecnológicas	38
2.7.7. Características de puesta en obra	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Ubicación del experimento	41
3.1.1. Lugar de ejecución.....	41
3.2. Materiales y equipos.....	42
3.2.1. Material biológico	42
3.2.2. Herramientas y equipos de campo y taller.....	43
3.2.3. Materiales y equipos de laboratorio	44
3.3. Factores en estudio	44
3.4. Metodología.....	45
3.4.1. Etapa de pre – campo.....	45
3.4.2. Etapa de campo.....	46
3.4.3. Etapa post campo	47

3.4.4. Etapa de laboratorio o estudio de las propiedades físicas de la madera	50
3.5. Análisis estadístico	53
3.5.1. Análisis de varianza	53
3.5.2. Modelo aditivo lineal	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1. Variación de la curva de secado por técnica de triángulo y caballete en los planos de corte tangencial y radial en tres niveles del fuste en <i>Schizolobium parahyba</i> (Vellozo) BLAKE var <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho	56
4.1.1. Secado natural en apilado tipo caballete	56
4.1.2. Secado natural en apilado tipo triángulo	58
4.1.3. Comparación entre secado natural en apilado tipo caballete y triángulo	59
4.2. Variación de la contracción en los cortes radial y tangencial en el proceso de secado al natural en <i>Schizolobium parahyba</i> (Vellozo) BLAKE var <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho”	62

4.3. Presencia de defectos y deformaciones en las técnicas de triángulo y caballete al secado natural en <i>Schizolobium parahyba</i> (Vellozo) BLAKE var <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho.....	68
4.4. Contenido de humedad en los cortes radial y tangencial en relación a los tres niveles de fuste en <i>Schizolobium parahyba</i> (Vellozo) BLAKE var <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho.....	75
V. CONCLUSIONES.....	79
VI. RECOMENDACIONES.....	81
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Denominación de la madera en función al contenido de humedad.....	10
2. Clasificación de la madera según la densidad básica.....	12
3. Clasificación según la relación de contracción tangencial y radial.....	17
4. Datos y coordenadas de los árboles extraídos.....	43
5. Análisis de varianza (ANVA).....	54
6. Análisis de varianza respecto a la contracción del ancho de la probeta en los diferentes niveles y tipos de corte.....	62
7. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del ancho de la probeta en los tres niveles del fuste.....	63
8. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del ancho de la probeta en los dos tipos de corte.....	64
9. Análisis de varianza respecto a la contracción del espesor de la probeta en los diferentes niveles y tipos de corte.....	65
10. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del espesor de la probeta en los tres niveles del fuste.....	66

11. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del espesor de la probeta en los dos tipos de corte.....	67
12. Defectos y deformaciones de las probetas bajo dos tipos de apilado.....	69
13. Análisis de varianza respecto a los defectos y deformaciones.....	71
14. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) para el nivel tipo de apilado respecto a los defectos y deformaciones.	72
15. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) para el nivel tipo de corte respecto a los defectos y deformaciones.	72
16. Análisis de varianza para el contenido de humedad en porcentaje por cada nivel del fuste.....	76
17. Prueba de significación de Duncan ($\alpha=0,05$) para los promedios de contenido de humedad por cada nivel de fuste.....	77
18. Evaluación de defectos en los dos tipos de apilado.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Cantidad de precipitación durante los meses de evaluación.....	42
2. Altura del árbol considerada para el estudio.	47
3. Comportamiento del secado natural en apilado tipo caballete.	57
4. Comportamiento del secado natural en apilado tipo triángulo.....	58
5. Comportamiento del secado natural en apilado tipo caballete y triángulo.....	60
6. Contracción del ancho de la probeta respecto a los niveles del fuste.	63
7. Contracción del ancho de la probeta respecto a los tipos de corte.	64
8. Contracción del espesor de la probeta respecto a los niveles del fuste.....	66
9. Contracción del espesor de la probeta respecto a los tipos de corte.	67
10. Cantidad de probetas con defectos y deformaciones bajo los dos tipos de apilado.	69
11. Contenido de humedad en porcentaje por cada nivel del fuste.....	77

12. Talado y trozado de árboles.....	98
13. Cuartones codificados para el reaserrado.....	98
14. Cepillado de probetas.	99
15. Despunte de probetas.....	99
16. Apilado tipo caballete.	100
17. Pesado de probetas para determinar la pérdida de humedad.	100
18. Probetas codificadas para determinar contenido de humedad.	101
19. Secado en estufa de probetas.....	101

RESUMEN

Con el objetivo de determinar las características del secado natural mediante técnicas de apilado en triángulo y caballete en la zona de Tingo María, Huánuco; la investigación se realizó desde enero a marzo del 2011. Se talaron 5 árboles y trozaron al nivel base, medio y ápice del fuste para los ensayos, empleando muestras de acuerdo a las especificaciones técnicas (ARÓSTEGUI, 1975 y la NTP 251.012). El diseño empleado fue en bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial. El secado en tipo caballete presentó mayor pérdida de humedad durante los ocho primeros días respecto a las probetas secadas tipo triángulo, uniformizándose luego de este periodo. La contracción en ancho de la probeta fue superior en el nivel medio del fuste 1.27%, sin significancia estadística; la contracción en corte tangencial 1.36%, y radial 0.98% presentaron significancia estadística. La contracción en el espesor de la probeta fue superior en la base 2.28% no mostrando significancia estadística, y la contracción en corte radial alcanzó un 2.52% y en la tangencial de 1.87% presentando significancia estadística. Los defectos y deformaciones fue superior en el apilado tipo caballete (B = 20.29% y C = 18.84%), siendo significativo; mientras que el corte tangencial presentó mayor defecto y deformación frente a probetas con corte radial, siendo no significativo estas cualidades ni existió interacción entre el tipo de apilado y tipo de corte. El ápice presenta un contenido de humedad de 107.5%, muy similar al nivel medio y base, con 105.6% y 103.7% respectivamente.

I. INTRODUCCIÓN

La madera por tratarse de un material higroscópico, está expuesta a los cambios dimensionales al ganar o perder agua, y para contrarrestar los cambios de dimensión en la madera, existe el secado y para combatir su falta de resistencia al ataque de numerosos enemigos. Conocer aspectos durante la fase de secado es importante ya que la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas, por tal razón, el punto de saturación de las fibras es muy significativa desde el punto de vista físico-mecánico (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

Referente a la contracción radial de la mayoría de especies, es solo un 50% del valor de la contracción tangencial, proporcionalmente como un promedio de todas las especies, la contracción en las tres direcciones principales (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (DÍAZ, 2005), la densidad básica varía ampliamente entre diferentes especies y tipos de madera (COORPORACION CHILENA DE LA MADERA, 2003).

Para obtener productos de madera con alta calidad es favorable conocer una serie de cambios que adquiere la madera durante el secado, esto es elemental para que la madera sea de calidad y presente buen estado (POMACHAGUA, 1993), el contenido de humedad de la madera influye sobre

la relación madera - volumen, es decir, es afectado el peso y las dimensiones de la madera ANANÍAS (1992).

Determinar aspectos como el comportamiento de la humedad, densidad básica y anisotropía (ARÓSTEGUI, 1982) en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho" son aspectos importantes ya que presenta limitada información que son importantes por que influye en el peso, resistencia mecánica, contracción, expansión, conductibilidad térmica, conductividad acústica, durabilidad, inflamabilidad y permeabilidad (GRIGORIEV, 1985), aspectos que están afectados por las variaciones de las condiciones climáticas (humedad relativa y temperatura), que ocasionan cambios dimensionales, causando en algunos casos tensiones muy fuertes en la parte interna de la madera, originando defectos durante el secado, tales como grietas y deformaciones (KOLLMAN, 1959).

Para la investigación se ha planteado como problemática principal respecto al limitado conocimiento sobre el comportamiento del secado natural bajo dos técnicas de apilado de la especie *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* Huber ex Duke, siendo la interrogante planteada ¿Tendrá buenas características en el secado natural bajo dos técnicas de apilado el *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* Huber ex Duke?

Se ha determinado la hipótesis nula respecto a la especie *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* Huber ex Duke, al confirmar de que

presenta buenas características en el secado natural bajo dos técnicas de apilado, de los cuales se pueden obtener productos estables dimensionalmente y referente a este contexto los objetivos planteados fueron los siguientes:

- Determinar la variación de la curva en secado por técnica de apilado en triángulo y caballete en los planos de corte tangencial y radial en tres niveles del fuste en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho".
- Calcular la variación de la contracción en los cortes radial y tangencial en el proceso de secado al natural en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho".
- Determinar la presencia de defectos y deformaciones en las técnicas de triángulo y caballete para *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho".
- Determinar el contenido de humedad en los cortes radial y tangencial en relación a los tres niveles de fuste en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho".

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La madera

La madera puede definirse como el conjunto de tejidos de xilema que forman el tronco, raíces y ramas de los vegetales leñosos (GUTIERREZ, 1990).

La madera es una sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los árboles; se ha utilizado durante miles de años como combustible, materia prima para la fabricación de papel, mobiliario, construcción de viviendas y una gran variedad de utensilios para diversos usos. Este noble material, fabricado por la naturaleza con un elevado grado de especialización, debe sus atributos a la complejidad de su estructura.

Está atravesado por una red de células longitudinales (desde las raíces a la copa) y transversales (desde la médula a la corteza) de distintas características, que dan forma a sus tres componentes químicos básicos: celulosa, hemicelulosa y lignina, más otros compuestos secundarios como taninos, gomas, aceites, colorantes y resinas.

La madera contiene pequeños tubos que transportan agua desde las raíces a las hojas; estos vasos conductores están dispuestos verticalmente

en el tronco y son los que forman su veta. El tronco de un árbol no crece hacia lo alto (excepto en su parte superior), sino a lo ancho, y la única sustancia del tronco destinada a su crecimiento es una fina capa situada entre la corteza y la madera, llamada cámbium; a través del cámbium circula la savia cruda y produce el tejido fibroso externo.

Las maderas se clasifican en duras y blandas, según el árbol del que se obtienen. La madera de los árboles de hoja caduca (caducifolios) es madera dura, en tanto la de las coníferas está clasificada como blanda (MATTE, 2011).

2.2. Propiedades físicas de la madera

2.2.1. Higroscopicidad

La madera es un material higroscópico (tiene apetencia por el agua) y va perdiendo o ganando agua en función de la temperatura y humedad relativa del ambiente en que se encuentre, hasta que alcanza una situación de equilibrio en su entorno (SOLANO, 1998).

2.2.2. Contenido de humedad (CH)

CUEVAS (2003) afirma que en un árbol recién cortado, su madera contiene una importante cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas livianas por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de

agua que las pesadas. De igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. Esto indica que el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo. El peso anhidro es el peso que se obtiene cuando se coloca la madera en una estufa a 100 ó 102 °C, hasta que se obtiene un peso constante. Cuando el CH es modificado, existirán variaciones dimensionales, las que se ven incrementadas mientras mayor sea la densidad de la madera. El CH influye en la capacidad mecánica, es decir a menor CH bajo el punto de saturación de las fibras (PSF, que corresponde a la eliminación total del agua libre del interior de las células y las paredes celulares permanecen saturadas, 28 – 30% de CH), en general aumenta la capacidad mecánica, es decir se incrementa la resistencia de la madera, y a partir del PSF, un aumento en el CH no tendrá ninguna incidencia sobre la resistencia de la madera.

Los modelos existentes para determinar el CH son los métodos de pesada, destilación y el empleo de medidores eléctricos. El método de secado en estufa o pesada, es el más exacto y confiable, excepto cuando se emplea algunas maderas que contienen un porcentaje de sustancias volátiles, ya que en este caso se debe utilizar otro proceso. Este método tiene desventajas, puesto que es destructivo, teniendo que cortar la madera que se desea estudiar y la obtención de resultados no es inmediata, porque el tiempo mínimo requerido dependerá de la evaporación total de humedad de la madera (DÍAZ, 2005).

GRIGORIEV (1985), manifiesta que el CH tiene importancia en la utilización de la madera, ya que influye en el peso, resistencia mecánica, contracción y expansión, conductibilidad térmica y acústica, durabilidad, inflamabilidad y permeabilidad. La madera está constituida por los elementos anatómicos, cuyas paredes están formadas por un material absorbente, contiene agua bajo tres formas: como agua libre llenando la cavidad celular; como agua higroscópica, infiltrada en las paredes celulares y como agua de constitución, formando parte integral de la estructura molecular. El estado de la madera cuando se ha evaporado toda el agua libre y comienza a perder el agua higroscópica, se conoce como el punto de saturación de las fibras. El contenido de humedad de la madera por debajo de este estado influye en forma significativa en las propiedades físicas y mecánicas. La determinación del contenido de humedad en la madera se hace teniendo en cuenta sólo los valores del agua libre y de saturación, es decir que comercialmente la madera estará seca o anhidra al 6% de humedad, que es el valor del agua de constitución química.

Según HERMINIO (2003), el agua en la madera es una de los factores más importantes en la industrialización de ésta, ya que afecta básicamente a la mayoría de los procesos de transformación. Es por esto, que es necesario mantener una diferencia de contenido de humedad homogéneo entre las capas internas de la madera y superficie de la misma. Si en la madera no ocurre esto, se originan en la superficie de la madera tensiones de compresión y en las capas internas de la madera tensiones de tracción. Esta diferencia de humedad entre las capas internas y externas de la madera, es

originada por una ejecución de un ciclo de secado en forma rápida. El resultado que trae esto, se pone de manifiesto, cuando una pieza de madera es reaserrada o cepillada, produciéndose en el momento de corte, la deformación de las piezas resultantes. Es importante también, cumplir con los contenidos de humedad finales debido al uso que tendrá la madera, en su lugar de servicio. Y además, por el peligro que trae transportar la madera con un alto contenido de humedad, ya que se corre el riesgo de que se desarrolle algún tipo de microorganismo destructor de la madera.

El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas (agua libre, agua de saturación y agua de constitución), tal como se describe a continuación.

2.2.2.1. Agua libre o capilar

Es la parte del agua presente en la madera que se encuentra relleno el interior de los lúmenes celulares. Su presencia se da cuando el CH es superior al 30%. Es la que da a la madera su condición de “verde” y es la que ocupa las cavidades celulares.

La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se va perdiendo por evaporación. Este proceso se produce fácilmente, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. Al llegar a este punto, la madera estará en

lo que se denomina “punto de saturación de las fibras”, que corresponde a un contenido de humedad variable entre el 21 y 32%.

Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas de agua y sus cavidades vacías. Durante esta fase de secado, la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, el punto de saturación de las fibras es muy importante desde el punto de vista físico-mecánico (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

2.2.2.2. Agua ligada o de impregnación

Es el agua que impregna las paredes celulares, relleno los espacios microscópicos y submicroscópicos de la pared celular (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

2.2.2.3. Agua de constitución química

Forma parte de la materia orgánica, no puede eliminarse por el secado y su separación de la madera implica la destrucción, lo que se consigue por el fuego (GONZALES, 1996).

La madera recién aserrada contiene cantidades variables de agua, que depende de la época de corta, la región de procedencia, la especie forestal, la edad del árbol, entre otros factores. En general, las maderas livianas contienen mayor cantidad de agua que las maderas pesadas. La albura,

formada por células cuya principal función es la conducción de sustancias nutritivas en solución acuosa, presenta un contenido de humedad mayor que el duramen, tejido compuesto por células con acumulación de sustancias infiltradas en las cavidades celulares (JUNAC, 1984).

Cuadro 1. Denominación de la madera en función al contenido de humedad.

Denominación del estado de la madera	Nivel de humedad (%)	Lugar de ubicación
Madera verde	80 a 200	Bajo cubierta en el bosque
Madera húmeda	25 a 80	Recién cortada, en patio de trozas
Madera poco seca	20 a 25	Aire libre
Madera seca al aire	15 a 20	Bajo techo
Madera muy seca	8 a 15	Interiores
Madera anhidra	0	En laboratorio

Fuente: GRIGORIEV (1985).

En las especies frondosas la humedad de la albura no varía y la humedad del duramen disminuye por el tronco hacia arriba. En los árboles jóvenes la humedad es más alta y sus variaciones durante el año son mayores que en los árboles viejos. El contenido de agua en el árbol varía según la altura y el radio del tronco, así como de la temporada del año (KOLLMANN, 1970).

2.2.3. Densidad

Es la relación entre la masa (m) de una pieza de madera con su volumen (v) y se la expresa en gramos por centímetro cúbico.

ANANÍAS (1992) describe que la densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Como la madera es un material poroso, debe considerarse al referirse a la densidad de la madera el volumen interno de espacios vacíos existentes. El contenido de humedad de la madera influye sobre la relación madera - volumen, es decir, es afectado el peso y las dimensiones de la madera. Por ello, se conocen distintos tipos de densidad, entre ellas destacan la densidad básica y la densidad de referencia. Además la densidad de la madera es un criterio usado para estimar las características de resistencia mecánica de la madera satisfactoriamente. Se emplea también como elemento de juicio para estimar la cantidad de material leñoso de una especie. Se puede usar como estimador de la facilidad con que se deja trabajar la madera (cortar, cepillar, moldurar, etc.). Normalmente las maderas de mayor densidad presentan una mejor resistencia mecánica y una mayor cantidad de material leñoso, pero se dejan trabajar y tratar con mayor dificultad.

2.2.3.1. Densidad básica de la madera

Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%. La densidad de un cuerpo es el coeficiente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera. La densidad varia

ampliamente entre diferentes especies y tipos de madera (COORPORACION CHILENA DE LA MADERA, 2003).

Cuando la madera está seca, su densidad indica la cantidad aproximada de espacios libres (cavidades celulares) disponibles para contener líquidos, en consecuencia, cuando mayor es la amplitud de estas cavidades celulares (lúmenes) menor será su densidad y mayor la absorción que pueda lograrse en la madera (ARÓSTEGUI, 1982).

Cuadro 2. Clasificación de la madera según la densidad básica.

GRUPO	RANGO	CLASIFICACIÓN
I	Menos de 0,30	Muy baja (MB)
II	De 0,31 a 0,40	Baja (B)
III	De 0,41 a 0,60	Media (M)
IV	De 0,61 a 0,80	Alta (A)
V	Más de 0,81	Muy alta (MA)

Fuente: VIZCARRA (1998).

Grupo IV: Las características tecnológicas mas importantes en las maderas de este grupo son: textura fina, propiedades de contracción de regular a mala, resistencia mecánica alta, especialmente flexión estática, compresión, cizallamiento y dureza. Durabilidad natural de regular a buena. Debido a sus propiedades señaladas, las maderas de este grupo son apropiadas para la

construcción de estructuras (vigas y columnas), recubrimiento de exteriores, pisos y parquet.

2.2.3.2. Contenido de humedad en base seca

Es la cantidad de agua presente en la madera; se expresa como porcentaje del peso de la madera seca o anhidra y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$CH (\%) = \left(\frac{P_i - P_o}{P_o} \right) \times 100$$

Donde:

CH= contenido de humedad (%)

Pi= peso inicial (g)

Po= peso en estado Anhidro (g)

2.2.3.3. Medición del contenido de humedad

En la práctica, la cantidad de agua existente en la madera se determina según el método principal por diferencias de pesos.

2.2.4. Contracción de la madera

Es la disminución o pérdida de volumen de la madera, bajo el PSF y se expresa como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde.

Además, es una de las características más indeseables de la madera y es la responsable en gran medida, de los inconvenientes y dificultades que se encuentran con ella en la construcción (PÉREZ, 1983). Ésta se produce, como consecuencia del adelgazamiento de las paredes celulares al perder masa la celulosa amorfa y aproximarse unas a otras microfibrillas. La contracción es proporcional al descenso del CH bajo el PSF (CUEVAS, 2003).

La madera contiene una cierta cantidad de agua depositada en los lúmenes celulares y en las paredes celulares de las fibras. Normalmente cuando la madera intercambia humedad de la pared celular, a consecuencia de esto, se produce variaciones en las dimensiones de la madera, las que son conocidas como contracción o hinchamiento (ANANIAS, 1987).

Son los cambios dimensionales que experimenta la madera en el sentido radial, tangencial y axial, como resultado del cambio de humedad. La madera como material higroscópico absorbe o cede agua según el medio que lo rodea y siempre trata de ponerse en equilibrio con la humedad del ambiente. El secado depende de la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Al secarse por debajo del 30% de contenido de humedad se nota la contracción de la madera debido a su estructura anatómica. La madera es un material anisotrópico y se contrae en diferentes formas según las orientaciones dentro del árbol. La adición de agua u otros líquidos polares en la sustancia de la pared celular causa que las microfibrillas se expandan en proporción a la cantidad de líquido que se añade. Esto continúa hasta que alcance el punto de saturación de la fibra. La eliminación de humedad en la pared celular por

debajo del punto de saturación de la fibra causa la contracción de la pared celular (SOLANO, 1998).

La causa de los cambios dimensionales se debe a la pérdida o ganancia del agua higroscópica entre la estructura celulósica de la pared celular, se puede considerar que las maderas con mayor densidad contiene más agua higroscópica que las de menor densidad y por eso las de mayor densidad tienen mayor contracción que las de menor densidad. Cuanto mayor es la diferencia en la contracción radial y tangencial, significa que la distorsión será mayor en el secado eventualmente, la madera llega a estabilizar sus dimensiones con un equilibrio de 12% de contenido de humedad. La contracción tangencial es mayor que la contracción radial, una de las razones, es el efecto restrictivo de las células horizontales de los rayos medulares. Cabe resaltar que en la mayoría de las especies la contracción radial es sólo un 50% del valor de la contracción tangencial. Proporcionalmente como un promedio de todas las especies, la contracción en las tres direcciones principales (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (DÍAZ, 2005).

La contracción de la madera es proporcional a la pérdida de humedad por debajo del PSF y por cada 1% de pérdida de humedad, la madera se contrae aproximadamente en 1/30. De modo que una madera seca al 15% de humedad (seca al aire) ha alcanzado la mitad de la contracción posible y cuando se seque al horno hasta el 6% o peso seco constante, llegara a 4/5 partes de la contracción total posible (GONZÁLEZ, 1996).

KOLLMANN (1959) señala que la variación y expansión de la madera son los cambios dimensionales, tanto en el sentido radial, tangencial y longitudinal, que sufre la madera como consecuencia de la variación de su contenido de humedad, por debajo del PSF. La relación de la contracción tangencial y radial es un índice de la estabilidad de la madera. Cuando la relación (T/R) se acerca a uno, la madera es más estable y tiene buen comportamiento al secado.

Existe además, una relación entre los coeficientes de contracción en dirección tangencial y radial (R_{vr}). Cuanto más coincidentes sean las contracciones radial y tangencial, menos tensiones se producen en la madera y más estabilidad tendrá. Por lo que, maderas con relación entre coeficientes $R_{vr} > 2$ presentan elevada tendencia a deformación, siendo problemática su utilización en muebles y carpintería (VIGNOTE, 2000).

ANANÍAS (1992) manifiesta que los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales. La contracción tangencial es 1,5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera. Las diferencias entre contracción tangencial y radial son debidas por una parte al potencial favorecimiento de la contracción en el sentido tangencial que hacen las bandas de madera de verano, particularmente en coníferas, y por otra a la restricción a los cambios dimensionales que ejercen los radios leñosos en la dirección radial de la madera. La limitada contracción longitudinal es debida a la orientación

longitudinal de los principales tejidos constituyentes de la madera. Ciertos defectos que ocurren durante el secado de la madera son ocasionados por las diferencias de contracción tangencial y radial, particularmente el defecto denominado acanaladura. Mientras mayor es la relación Ctg/Crd las maderas son más acanaladas. Igualmente la contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados encorvadura y arqueadura.

Cuadro 3. Clasificación según la relación de contracción tangencial y radial.

Grupo	Rango (T/R)	Clasificación	Estabilidad
1	Menor de 1,5	Muy Baja (MB)	Muy estable (MED)
2	De 1,51 a 2,0	Baja (B)	Estable (E)
3	De 2,0 a 2,5	Mediana (M)	Mod. Estable (M)
4	De 2,5 a 3,0	Alta (A)	Inestable (I)
5	5 Mayor de 3,1	Muy Alta (MA)	Muy Inestable(MI)

Fuente: VIZCARRA (1998).

HERMINIO (2003) describe que la contracción normal es la disminución de dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de las fibras, expresada como porcentaje de la dimensión de la madera al estado verde. Las contracciones de la madera pueden suceder sobre el punto de saturación de las fibras cuando están referidas al colapso. Sin embargo, su evidencia principal se da cuando el contenido de humedad está bajo el punto de saturación de las fibras. Se puede observar una deformación armónica, es decir, paralela a las caras de la pieza en secado y

que permite al final del proceso, obtener piezas contraídas pero sin alteraciones o desclasificaciones. En tanto, por defecto del corte de la madera o por tensiones de crecimiento, se puede tener madera que durante el secado evidencian deformaciones anormales sobre y bajo el punto de saturación de las fibras.

La contracción corrientemente se estudia en tres modalidades: radial, tangencial y volumétrica; la relación tangencial-radial permite predecir si la madera sufrirá agrietamientos, torceduras u otros defectos durante el secado (JUNAC, 1984).

La magnitud de la contracción varía según las características de la especie, las secciones y la orientación anatómica del corte. Se expresa como porcentaje de la dimensión original de la pieza de madera. Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$C (\%) = \left(\frac{Dv - Do}{Dv} \right) \times 100$$

Donde:

C= contracción

Dv= dimensión en verde

Do= dimensión final a determinado contenido de humedad.

2.2.5. Variación de las propiedades físicas

Para KOLLMAN (1959), la madera es un material anisotrópico, pues la magnitud de una propiedad física o mecánica varía en la dimensión en que se mida. Se explica por las características anatómicas, fundamentalmente por la distribución de las microfibrillas en la pared secundaria y la orientación de los radios. Así mismo, SIAU (1984) y HAYGREEN (1982), nos dicen que es de naturaleza higroscópica, fundamentalmente por que en su composición química presenta los grupos hidroxilo, ambas características se manifiestan con variaciones en la humedad, determinada por la humedad relativa y temperatura.

Para ARROYO (1983), la organización estructural de la madera va a determinar las características de la madera y afectar las propiedades físicas es así que:

- La cantidad de sustancias que contiene la pared celular, es cuantificada mediante el peso específico o densidad de la madera.
- La cantidad de agua presente en la pared celular. Afecta profundamente el comportamiento físico de la madera, no sólo por que la adición de agua en la pared celular cambia su densidad y dimensiones, sino también por su efecto sobre la plasticidad y transferencia de energía dentro de la pieza de madera.
- La proporción de los componentes primarios en la pared celular y a la cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas. Es responsable de las

desviaciones o variabilidades que presenta en su comportamiento cuantitativo.

- El arreglo y orientación de los materiales que forman las paredes celulares así como los tejidos, lo que es causa principal de la anisotropía de la madera.
- El tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que forman el tejido maderable.

Para HAYGREEN y BOWYER (1982), la variación de densidades entre plantaciones de pino es atribuible más a la edad que a la velocidad de crecimiento y especifican que para maderas latifoliadas esta tendencia se presenta con un aumento rápido de la densidad a través del periodo juvenil y luego se incrementa lenta y constante hasta su madurez.

TUSSET (1979) añade que es sin duda, la propiedad que más influencia tiene sobre todas las demás propiedades. Lo que KOLLMAN (1959) y DANJOY (1972) reafirman, especificando que el conocimiento del contenido de humedad es importante para su utilización de la madera ya que influye en el peso y afecta a otras propiedades como la resistencia, contracción, durabilidad, conductividad de calor, conductividad eléctrica, permeabilidad, así como también en el preservado o resistencia al ataque de hongos e insectos.

FACHIN (1986) menciona que, bajo ciertas consideraciones se entiende que a mayor contenido de humedad en el árbol, la madera que lo constituye posee las células con un lumen más amplio y paredes delgadas,

como consecuencia determina una densidad básica menor o viceversa. Dándose en este caso la contracción volumétrica o los cambios dimensionales en mayor porcentaje en maderas con células de paredes delgadas o gruesas, contradiciéndose en algunos casos a causa por ejemplo de la formación de duramen producido por el almacenamiento de resinas, taninos y materiales colorantes en los espacios intercelulares lo que reduce el material higroscópico de la madera.

NTP (1971) dice en relación a la densidad que es la razón entre el peso y el volumen de la madera a un determinado contenido de humedad, lo que se interpreta como un reflejo del volumen proporcional de la madera que es ocupado por la sustancia celular y con esto establece que la presencia de extractivos pueden dar una ficticia densidad y llegar a resultados erróneos.

ARÓSTEGUI (1982) menciona que se debe tener en cuenta que en el momento de comparar pesos específicos se debe hacer que las muestras tengan el mismo contenido de humedad, KOLLMAN (1959), agrega que para eso se ha establecido como puntos de comparación los valores fijos de 0% y 12% de humedad con la finalidad de obtener mejores comparaciones.

DANJOY (1972) especifica que estas deformaciones no presentan la misma magnitud en las tres dimensiones, por ser la madera un material anisotrópico. KOLLMAN (1959), al respecto dice que en la dirección axial o longitudinal la contracción es mínima, mientras que en la dirección tangencial se da la mayor variación y menor en la radial, la suma de los valores cuánticos

de estas tres contracciones nos da el valor numérico de la contracción volumétrica. TUSSET (1979), agrega que las contracciones se presentan por debajo del punto de saturación de las fibras, por la pérdida de agua higroscópica.

En este sentido la humedad y la anisotropía para ARÓSTEGUI (1982), son los factores más importantes, los cuales también están afectados por las variaciones de las condiciones climáticas (humedad relativa y temperatura), lo que para KOLLMAN (1959), dan origen a los cambios dimensionales, causando en algunos casos tensiones muy fuertes en la parte interna de la madera, originando defectos durante el secado, tales como grietas y deformaciones. Para determinar en cierta manera el comportamiento de los cambios, existe un índice de estabilidad de la madera el que está dado por la relación entre la contracción tangencial y radial (T/R).

2.3. El agua de la madera

Según POMACHAGUA (1993) la madera está constituida por:

2.3.1. Agua libre

Se encuentra ocupando las cavidades celulares (lumen) de los elementos vasculares, limitada por el volumen del poro.

La pérdida de esta agua se realiza por evaporación ya que se encuentra retenida por fuerzas capilares muy débiles, la madera no experimenta cambios dimensionales aunque el peso disminuye.

2.3.1.1. Punto de saturación de las fibras (PSF)

Se considera como valor teórico una humedad del 30%. En esta condición las paredes celulares están completamente saturadas, pero sus cavidades vacías.

2.3.2. Agua higroscópica

Se halla contenida en las paredes celulares. Su eliminación ocurre con mayor lentitud.

2.3.2.1. Equilibrio higroscópico (CHE)

Es el estado de equilibrio de la madera con el medio ambiente que la rodea. Se localiza en el rango de 12% y 18%.

2.3.3. Agua de constitución

Forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada. Se pierde por combustión.

Por lo anterior, puede afirmarse que existen dos etapas bien definidas en el proceso de secado: La eliminación del agua libre hasta el Punto

de Saturación de la Fibra, y la eliminación del agua de impregnación hasta el 7 por ciento máximo, contenido de humedad, ideal para el uso de madera en muebles de gran calidad (POMACHAGUA, 1993).

2.4. Secado de la madera

Es el proceso de eliminar el exceso de agua de la madera para facilitar su posterior procesamiento y regularidad. Pero el concepto de secado va más allá de una simple definición, abarca el conocimiento de la materia prima, de su comportamiento y de los equipos utilizados para un adelantar un procesamiento óptimo.

Según POMACHAGUA (1993), el secado es un proceso gradual de pérdida de agua debido al incremento de la temperatura que experimenta la madera como consecuencia del calor. Este proceso ocurre por evaporación, que es la acción del calor que evapora fácilmente el agua en la madera, por capilaridad, cuando las paredes celulares atrae el agua y la hacen subir hasta el perímetro del poro y salir de la madera, y por difusión, que es el proceso lento de pérdida de agua.

Señala también que en el secado se necesita el calor para evaporar el agua de la madera y estos requerimientos energéticos van en aumento a medida que progresa el secado. El aire en contacto con la madera está en movimiento para transportar tanto calor como la humedad extraída.

ARÓSTEGUI (1974), menciona que el proceso de secado se basa en aprovechar la capacidad de la madera para intercambiar humedad con el ambiente en que se ubique. En el secado en cámara, la madera se somete artificialmente a condiciones más severas, forzando ese intercambio de humedad.

ANANÍAS (2005) manifiesta que; la velocidad del secado de la madera puede ser representada por las variaciones temporales de la humedad de la madera. Teóricamente la velocidad del secado presenta una etapa constante al inicio, hasta el contenido de humedad crítico (CHC), luego es decreciente hasta el contenido de humedad de equilibrio (CHE).

2.4.1. Secado al natural o aire libre

Consiste en estacionar madera verde en un lugar abierto un determinado periodo de tiempo, durante el cual la madera entrega humedad a la atmósfera y tiende a llegar al punto de equilibrio higroscópico con el ambiente.

El secado al natural es la forma más sencilla y en muchos casos la más barata entre los métodos de secado. Algunas veces, el objetivo es bajar el contenido de humedad de la madera a su nivel de equilibrio con las condiciones climáticas. Otras, es secar la madera lo suficiente como para permitir un transporte más económico, o como presecado para posteriores procesos de secado. En todos los casos, la intención es secar la madera aserrada en el tiempo más breve posible y con el mínimo deterioro. Los

principales factores que influyen en un buen secado al natural son: Contar con un lugar adecuado (patio o pampa) para exponer la madera al natural y el apilado debe ser efectuado de tal modo que el aire circule alrededor de cada una de las piezas de madera. El mejor método de apilar o encastillar madera para un secado rápido, con el mínimo de agrietamiento y torcimiento, es el apilado plano. Sin embargo, se pueden apilar en forma más sencilla por el método “en caballete o V invertida”, “apilado en pie” y “apilado en triángulo o rectángulo” (ANANÍAS, 2005).

2.4.2. Apilado de madera aserrada en secado natural

La madera aserrada puede ser apilada en diferentes formas, como:

2.4.2.1. Apilado en triángulo

Se utiliza especialmente para tablonés y no requiere de viguetas o separadores para permitir la circulación del aire ya que es el espacio se logra a través del entrecruzamiento de los extremos de las tablas. Es conveniente protegerlos de la lluvia y de la incidencia directa del sol a través de una cubierta o techo (ANANÍAS, 2005).

2.4.2.2. Apilado en caballete

Utilizado en especies que tienen alto contenido de humedad inicial y que no son susceptibles a sufrir deformaciones inmediatamente después del aserrado. Las piezas de madera se colocan de canto sobre un travesaño o

caballete y se apoya sobre uno de los extremos, permitiendo una velocidad de secado rápida en la parte superior de las viguetas (ANANÍAS, 2005).

2.4.3. Consideraciones en las técnicas de secado natural

Durante el secado natural es conveniente tener en cuenta los siguientes aspectos a fin de contrarrestar los agentes biodegradantes como insectos, hongos, sol, la lluvia entre otros que son agresivos, y la posible formación de grietas, rajaduras y deformaciones. Aplicar, por aspersion o inmersión, sustancias inmunizantes (insecticidas y fungicidas) para evitar el ataque de hongos e insectos.

2.4.4. Importancia del techado de los apilados

Es necesario en casi todos los casos, techar las pilas de madera, para no retrasar el secado y evitar la pérdida de madera por desclasificación. Para mejor la eficacia, el techo debe sobresalir en los costados y extremos de las pilas. El techo debe sobresalir unos 30 cm en el frente, unos 80 cm en la parte posterior y unos 20 cm por los costados. El techo debe seguir un declive que permita el fácil escurrimiento del agua hacia su parte posterior (pendiente de 10 -25%).

2.4.5. Influencia en la madera de los factores internos y externos

PANSHIN y DE ZEEUW (1980), han podido establecer que la variabilidad de la madera está influenciada por diversos factores internos tales

como, cambios en el cambium con respecto a la edad, herencia genética que influye en la forma y crecimiento de los árboles. TUSSET (1979) agrega que también hay otros factores como los climáticos, edafológicos y condiciones silviculturales para el crecimiento a los que denomina externos.

HAYGREEN y BOWYER (1982) señalan que durante la formación de la madera numerosos factores dentro y fuera del árbol, nos llevan a la variación en tipo, número, forma, estructura física y composición química de los componentes de la madera. Además añaden que esto conlleva al tema de la calidad de la madera, al que define como una medida de las características de la madera que influyen las propiedades de los productos elaborados a partir de ella. BRAVO (1993) agrega que la calidad de la madera debe incluirse al establecer la aptitud de uso de la madera.

FACHIN (1986) indica que las tendencias hereditarias y los factores ambientales como suelo, precipitación, viento, luz, afectan la estructura de la madera y por lo tanto las propiedades físico-mecánicas, lo que estableció en base a la investigación de la variación del peso específico de la madera observando que se debe a diferencias en su estructura y a la presencia de constituyentes extraños.

En cuanto al factor interno herencia genética, ARROYO (1983) menciona que todavía no se ha establecido el efecto que produce en la variabilidad de las propiedades de la madera. La variabilidad como resultante de factores externos o condiciones de crecimiento ha sido investigada pero aun

no se ha llegado a conclusiones uniformes en cuanto a que propiedades son las más afectadas o cual de los factores es el que más influye, pero puede decir que en cuanto a tratamientos silviculturales, este ha demostrado tener mayor efecto sobre algunas propiedades de la madera, mediante la manipulación del distanciamiento de plantación e incidencia de luz, estimulación del crecimiento con fertilizantes, disponibilidad de agua y ubicación geográfica.

CASTRO (1972) menciona, que el factor externo suelo, ejerce gran influencia en el desarrollo del árbol y esto se ve reflejado en la calidad de la madera; es así cuando el terreno es húmedo la fibra resulta ligera y esponjosa siendo el exceso de agua el que impide que la savia se concentre y forme un tejido compacto, en cambio los arboles de maderas duras se desarrollan en terrenos secos y arcillosos.

2.4.6. Factores que inciden en el secado de la madera

Se consideran tres factores principales, las cuales son:

2.4.6.1. Influencia de la estructura anatómica

Considerando que las células son alargadas y en su mayoría dispuestas en el sentido paralelo al eje del árbol, comunicadas entre si por punteaduras y perforaciones se deduce que el movimiento del agua dentro de la madera y de allí a la superficie se efectúa con mayor facilidad en dirección longitudinal. Teniendo en cuenta los tres diferentes planos, determinados por el

eje del árbol, los radios leñosos y los anillos de crecimiento, se ha establecido que la madera en el sentido longitudinal se seca en promedio tres veces más rápido que en el sentido radial y dos veces más que en el sentido tangencial. El tamaño de las células, los contenidos que posean y la proporción de cada una de ellas en el leño tienen también influencia en el secado.

2.4.6.2. La higroscopicidad

La higroscopicidad, es la característica que tienen los cuerpos porosos, entre ellos la madera de perder o ganar humedad de acuerdo al medio ambiente donde se encuentra. Esta propiedad tiene gran influencia en el secado ya que mediante ella se logra que la madera pierda humedad, cambiando las condiciones climáticas del sitio donde se encuentre, (horno de secado). En un clima cualquiera la madera adquiere un contenido de humedad determinado que se conoce como CHE.

2.4.6.3. La anisotropía

La anisotropía es la característica que hace que la madera al perder humedad varíe sus dimensiones en diferentes proporciones en cada una de las tres direcciones (longitudinales, tangencial y radial). Esta propiedad tiene que ver con los defectos que se presentan en la madera durante el proceso de secado, ya que la mayoría de ellos son producidos por efectos de las contracciones o disminuciones de dimensiones diferentes de cada uno de los tres planos y se presentan después que la madera ha perdido el agua libre y empieza a perder el agua fija.

La contracción tangencial es mayor que la radial y esta mayor que la longitudinal pudiendo decirse que la tangencial fluctúa entre 3.5% a 15%, la radial varía entre 2.4% a 11% y la longitudinal varía entre 0.1% a 0.9%.

La relación entre la contracción tangencial y la contracción radial es el coeficiente de estabilidad dimensional (CED). Si esta relación fuera igual a 1 las deformaciones por efectos del secado serían despreciables, pero lo normal es que ese coeficiente sea mayor de 1.5, entonces la disminución desigual de dimensiones tiende a producir deformaciones que en muchos casos aumentan las pérdidas de madera durante el proceso de secado. El valor del CED incide directamente sobre la duración del secado porque no se podrá aplicar un secado forzado a una especie que tenga un alto CED.

La contracción volumétrica tiene mucha influencia durante el proceso de secado ya que si la disminución de volumen supera la resistencia de cohesión entre las células, se presentan grietas, rajaduras y deformaciones si el secado es muy rápido.

2.5. Consideraciones previas en el secado de la madera

PÉREZ (1983) pone en manifiesto que en todo proceso industrial se busca la rentabilidad y la eficacia de las operaciones realizadas, para lo cual es necesaria una homogeneidad en las condiciones de partida.

Los parámetros que nos permiten homogeneizar las partidas de madera adecuando y optimizando las condiciones de secado más favorables

en cada caso son: la especie, el contenido de humedad, las dimensiones y la calidad de la madera a secar.

2.5.1. Contenido de humedad

POMACHAGUA (1993) señala que la madera como material higroscópico absorbe y cede humedad según el medio ambiente que lo rodea, variando su peso.

El contenido de agua o contenido de humedad puede definirse como la masa de agua contenida en una pieza de madera expresada como porcentaje de la masa de la pieza en estado anhidro (ANANIAS, 2000).

2.5.2. Espesor de la madera

Según LA UNIVERSIDAD DEL TOLIMA (2003), la velocidad de secado es mayormente afectada por el espesor de la madera aserrada, de manera que es imperativo clasificar las piezas según su espesor. Además, no es conveniente mezclar diferentes espesores en el mismo piso, puesto que aquellas tablas más delgadas se deformarán por falta de restricción mecánica.

2.5.3. Despiece de la madera

PEDRAS (1997.) sostiene que; en general, las tablas aserradas de forma tangencial presentan una velocidad de secado mayor que las piezas obtenidas en dirección radial. Un despiece radial, presenta un comportamiento más estable que un despiece tangencial, con un mayor riesgo de sufrir

deformaciones y curvaturas de cara. Las tablas radiales son más propensas a la presencia de colapsos y curvaturas de canto.

2.5.4. Calidad de la madera

PEDRAS (1997) indica que, la presencia de nudos, fibra desviada, tensiones de crecimiento, madera juvenil, etc. favorece que durante el proceso de secado se produzcan fendas y deformaciones. Dado el coste económico y las incidencias que estos defectos provocan, es recomendable restringir la entrada de este material realizando una clasificación previa por calidades.

2.6. Defectos comunes en el secado de la madera

LOWE'S (2000) menciona que los defectos más comunes en el secado natural de madera son:

- El alabeado, que es una comba de la cara del tablero en sentido longitudinal.
- El abarquillamiento, que es la concavidad de la cara del tablero en sentido transversal.
- El arqueamiento, con una comba del canto, conocido también como corona.
- El nudo o agujero de nudo, con un nudo apretado, por regla general, no es problemático. Un nudo suelto o muerto, rodeado de un anillo oscuro, puede desprenderse o puede haber dejado ya un agujero.

- La hendidura, que es una grieta que atraviesa toda la pieza de madera, generalmente en los extremos.
- El retorcimiento, es cuando el tablero está combado por muchos lugares.
- La grieta en cabecera, conformada por una grieta paralela a los anillos de crecimiento anuales que no atraviesa toda la madera.
- La rajadura, conformada por la separación de las fibras entre los anillos de crecimiento, que frecuentemente se extiende a lo largo de la cara del tablero y a veces por debajo de su superficie.

2.7. Características generales de la especie forestal *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby

2.7.1. Taxonomía de la especie

Familia : CAESALPINIACEAE

Sub familia : LEGUMINOSAE

Género : *Schizolobium*

Espécie : *amazonicum*

Nombre científico : *Schizolobium parahyba* (Vellozo)
Blake var *amazonicum* (Huber ex
Ducke) Barneby

Nombre vulgar : Pino chuncho

2.7.2. Características ecológicas

El pino chuncho es una especie estrictamente heliófita, de crecimiento acelerado y muy común en bosques secundarios establecidos en áreas que han sufrido grandes disturbios, como los producidos por los incendios y la agricultura migratoria. En áreas sujetas a aprovechamiento forestal, también es muy frecuente encontrar regeneración natural de esta especie (por ejemplo en caminos, rodeos o patios de acopio). El pino chuncho es una especie heliófita tardía, pionera que, en circunstancias poco frecuentes, puede encontrarse en bosques relativamente maduros, ya que es probable que su vida no exceda los 60 años (MARTÍNEZ - RAMOS, 1985).

Esta especie generalmente se encuentra en los estratos más altos de los bosques secundarios, ya que no tolera la falta de luz directa. Por lo tanto, se considera que *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby es una de las especies arbóreas nativas de crecimiento más rápido en los bosques neo tropicales (LORENZI, 1992).

2.7.3. Descripción geográfica

Schizolobium es un género restringido al neo trópico, que abarca desde el sur de México hasta el sureste del Brasil (en los estados de Río Grande do Sul y Paraná). En Bolivia, *Schizolobium* tiene una amplia distribución geográfica, que se extiende desde el norte del país hasta la zona centro-oriental de éste y comprende las áreas húmedas de las tierras bajas de

los departamentos de Pando, Beni, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz (PARROTA *et al.*, 1995).

Schizolobium parahyba var amazonicum es una especie de amplia distribución geográfica, por lo que recibe varios nombres comunes, de acuerdo a la zona, región o país donde se encuentre en el Ecuador y Perú es conocido con el nombre de pashaco y pino chuncho. En Colombia y en gran parte de Centroamérica se le denomina tambor y zorra. En Brasil recibe los nombres de parica o paricá grande, pinho ciabano, guapuruvú, faveira branca, bacurubú, pinho, pau de ventém y ficheiro. En México se le conoce como judío. En el comercio internacional es conocido como quamwood, guapuruvú pashaco.

2.7.4. Descripción botánica

2.7.4.1. Forma del tronco y la copa

Los árboles son inermes, de tamaño mediano a grande, su altura fluctúa entre 25 y 40 m y su diámetro a la altura del pecho puede llegar hasta los 100 cm. El tronco es cilíndrico, recto, sin ramificaciones precoces y muy raras veces defectuoso. La base del tronco generalmente presenta de 3 a 5 aletones laminares, equiláteros, delgados, de 3 a 6 cm de grosor, algunas veces bifurcados, de color café amarillento y cuya tonalidad es más clara que el tronco. En el tronco también se manifiestan cicatrices transversales, dejadas por los desprendimientos de las ramas (PARROTA *et al.*, 1995).

La copa es redondeada y abierta, poco densa, y decidua en la época seca. Las ramas crecen generalmente perpendiculares al fuste y su disposición es relativamente verticilada. Las ramas jóvenes son paquicaules, lisas, con lenticelas pequeñas y cicatrices que dejan las hojas al caer (CHICHIGNOUD *et al.*, 1990).

2.7.4.2. Corteza y madera

La corteza del pino chuncho es dura y delgada, con una superficie lisa a finamente fisurada con abundantes lenticelas conspicuas, suberificadas y distribuidas en forma irregular de color café oscuro en la base y grisácea hacia la parte media y apical del tronco. La corteza interna tiene un grosor de hasta 2 cm, es de color crema o blanco amarillento, textura arenosa, sabor amargo, olor conspicuo y no presenta exudación alguna (PARIONA y FREDERICKSEN, 1989); Generalmente, los árboles de pino chuncho presentan engrosamiento en las ramas y, con menor frecuencia, “mamelones” de color un poco más oscuro en el tronco y ramas primarias, los que pueden alcanzar hasta 30 cm de diámetro y el duramen es de color crema o blanco rosa y la albura amarillenta (CHICHIGNOUD *et al.*, 1990).

2.7.5. Descripción de la madera

- Color; en condición seca al aire, no hay diferencia entre albura y duramen, de color blanco cremoso.
- Grano; entrecruzado.

- Textura; gruesa.
- Brillo; ausente.
- Veteado; arcos superpuestos en sección tangencial y líneas verticales en sección radial.
- Poros; visibles a simple vista, difusos, solitarios y múltiples radiales de dos a tres poros de forma ovalada.
- Parénquima; visible con lupa de 10x, paratraqueal vasicéntrico y marginal.
- Radios; visibles con lupa de 10x, con 3 a 8/mm, no estratificados; homogéneos.
- Fibras; libriformes, no estratificadas. Longitud promedio de 1451 micras y el espesor de pared de 3 micras, no estratificadas.
- Inclusiones; no presenta.

2.7.6. Características tecnológicas

2.7.6.1. Propiedades físicas

- Densidad básica: 0.36
- Densidad húmeda: 0.70 g/cm³ (98% de C.H.)
- Densidad anhidra: 0.39 g/cm³.
- Contracción volumétrica: 9.55%
- Contracción tangencial: 6.36%

- Contracción radial: 3.13%
- Relación T/R: 2.03

2.7.6.2. Propiedades mecánicas (condición saturada)

- Carga de ruptura a la flexión estática: 457.5 l Kg/cm'
- Carga de ruptura a la compresión: 213.27 Kg/cm'
- Carga de ruptura al cizallamiento: 61.69 Kg/cm'
- Carga de ruptura al clivaje: 28.8 l Kg/cm
- Resistencia en compresión perpendicular: 26.21 Kg/cm'
- Dureza lateral: 30 l.65 Kg/cm'
- Tenacidad: 1.52 Kg-m
- Módulo de elasticidad en flexión estática: 76.87 Van'

2.7.7. Características de puesta en obra

2.7.7.1. Aserrío y trabajabilidad

De aserrío fácil, comportamiento bueno al cepillado con ángulo de corte de 15°, bueno al moldurado, malo al torneado y regular al taladrado.

2.7.7.2. Usos y aplicaciones posibles

Localmente se usa como leña, madera aserrada y cajonería. Así mismo, tiene aptitudes como revestimiento, muebles ordinarios, juguetería y

aeromodelismo. También se utiliza en laminados, enchapados, aglomerados, puertas, cajas, maquetas, tacos de calzados y embalajes; además de que cuenta con características adecuadas para la elaboración de pulpa para papel; La poca durabilidad de la madera de esta especie se debe a su falta de resistencia al ataque de hongos, termitas e insectos barrenadores, por lo que requiere tratamientos perseverantes (TOLEDO y RINCÓN, 1996).

Esta madera es apropiado para sistemas agroforestales debido a su rápido crecimiento y buena forma (SALDÍAS *et al.*, 1994) y se lo considera una especie fijadora de nitrógeno, por lo que es utilizada para la recuperación de suelos empobrecidos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en tres lugares; la etapa de campo en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo La Divisoria (CIPTALD). La etapa de post-campo, en el taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables (FRNR) y la etapa de laboratorio en el laboratorio de Anatomía de la FRNR.

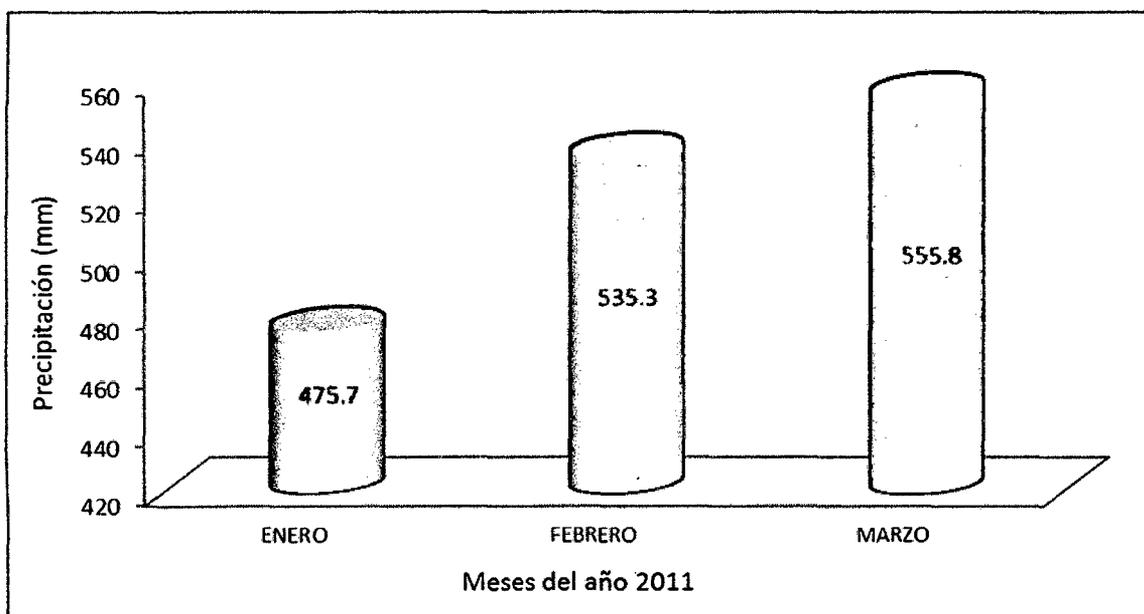
Políticamente se encuentra en el sector Tulumayo, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado y región Huánuco, cuya coordenada UTM fue de Datum WGS 84 (385404 E, 8992145 N).

El taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal de la FRNR y el laboratorio, políticamente se encuentran ubicados en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y región Huánuco, cuya coordenadas UTM son de Datum WGS 84 (390335 E, 8970750 N y 390202 E, 8970792 N respectivamente).

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1978), el distrito de Rupa Rupa se encuentra

ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre montano, Sub Tropical (bmh - PST).

Presenta una temperatura máxima de 29,4 °C, mínima de 19,2 °C, y media de 24.3 °C. La precipitación promedio mensual fluctuaron de 279.1 mm (diciembre 2010) hasta 555.8 mm (marzo 2011) durante los meses de evaluación del secado de las probetas (Figura 1).



Fuente: estación meteorológica Abelardo Quiñonez (2011).

Figura 1. Precipitación durante los meses de evaluación.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico

Se empleó 5 árboles de la especie forestal *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho" extraídos del bosque secundario de 14 años que pertenece al Centro de

Investigación y Producción Tulumayo Anexo la Divisoria (CIPTALD). Su ubicación corresponde a las siguientes Coordenadas UTM (Zona 18 L, Datum WGS 84).

Cuadro 4. Datos y coordenadas de los árboles extraídos.

Árbol	ESTE	NORTE	D <	D >	HC (m)	HT (m)
1	385350	8992153	44	61	13.6	19.7
2	385413	8992144	34	51	13	21
3	385413	8992149	54	60	11.25	27.5
4	385415	8992156	38	42	20	30
5	385407	8992122	39	42	11	17

3.2.2. Herramientas y equipos de campo y taller

- 01 wincha de 5 m (medición del diámetro).
- 01 Cinta métrica de 30 m (medición el largo del fuste).
- 01 GPS map 60CSx (ubicación de los árboles).
- 01 Brújula F-5006-030 (dirección de los lados norte y sur).
- Motosierra marca STIHL, modelo 070 (tumbado y trozado del árbol)
- Sierra disco (obtención de las probetas).

- Garlopa eléctrica (dimensión de las probetas).
- Cepilladora calibradora de 3450 rpm (cepillado de las probetas).

3.2.3. Materiales y equipos de laboratorio

- Estufa eléctrica provista de termostato para mantener la temperatura entre 101 y 105 °C.
- Desecador de laboratorio, provisto de sustancia higroscópica.
- Balanza electrónica, con una precisión de 0.1 g y con una capacidad de 400 g para determinar el peso en las probetas.
- Balanza electrónica, con una precisión de 1 g y con una capacidad de 5000 g para determinar el peso en las probetas.
- Micrómetro (precisión de 0.01mm)
- Instrumentos para determinar volumen por inmersión (Pinza, cocina eléctrica y recipiente metálico).
- Parafina para encerar las probetas.

3.3. Factores en estudio

Los factores que se consideraron fueron las siguientes:

Factor nivel del fuste (A)

Base : Factor a1

Medio : Factor a2

Ápice : Factor a3

Factor tipo de corte (B)

Radial : Factor b1

Tangencial : Factor b2

3.4. Metodología

3.4.1. Etapa de pre – campo

3.4.1.1. Selección y ubicación de la zona de muestreo

Para la zona de muestreo y selección del área experimental, se utilizó el método no probabilístico de acuerdo a la Normas Técnicas Peruana (NTP 251.008). La ubicación de las especies se ha realizado utilizando el equipo GPS.

3.4.1.2. Selección de los árboles

Se seleccionó cinco (05) árboles según lo establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP 251.008). Teniendo en cuenta las características dasonómicas como buena calidad de fuste y sanidad; luego se procedió a la limpieza de la vegetación existente alrededor del árbol, con la finalidad de facilitar las diferentes labores posteriores. Seguidamente se realizó la recolección de datos del diámetro a la altura del pecho (D.a.p) y el marcado de los lados norte y sur (N, S) del fuste utilizando la brújula.

3.4.2. Etapa de campo

3.4.2.1. Corte de los árboles

Para el proceso de corte de los árboles, se ha considerado la orientación de la caída, con la finalidad de disminuir los impactos hacia la demás vegetación o vegetación circundante de poco valor económico en la zona de extracción, debido a que la especie estudiada se encuentra generalmente en bosque secundario o residual, y las demás especies de mayor valor económico en estas áreas presentan menor tamaño y en poca cantidad.

3.4.2.2. Trozado y colecta de muestras del árbol talado

Una vez talado los árboles, se procedió según la Norma Técnica Peruana (NTP 251.008) a trozar su fuste del árbol a 1.30 m de longitud en tres niveles base, medio y ápice; marcando cada tronco con una clave para poder diferenciar el código del árbol y el nivel de fuste al que pertenece. Las muestras se colectaron de cada nivel o altura del fuste, además en cada nivel obtuvimos muestras de la sección transversal del árbol (Figura 2).

3.4.2.3. Aserrío primario

Una vez trozado el fuste del árbol, se procedió a medir y marcar al tronco, luego se realizó el corte paralelo al eje del árbol para obtener del tablón central de 7 cm de espesor y dos tapas laterales; por árbol se obtuvieron 3

tablones (base, medio y ápice), codificandopara diferenciar al nivel de fuste al que pertenece.

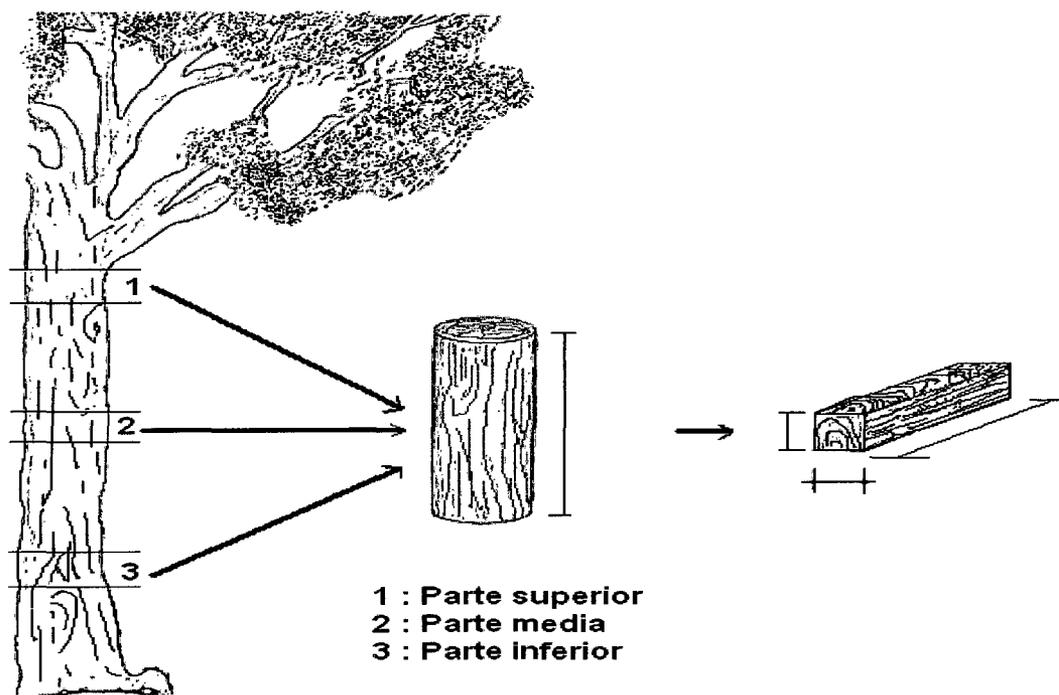


Figura 2. Altura del árbol considerada para el estudio.

3.4.2.4. Transporte de las trozas

Los árboles talados se trasladó desde el lugar de extracción hacia el taller de Aprovechamiento y Tecnología de la Madera utilizando una camioneta.

3.4.3. Etapa post campo

3.4.3.1. Aserrado de los cuartones

En esta fase se utilizó una motosierra para extraer la médula presente en el cuartón y también para cortar y separar los lados Sur y Norte,

luego se procedió al parejamiento de las caras de los tablonos para obtener una medida uniforme.

Para la determinación del contenido de humedad de la madera, se ha obtenido los listones de 3.5 cm x 3.5 cm x 130 cm utilizando la sierra disco y luego se realizó el cepillado para que quede la medida deseada.

Para los ensayos se elaboraron muestras de acuerdo a las especificaciones técnicas propuestas por ARÓSTEGUI (1975), obteniendo muestras de 2.5 x 10 x 120 cm, convenientemente orientadas a los cortes radial y tangencial. Las trozas fueron lo más uniforme para la obtención de las probetas y tablillas (Figura 2).

3.4.3.2. Preparación y codificación de las probetas

Se obtuvieron las probetas con dimensiones de 2.5 x 10 x 120 cm, con orientación tangencial y radial por nivel de fuste; así mismo, en cada probeta se codificó cuidadosamente con tinta blanca y negra, luego se llevó para el proceso de secado natural y secado al horno.

Codificación de las probetas:

1MR1

Donde:

1: Árbol N °1 (1, 2, 3, 4, 5)

M: Nivel del fuste medio (base "B", medio "M", ápice "A")

R: Tipo de corte (radial "R", tangencial "T")

1: Probeta (número variable por cada nivel y árbol)

3.4.3.3. Apilado de las probetas

Para el secado al natural fue indispensable realizar un buen apilado de la madera verde (uniforme) para permitir la circulación del aire y evitar defectos en la madera tales como grietas, rajaduras, torceduras, entre otros, para ello se ha tenido en cuenta:

- Se colocó la madera sobre una base de pilones entre 40 a 45 cm del piso como mínimo, a fin de facilitar la circulación del aire y evitar el contacto directo con el suelo que permita la infestación de hongos e insectos.
- El apiló manualmente.
- Los caballetes empleados para la separación de la madera estuvieron secos, libre de hongos y deformaciones. La altura del caballete fue de 70 cm sobre la base de la mesa de trabajo.

3.4.3.4. Apilado de las probetas según la técnica a trabajar

Las posiciones de las probetas con dimensiones de 2.54 cm x 10 cm x 120 cm (espesor, ancho y largo) se apiló por el método triángulo o caballete distribuidos en forma completamente al azar.

3.4.4. Etapa de laboratorio o estudio de las propiedades físicas de la madera

3.4.4.1. Evaluación de secado

Las probetas se pesaron diariamente y con los valores obtenidos del peso seco, se elaboró una curva de comportamiento del secado al natural hasta llegar a mantener a peso un constante, esta actividad se realizó para todas las probetas provenientes de los cinco árboles, los tres niveles del fuste y sus respectivas orientaciones de corte.

3.4.4.2. Método de determinación de contracción

Para determinar esta propiedad se utilizó la metodología modificada para la determinación de contracción ó cambio dimensional, en la madera elaborada por la Norma Técnica Peruana NTP 251.012 (método de determinación de la contracción).

Para esta prueba se tomaron las medidas con vernier digital en ambos lados de la probeta (ancho y espesor), comparando entre los dos orientaciones de corte (tangencial y radial).

- Contracción del espesor total

$$CEt = \frac{dh - ds}{dh} \times 100$$

Donde:

CEt = Contracción del espesor total (probeta tangencial o radial).

Dh = Dimensión de la probeta húmeda.

Ds = Dimensión de la probeta seca al aire.

- Contracción del ancho total

$$CA_t = \frac{dh - ds}{dh} \times 100$$

Donde:

CA_t = Contracción del ancho total (probeta tangencial o radial).

Dh = Dimensión de la probeta húmeda.

Ds = Dimensión de la probeta seca al aire.

3.4.4.3. Evaluación de defectos y deformaciones

La evaluación de las clases de los defectos se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por ARÓSTEGUI (1970), que consistió en la inspección visual y con medición directa de los efectos de secado, básicamente grietas y rajaduras, y deformaciones: arqueadura, encorvadura, revirado y torcedura. Las clases de defectos fueron:

Grupo A: Maderas que secan sin defectos ni deformaciones; puede admitirse rajaduras en ambos extremos, siempre que no pasen el 1% de la longitud de la pieza.

Grupo B: Maderas que secan con ligeros defectos y deformaciones; puede admitirse rajaduras de hasta 5% de la longitud total en ambos extremos.

Grupo C: Maderas que secan presentando deformaciones de 1-3% en cualquiera de sus dimensiones y rajaduras hasta 10% en cada uno de sus extremos.

3.4.4.4. Método de determinación del contenido de humedad

Para ello se realizó el método de secado en estufa, tal como lo menciona Norma Técnica Peruana NTP 251.010 (método para determinar el contenido de humedad).

Para tal fin, las muestras se llevaron al Laboratorio de Anatomía de la Madera en donde se procedió a pesar las probetas, luego se colocó en la estufa para un calentamiento gradual por día, con una temperaturas inicial de 30 °C, luego a 40 °C, 50 °C, 60 °C... y finalmente 100 °C; luego de transcurrido los días y llegado a una peso constante, se procedió a retirar las muestras de la estufa y luego se colocó en el desecador (15 minutos) para evitar la ganancia de humedad ambiental, para posteriormente pesar cada una de las muestras, tomándose los datos del análisis para los resultados del peso al horno (Psh).

El contenido de humedad se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$CH(S) = \frac{ph - psh}{psh} \times 100$$

Donde:

CH (s) = Contenido de humedad en base seca.

Ph = peso húmedo.

Psh = peso seco al horno

3.5. Análisis estadístico

Se utilizó el programa SAS versión 9, establecido para el análisis los datos de los tipos de muestra con respecto a los factores evaluadas, basado al diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial, con tres niveles de fuste y dos orientaciones de corte repetidas en cinco bloques.

3.5.1. Análisis de varianza

Se analizó los datos de cada variable con respecto a las propiedades físicas (Cuadro 5) y en las pruebas de comparación de promedios se utilizó, la prueba de comparación de promedios de Duncan, con un nivel de probabilidad de 95% ($p < 0.05$).

Cuadro 5. Análisis de varianza (ANVA).

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
Bloque o árbol	(r - 1)	SCbloques	CMbloques
Combinaciones	(ab - 1)	SCcombinaciones	CMcombinaciones
Fuste (A)	(a - 1)	SCa	CMA
Corte (B)	(b - 1)	SCb	CMb
A*B	(a - 1)(b - 1)	SCaxb	CMaxb
Error exp.	ab(r-1)	SCerror exp.	SCerror exp.
TOTAL	(abr - 1)	SCtotal	

3.5.2. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha + \beta)_{ij} + \delta_k + \xi_{ijk}$$

Para $i = 1, 2$ y 3 niveles del fuste (factor A).

Para $j = 1$ y 2 orientaciones de corte (factor B).

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta.

μ = Media general.

α_i = Es el efecto del i -ésimo nivel del fuste.

β_j = Es el efecto del j -ésimo orientación de corte.

$(\alpha+\beta)_{ij}$ = Es el efecto interactivo entre en i -ésimo nivel del fuste y el j -ésimo orientación de corte.

δ_k = Es el efecto del k -ésimo bloque.

ξ_{ijk} = Es el efecto del error aleatorio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variación de la curva de secado por técnica de triángulo y caballete en los planos de corte tangencial y radial en tres niveles del fuste en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho

4.1.1. Secado natural en apilado tipo caballete

El comportamiento del secado en apilado tipo caballete de las probetas extraídas del nivel medio del fuste, presentó menor pérdida de humedad del 77.77% en base seca durante los 80 días de evaluación, acertándose a una ecuación polinómica con un coeficiente de relación de 0.98; seguido de las probetas extraídas al nivel de la base del fuste con 79.28% en pérdida de humedad y finalmente la parte apical con 83.04%.

De manera general la pérdida de humedad promedio en probetas cuyo método de secado natural en apilado tipo caballete, alcanzó un valor de 80.03% para la especie *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho” (Figura 3).

Se encontró que el coeficiente de correlación respecto al secado de las probetas, fue similar en la parte basal y media con un nivel de evaluación de 0.99, seguido de la parte apical con 0.98 en nivel de evaluación.

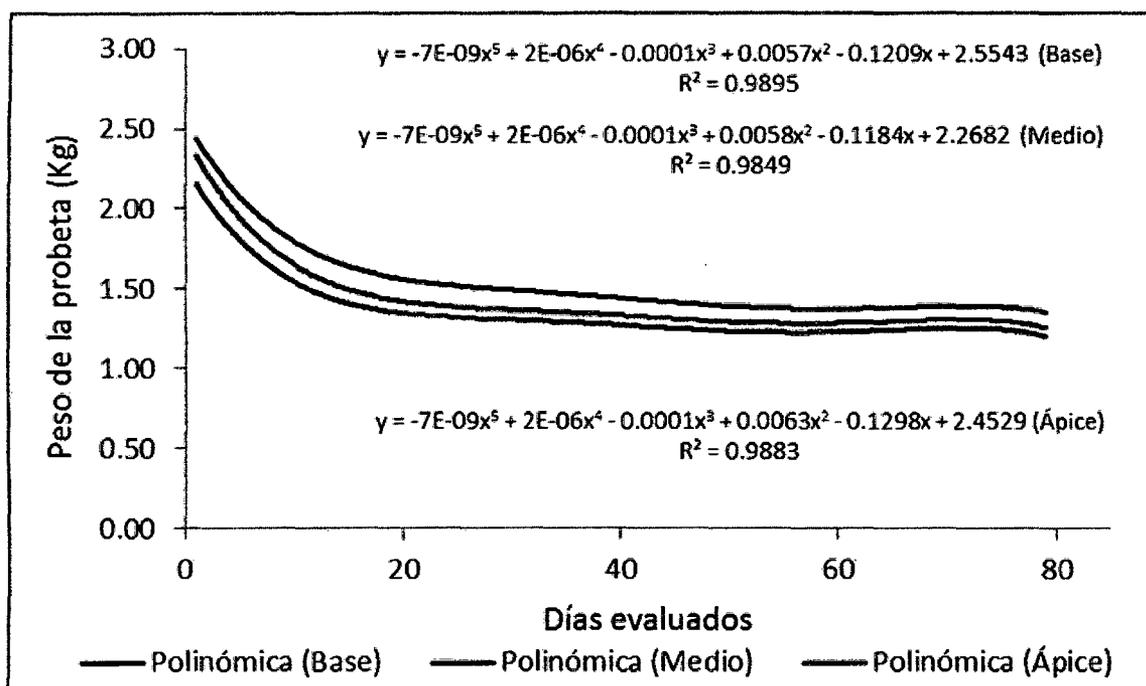


Figura 3. Comportamiento del secado natural en apilado tipo caballete.

La relación entre las variables peso de la probeta y días de evaluación presentaron una relación positiva muy fuerte con valores mayor a 0.90, la cual refiere que a mayor días puestas en apilado tipo caballete, las probetas disminuyen su peso al perder humedad (FERNÁNDEZ *et al.*, 2007). La humedad en la madera se va perdiendo con menor facilidad respecto al tiempo, la cual afirma VALDERRAMA (1992) al estudiar el comportamiento durante el secado al aire libre de las especies canela moena, marupa y cumala colorada, bajo los tres métodos de apilado, la cual fue rápido hasta alcanzar aproximadamente el 30% de humedad y de ahí en adelante el proceso fue lento hasta el 17% de humedad.

LOUREIRO y GRAGA (1979) estudiaron a la marupá, con respecto a las propiedades de secado, es fácil de secar al aire libre, con un secado rápido se produjo sólo un ligero agrietamiento en los extremos. Deben tomarse

precauciones para evitar la inclusión de la albura. Durante el secado al aire demora 75 días, para secar del 22% al 13% de contenido de humedad. Los usos se limitan a construcciones temporales, cajonería, muebles pintados, construcciones internas, palos de fósforos, etc.

4.1.2. Secado natural en apilado tipo triángulo

El secado en apilado tipo triángulo en probetas extraídas del nivel base del fuste, presentó menor pérdida de humedad del 63.35% en un periodo de 80 días, seguido del nivel medio con 71.55% de humedad y la mayor pérdida de humedad se presentó las probetas extraídas al nivel apical con 79.95%. La humedad promedio perdida por el método de secado natural en apilado tipo triángulo, alcanzó un valor de 71.62%, siendo menor que el apilado tipo caballete (Figura 4).

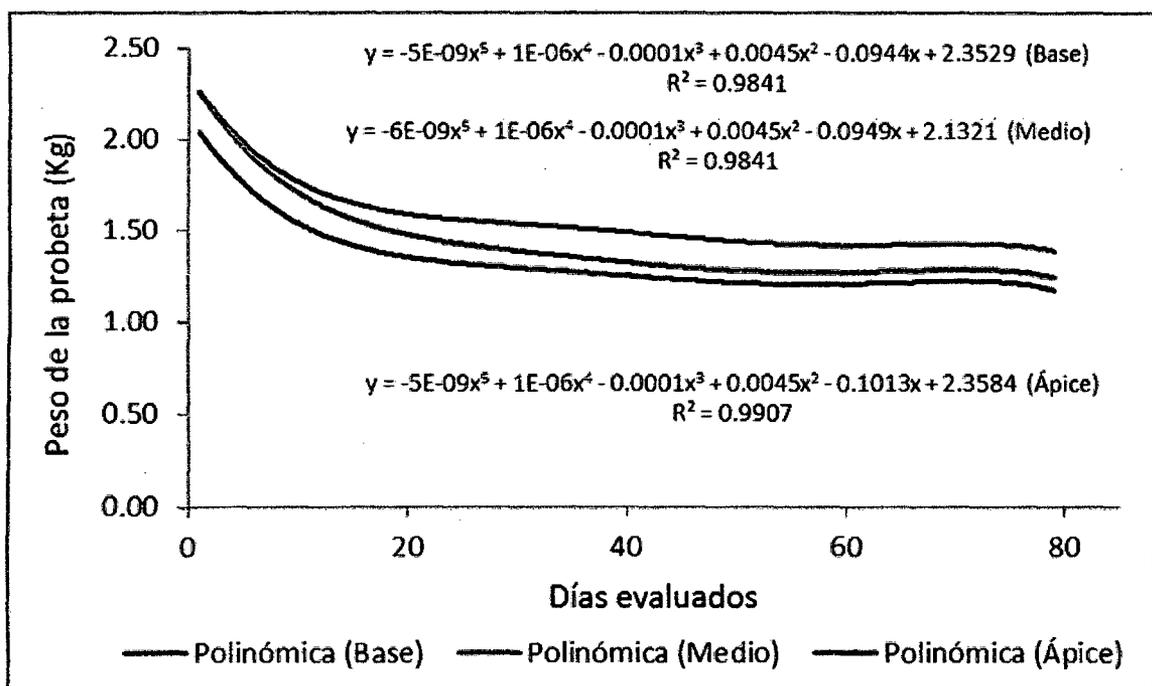


Figura 4. Comportamiento del secado natural en apilado tipo triángulo.

En estudios similares, donde comparan la descripción de la madera y el secado que presentan, VALDERRAMA (1989) realizó la descripción microscópica de la especie *Ocotea cymbarum* (moena amarilla), lo describen como madera de densidad media, grano entrecruzado, textura media, poros medianos; poco numerosos, puntuaciones, radiovasculares grandes, parénquima medianamente abundante, presencia de gomas; obstruyendo parcial o totalmente los poros, abundantes células oleíferas. Además afirma que la especie por sus cualidades anatómicas, probablemente tenga mal comportamiento durante el secado. De acuerdo a este estudio, se afirma que la parte anatómica de la madera se encuentra influenciada directamente con el comportamiento del secado que se presenta en cada especie.

4.1.3. Comparación entre secado natural en apilado tipo caballete y triángulo

El comportamiento del secado natural en probetas con apilado tipo caballete de *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho”, presentó mayor pérdida de humedad que alcanzó un 80.03% respecto a las probetas en apilado tipo triángulo con 71.62%. El tiempo de mayor pérdida en humedad, se registró en los nueve primeros días con un 45.21% y 35.67% en apilado tipo caballete y triángulo respectivamente (Figura 5).

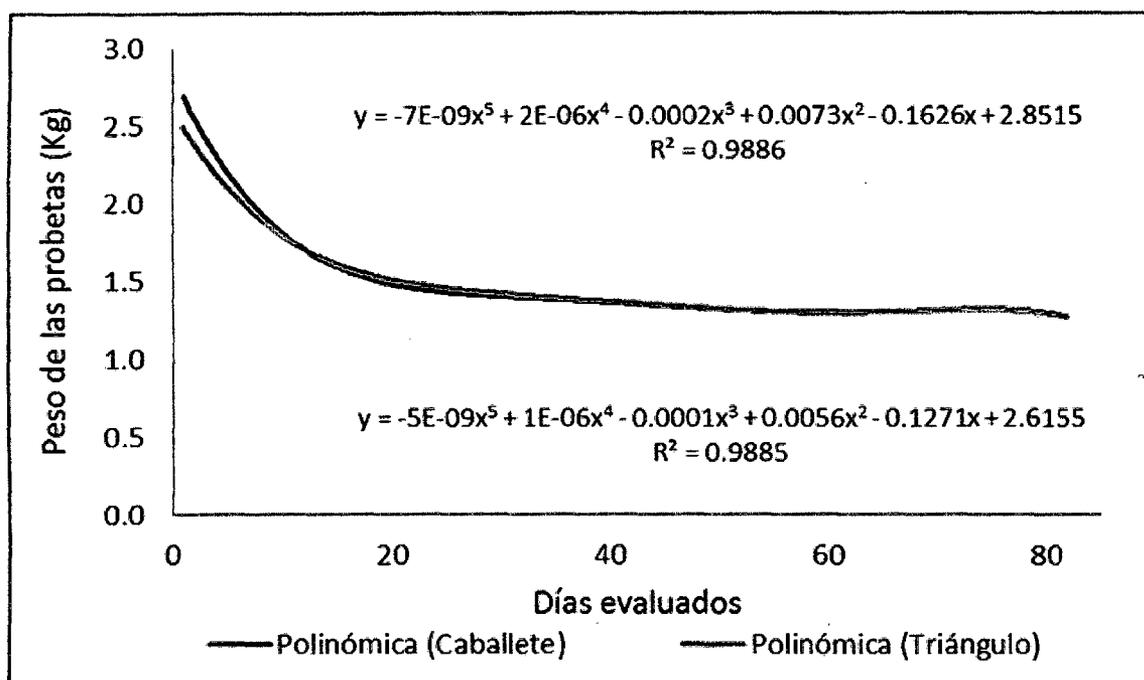


Figura 5. Comportamiento del secado natural en apilado tipo caballete y triángulo.

La variación de pesos, tanto en el apilado tipo caballete y triángulo presentaron un coeficiente de correlación de 0.99, la cual muestra que existe una relación positiva muy fuerte entre la variable pérdida de peso de la probeta y el día de evaluación (HERNÁNDEZ *et al.*, 2007). POMACHAGUA (1993) indica que el secado ocurre por evaporación, que es la acción del calor que evapora fácilmente el agua en la madera, por capilaridad, cuando las paredes celulares atrae el agua y la hacen subir hasta el perímetro del poro y salir de la madera, y por difusión, que es el proceso lento de pérdida de agua. El aire en contacto con la madera está en movimiento para transportar tanto calor como la humedad extraída.

Se hace notar, que con la utilización del método de apilado horizontal bajo cobertizo, se emplea mayor tiempo de secado en relación a los otros métodos. Esto se debe, a que las características de secado bajo este método no permite una circulación normal del aire a través de las pilas y en consecuencia la migración del agua en la madera es más lenta. Por otro lado, el secado de la canela moena, utiliza mayor tiempo se debe a que la madera dentro de su estructura celular y en la mayoría de las especies de la familia lauraceae, tiene células oleíferas y, en consecuencia las células en conjunto poseen pared celular más gruesa que las especies de marupa y cumala colorada, así mismo, la presencia de compuestos orgánicos (aceites, gomas), retardan el proceso de secado (VALDERRAMA, 1992).

Con el método de secado al aire libre, apilado horizontal con cubierta, se utilizó mayor tiempo en relación al apilado en caballete, cuando la madera es apilada en caballete la migración del agua retenida es más acelerada, ocasionado por la gravedad y por efecto de la temperatura y humedad relativa circundante del medio; en este caso existe mayor pérdida de humedad por los extremos de cada tabla, cabe indicar que las diferencias notables del tiempo que utiliza la madera aserrada de una pulgada de espesor de cada especie para secarse, está continuamente relacionado con la estructura celular, factores climatológicos medio ambientales y parámetros utilizados en cada método de apilado.

Las tablas comerciales de 1" de espesor de las especies; canela moena, marupa y cumala colorada, utilizaron menos tiempo de secado con el

método de apilado en caballete y horizontal con cubierta en relación al apilado horizontal bajo cobertizo (VALDERRAMA, 1992).

4.2. Variación de la contracción en los cortes radial y tangencial en el proceso de secado al natural en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho”

La contracción del ancho de las probetas no fue significativo (significancia = 0.37) dentro de los árboles y sus niveles e interacción, pero si presentó una alta significancia (significancia = 0.0001) en los tipos de corte (radial y tangencial); no hubo interacción entre los factores nivel del fuste con los tipos de corte debido a que la significancia alcanzada fue uno (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza respecto a la contracción del ancho de la probeta en los diferentes niveles y tipos de corte.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árboles	4	0.50	0.13	1.09	0.3655 n.s.
Niveles	2	0.43	0.21	1.85	0.1621 n.s.
Cortes	1	4.84	4.84	41.76	<0.0001 **
Nivel*Corte	2	0.00	0.00	0.00	1 n.s.
Error	122	14.13	0.12		
Total	131	19.90			

CV: 28.62%

** : Altamente significativo.

La mayor contracción del ancho de la probeta se determinó en el nivel medio del fuste con un promedio de 1.27%, seguido de la base y finalmente el ápice con 1.16% y 1.12% respectivamente (Cuadro 7 y Figura 6).

Cuadro 7. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del ancho de la probeta en los tres niveles del fuste

OM	Promedio	Niveles del fuste	Significancia
1	1.27	Medio	a
2	1.16	Base	a
3	1.12	Ápice	a

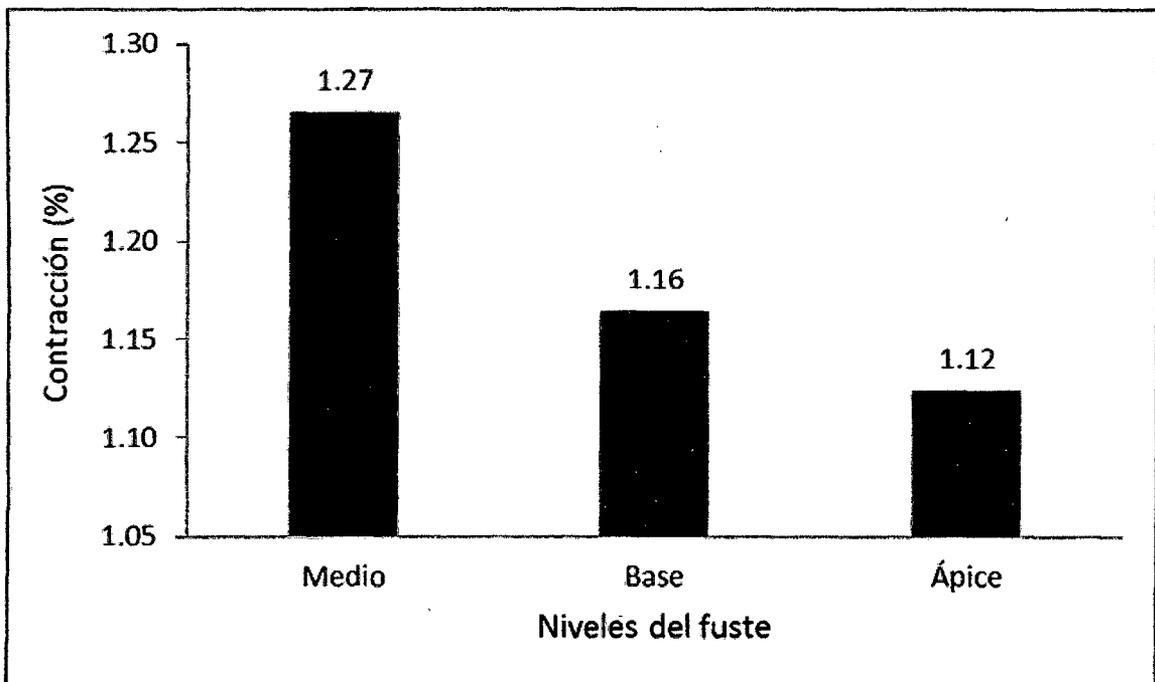


Figura 6. Contracción del ancho de la probeta respecto a los niveles del fuste.

El coeficiente de variación fue 28.62%, según CALZADA (1996) como dispersión variable de los resultados encontrados, la cual es influenciada

por diferentes dimensiones alcanzadas durante el habilitado de las probetas, la balanza utilizada y las variaciones anatómicas de las probetas (efectos de nudos, arte de albura y duramen, etc.).

La mayor contracción del ancho de probeta fue en el tipo de corte tangencial fuste con promedio de 1.36%, seguido de las probetas cortadas radialmente con 0.97%, con significancia estadística (Cuadro 8 y Figura 7).

Cuadro 8. Prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) respecto a la contracción del ancho de la probeta en los dos tipos de corte

OM	Promedio	Tipo de corte	Significancia
1	1.36	Tangencial	a
2	0.98	Radial	b

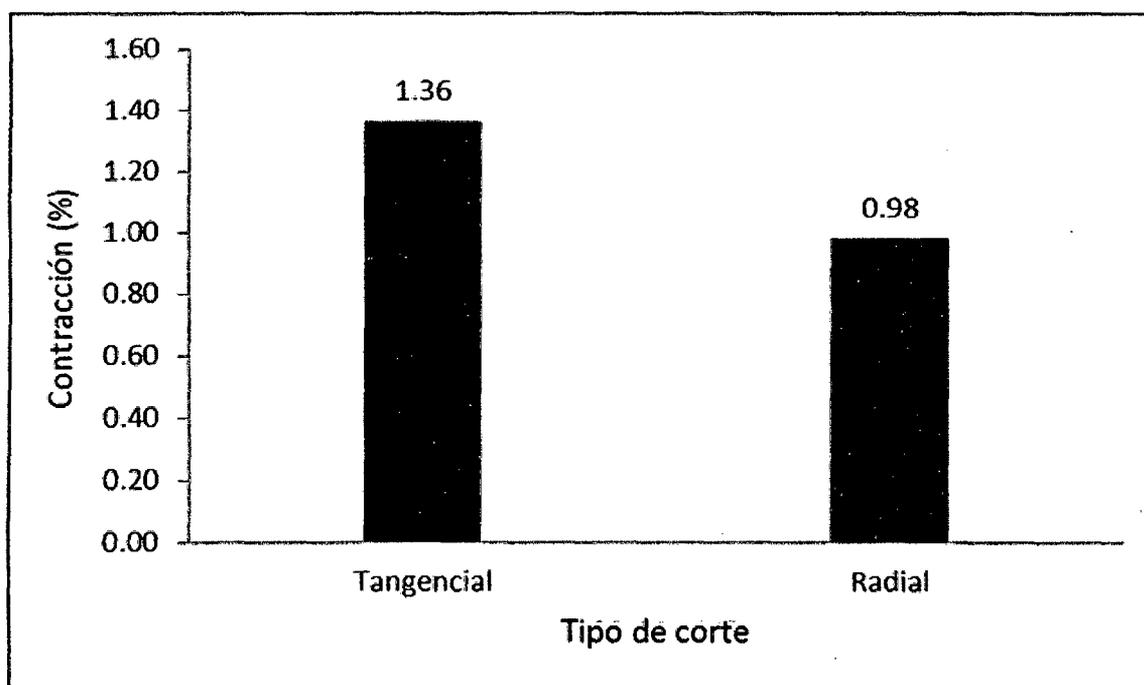


Figura 7. Contracción del ancho de la probeta respecto a los tipos de corte.

La contracción en el ancho de la probeta con corte tangencial, fue superior (1.36%) a las probetas con corte radial, con significancia estadística (Cuadro 8) y hubo mayor contracción en el nivel medio del fuste con 1.27% (Figura 6) sin presentar significancia estadística; GALLO (2009) no encontró diferencias significativas en la contracción radial para diferentes niveles de fuste en relación al corte radial en la especie *Calycophyllum spruceanum* y BOYD (1974) afirma que, una de las razones de este comportamiento es el efecto restrictivo de las células horizontales de los rayos medulares.

La contracción del espesor de las probetas provenientes de cada árbol fue diferente, mientras que en los niveles presentaron similar comportamiento y los efectos de los cortes tangencial y radial, presentaron una alta significancia estadística (Cuadro 9). El coeficiente de variación fue 39.12%, siendo dispersión del resultados muy variables (CALZADA, 1996).

Cuadro 9. Análisis de varianza respecto a la contracción del espesor de la probeta en los diferentes niveles y tipos de corte.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	15.03	3.76	5.22	0.0006 **
Nivel	2	1.20	0.60	0.83	0.4371 n.s.
Corte	1	13.78	13.78	19.13	<0.0001 **
Nivel*Corte	2	2.64	1.32	1.83	0.1643 n.s.
Error	122	87.86	0.72		
Total	131	120.51			

CV: 39.12%.

** (Altamente significativo) y n.s. (No significativo).

La mayor contracción del espesor de la probeta respecto a los niveles del fuste, se determinó en el nivel de la base con promedio de 2.28%, seguido del ápice y finalmente el nivel medio con 2.13% y 2.07% respectivamente (Cuadro 10 y Figura 8).

Cuadro 10. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del espesor de la probeta en los tres niveles del fuste.

OM	Promedio	Niveles del fuste	Significancia
1	2.28	Base	a
2	2.13	Ápice	a
3	2.07	Medio	a

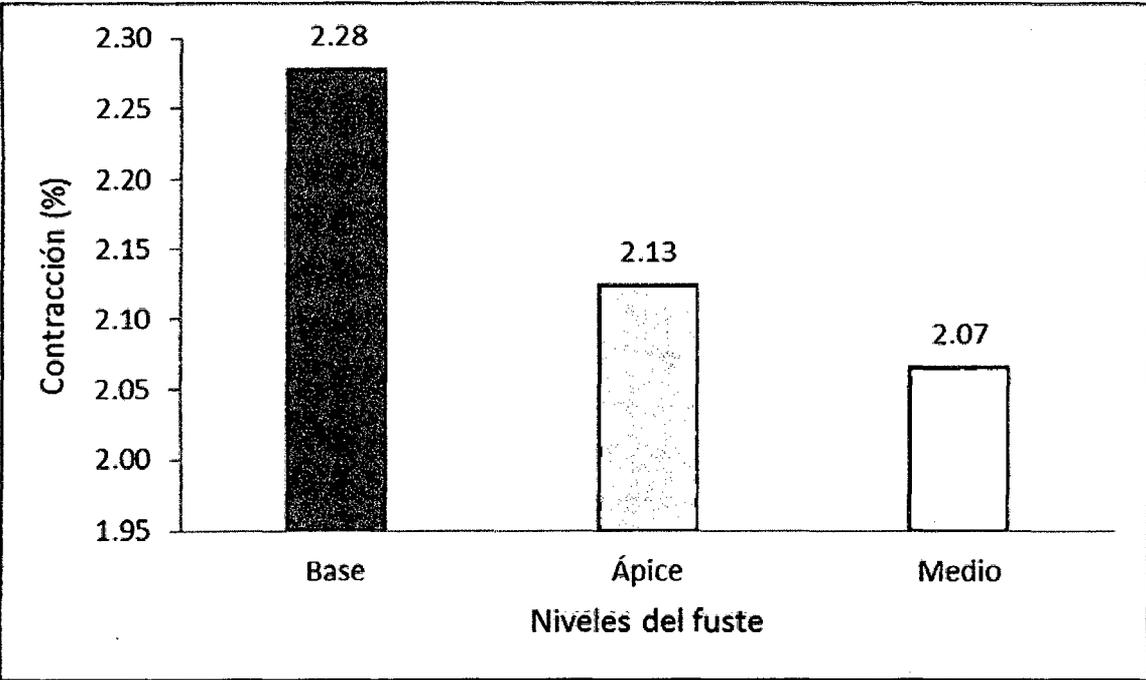


Figura 8. Contracción del espesor de la probeta respecto a los niveles del fuste.

La mayor contracción del espesor de la probeta respecto al tipo de corte, se determinó en el corte radial con un promedio de 2.52%, seguido del corte tangencial con 1.87% (Cuadro 11 y Figura 9), representando significancia estadística.

Cuadro 11. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) respecto a la contracción del espesor de la probeta en los dos tipos de corte.

OM	Promedio	Tipo de corte	Significancia
1	2.52	Radial	a
2	1.87	Tangencial	b

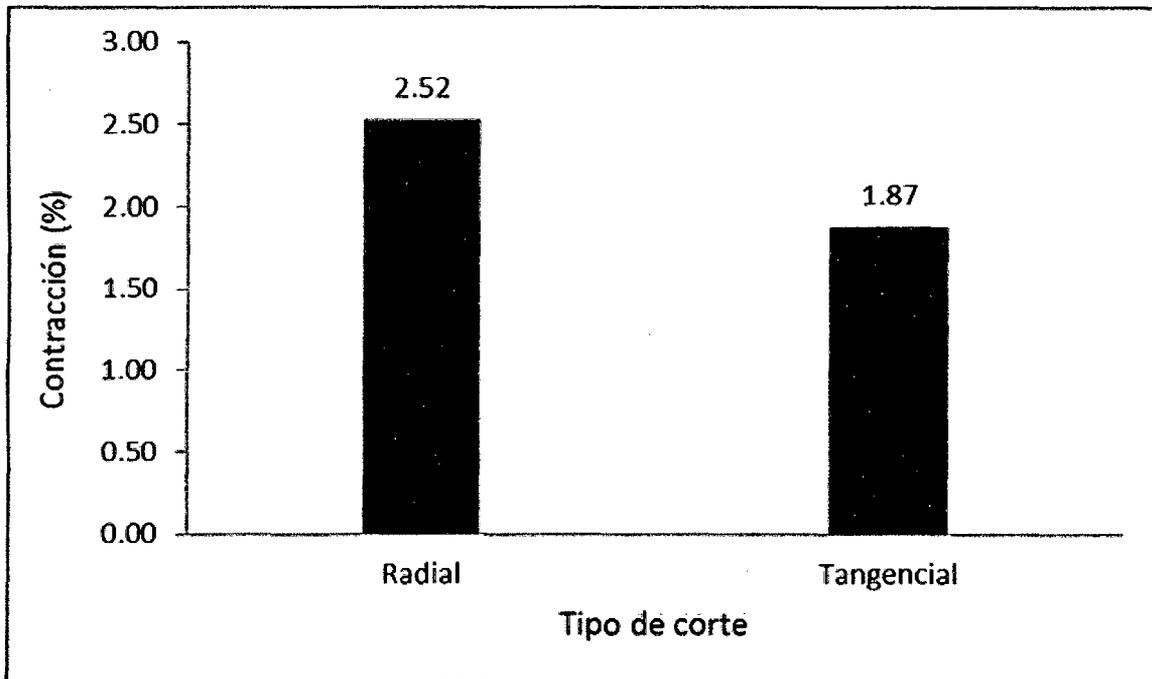


Figura 9. Contracción del espesor de la probeta respecto a los tipos de corte.

La contracción del espesor de la probeta en el tipo de corte radial, presentó significancia estadística, presentando mayor porcentaje (2.52%)

respecto a las probetas con corte tangencial y también hubo mayor contracción en las probetas provenientes de la base del fuste (Figura 8). GALLO (2009) en un estudio similar con la especie *Calycophyllum spruceanum* “capirona” añade que, en los niveles base y medio, la contracción no presenta diferencias estadísticas significativas en los planos tangencial y radial, pero se observa que en el nivel apical los promedios de las contracciones de los bloques (árboles) varían significativamente.

ARÓSTEGUI (1975), realizó el estudio de la especie *Ocotea contulata* (caneia moena), su madera posee grano recto, textura media radios finos, presencia de inclusiones, densidad básica media, relación contracción tangencial y radial 1-6; lo que indica que es una madera estable, con un buen comportamiento al secado y de resistencia mecánica media. Sus usos se limitan a construcciones de viviendas, estructuras, obras de carpintería y encofrados.

4.3. Presencia de defectos y deformaciones en las técnicas de triángulo y caballete al secado natural en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho

El grupo de probetas apiladas en caballete, presentaron menor número de probetas deformadas y un mayor número de deformaciones tipo C respecto al grupo de probetas apiladas en triángulo durante el proceso de secado (Cuadro 12 y Figura 10).

Cuadro 12. Defectos y deformaciones de las probetas bajo dos tipos de apilado.

Tipo de apilado	Defectos y deformaciones (%)			Total (%)
	A	B	C	
Caballote	60.87	20.29	18.84	100
Triángulo	73.02	22.22	4.76	100

A: Sin defectos ni deformaciones, rajaduras en los extremos menor al 1% de la longitud de la pieza.

B: Con ligeros defectos y deformaciones, rajaduras de hasta 5% de la longitud total en los extremos.

C: Deformaciones de 1 – 3% en cualquiera de sus dimensiones y rajaduras hasta 10% en sus extremos.

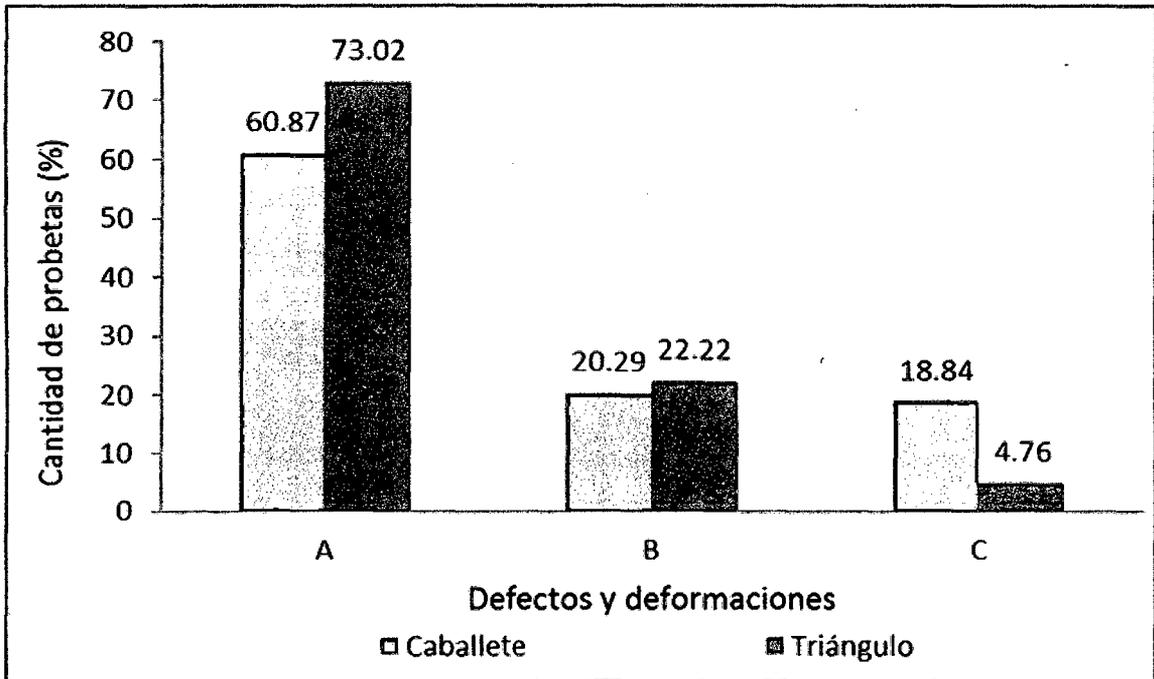


Figura 10. Cantidad de probetas con defectos y deformaciones bajo los dos tipos de apilado.

El comportamiento de los árboles frente a los defectos adquiridos durante el proceso de secado fue similar (significancia = 0.052), no mostrando

diferencia estadística significativa; mientras, que hubo un efecto diferente respecto a las técnicas de apilado (significancia = 0.034), mostrando diferencia estadística significativa. Los tipos de corte (radial o tangencial) no presentaron efectos significativos mostrando similar comportamiento frente a las deformaciones; y las probetas no presentaron interacción alguna entre el tipo de apilado y el tipo de corte debido a que la significancia alcanzada fue de 0.4 (Cuadro 13).

Las precipitaciones y la variación notable de los factores climatológicos del medio, tuvieron efectos negativos en las tablas durante el proceso, bajo los tres métodos de apilado, prolongando el tiempo y originando mayores defectos de secado (VALDERRAMA, 1992).

Las rajaduras, grietas superficiales, arqueaduras y abarquillado, son los defectos que tuvieron mayor incidencia en tablas de 1" de espesor en la especie canela moena. Por otro lado el sellado de los extremos y el tratamiento preventivo de las tablas antes del secado, tuvieron efectos positivos durante el proceso (VALDERRAMA, 1992).

El elevado porcentaje de rajaduras se puede atribuir a muchos factores, entre las más importante se menciona: existieron rajaduras antes de instalar las pilas de secado, a raíz de las tensiones internas existentes en la madera, calidad de corte de la sierra, manipuleo de las tablas durante el transporte, entre otros; posteriormente por efecto del secado, éstas rajaduras fueron incrementándose a raíz de los cambios bruscos de los

factores climatológicos, propiciando la migración acelerada de la humedad en la madera y a los diferentes parámetros que intervinieron directamente para el armado de las pilas en cada método. Se logrará reducir estos defectos controlando mejor todos estos factores que intervinieron durante el secado. Así mismo, es de notar que estos defectos son influenciados por la estructura celular de la madera, por ejemplo los alabeos, además de estar ligados con los factores antes mencionados, tiene mucha relación con la dirección del grano de la madera. Si bien es cierto que estos defectos afectan en mayor o menor grado la calidad de la madera y dado a los rangos de clasificación estipulados durante la evaluación, es necesario que antes de su utilización y comercialización se efectúe una clasificación final de la madera secada a fin de propiciar su mejor uso (VALDERRAMA, 1992).

Cuadro 13. Análisis de varianza respecto a los defectos y deformaciones.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	0.49	0.12	2.42	0.052 n.s.
Apilado	1	0.24	0.24	4.61	0.034*
Corte	1	0.12	0.12	2.25	0.136 n.s.
Apilado*Corte	1	0.04	0.04	0.71	0.400 n.s.
Error	124	6.33	0.05		
Total	131	7.21			

CV: 16.43%

*: Significativo

n.s.: No significativo

Debido a que la variable tipo de defecto (cualitativa), se le asumió valores cuantitativos (1 = A, 2 = B y 3 = C), el orden de mérito del Cuadro 14, se interpreta de manera ascendente en base a los promedios, mostrando el tipo de apilado en triángulo un mejor comportamiento (promedio = 1.33) frente a las deformaciones, presentando una diferencia estadística significativa. De manera similar, el tipo de corte tangencial presentó menor número de deformaciones respecto al corte radial, pero de sin significancia estadística (Cuadro 15).

Cuadro 14 Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) para el nivel tipo de apilado respecto a los defectos y deformaciones.

OM	Promedio	Tipo de apilado	Significancia
1	1.42	Caballete	a
2	1.33	Triángulo	b

Cuadro 15. Prueba Duncan ($\alpha=0,05$) para el nivel tipo de corte respecto a los defectos y deformaciones.

OM	Promedio	Tipo de corte	Significancia
1	1.41	Radial	a
2	1.35	Tangencial	a

Cada tipo de apilado genera una pérdida de humedad, una mayor que otra al inicio, y las deformaciones que adquieren los probetas van a depender del grado de evaporación. BOYD (1974) indica que, la madera

presenta una fuerte evaporación superficial, generando altos gradientes de humedad, contracciones prematuras a nivel de superficie y tensiones de secado bajo el P.S.F, originando grietas superficiales e internas. Cuando el colapso es severo, debido a la baja resistencia mecánica de la pared celular de la madera, se generan grietas superficiales e internas en la madera.

en la mayoría de los casos; maderas con una orientación tangencial presentan mayor cantidad de defectos y, en menor porcentaje en tablas con orientación intermedia y orientación radial, es de suponer que durante el aserrío de las trozas los cortes se deben realizar teniendo en cuenta la dirección de corte.

El apilado en caballete bajo cobertizo, ha originado en mayor proporción defectos de rajaduras, grietas superficiales, arqueaduras y abarquillado (VALDERRAMA, 1992).

La mayoría de los defectos evaluados tienen incidencia en aquellas tablas con orientación tangencial y en menor grado en aquellas tablas con orientación intermedia y radial (VALDERRAMA, 1992).

La especie *Schizolobium parahyba* (VELLOZO) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby "pino chuncho", por tener una densidad de 0.24 g/cm^3 (PALOMINO y BARRA, 2003) generan deformaciones al momento del secado. BOSSHARD (1956) menciona que la presencia de grietas en especies de baja y media densidad, y la madera tangencial presenta un mayor porcentaje de grietas respecto de la radial se debe a fuertes

gradientes de humedad durante el secado, situación que produce un resecamiento superficial y una prematura contracción, con la consecuente generación de grietas superficiales debido a la débil resistencia de la pared celular, resultante de su facilidad para evaporar el agua desde la superficie. Las grietas internas en tanto, se generan por acción de dos efectos durante el secado. El primero, por efecto del colapso, particularmente en el anillo de primavera, donde el esfuerzo producido supera la resistencia mecánica de ésta y se produce la fractura o grieta en dicha pared.

Este efecto es de mayor incidencia en la madera de corte tangencial en virtud a que la madera, por acción del colapso, debe moverse en el ancho de la pieza y su capacidad de deformación es mínima. De la misma forma, en la madera de corte radial, la contracción de dos anillos consecutivos de primavera, debido al colapso, produce una tracción en el anillo de verano intermedio y grietas superficiales sobre éste.

El elevado porcentaje de rajaduras se puede atribuir a muchos factores, entre las más importante se menciona: rajaduras antes de instalar las pilas de secado, a raíz de las tensiones internas existentes en la madera, calidad de corte de la sierra, manipuleo de las tablas durante el transporte, entre otros posteriormente por efecto del secado, éstas rajaduras fueron incrementándose a raíz de los cambios bruscos de los factores climatológicos, propiciando la migración acelerada de la humedad en la madera y a los diferentes parámetros que intervinieron directamente para el armado de las pilas en cada método. Se logra reducir estos defectos controlando mejor todos

estos factores que intervinieron durante el secado. Así mismo, es de notar que estos defectos son influenciados por la estructura celular de la madera, por ejemplo los alabeos, tiene mucha relación con la dirección del grano de la madera. Si bien es cierto que estos defectos afectan en mayor o menor grado la calidad de la madera y dado a los rangos de clasificación estipulados durante la evaluación, es necesario que antes de su utilización y comercialización se efectúe una clasificación final de la madera secada a fin de propiciar su mejor uso (SCHREWE, 1983).

4.4. Contenido de humedad en los cortes radial y tangencial en relación a los tres niveles de fuste en *Schizolobium parahyba* (Vellozo) BLAKE var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho

El análisis de varianza para el contenido de humedad expresado en porcentajes (%) evaluados en cada uno de los niveles del fuste (base, medio y ápice) en la fuente de variación, respecto a los árboles se mostró diferencias significativas; sin embargo a nivel de fuste no se encontró (significancia = 0.62) significancia estadística (Cuadro 16).

El coeficiente de variación fue 5.72%, considerado según CALZADA (1996) como coeficiente “Excelente”, esto debido a que la pérdida de humedad en las probetas que se registró durante la investigación presentó una mínima diferencia respecto al promedio general de la cantidad de humedad perdida.

Cuadro 16. Análisis de varianza para el contenido de humedad en porcentaje por cada nivel del fuste.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Significancia
Arboles	4	319.578	79.894	2.2	0.1609 n.s.
Nivel de fuste	2	37.031	18.515	0.5	0.6206 n.s.
Error experimental	8	292.302	36.538		
TOTAL	14	648.91			

C.V = 5.72%

Promedio = 105.60%

n.s. = No significativo

El resultado promedio (105.60%) del contenido de humedad obtenido en el "pino chuncho" *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, son valores menores encontrados por (TORRES, 2009) en la especie de "cetico" *Cecropia sciadophylla* Mart, la cual fue de 138.67% y en las especies forestales como peine de mono y la cascarilla que presentaron en promedio 128.65% y 118.42% (BABILONIA, 1998).

La prueba de significación de Duncan, para el contenido de humedad, presentado por cada nivel de fuste en promedio, se observa que el Nivel apical presenta un contenido de humedad de 107.54% promedios muy similares a los niveles medio y base, que presentaron 105.56% y 103.70% de contenido de humedad, respectivamente, mostrando similares comportamientos en cada uno de los niveles de fuste (Cuadro 17 y Figura 11).

Cuadro 17. Prueba de significación de Duncan ($\alpha=0.05$) para los promedios de contenido de humedad por cada nivel de fuste.

O.M.	Niveles del fuste	Promedio	Significancia
1	Ápice	107.54	a
2	Medio	105.56	a
3	Base	103.70	a

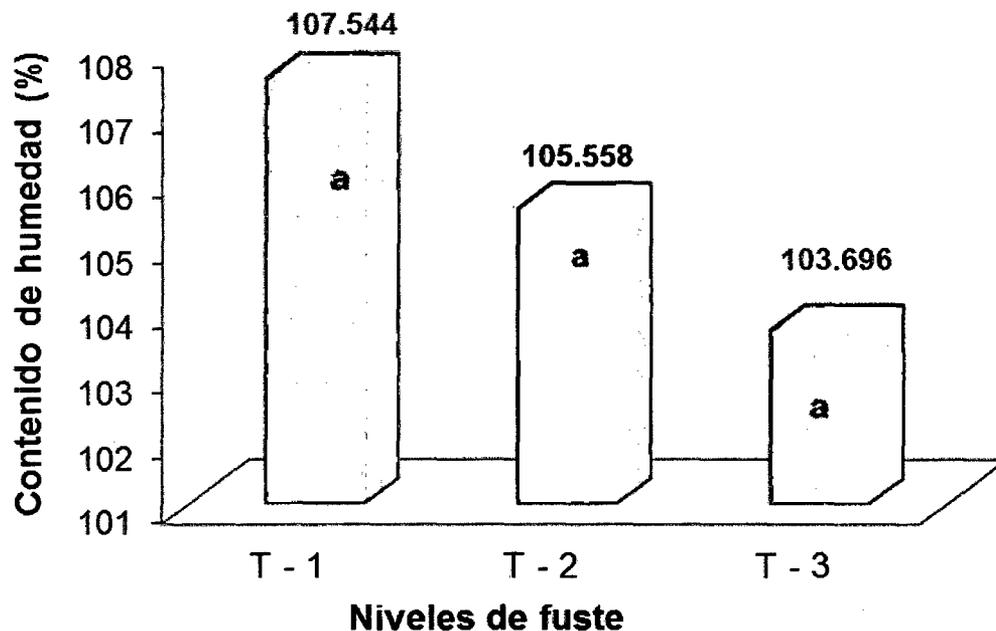


Figura 11. Contenido de humedad en porcentaje por cada nivel del fuste.

Los resultados obtenidos son contradictorios a lo encontrado por TORRES (2009) en el "cetico" *Cecropia sciadophylla* Mart, donde encontró diferencias significativas en el contenido de humedad entre los niveles del fuste y quien señala que el contenido de agua en el árbol varía según la altura, el radio del tronco y la temporada del año; además se refiere que los árboles jóvenes contienen mayor humedad y sus variaciones durante el año son

mayores que en los árboles maduros, esta variación de resultados generalmente depende en cada especie y el cético presenta mayor número de lúmenes que la especie pinochuncho.

Las similitudes mostradas en el contenido de humedad entre los niveles de fuste del pino chuncho nos indican, que la característica evaluada va depender de la especie, y por sus propiedades físicas y mecánicas que presentan; Por otro lado, las diferencias de humedad entre los árboles de la misma especie, podrían deberse a los sitios o condiciones ambientales, donde se desarrollan, así como a los diferentes factores tales como: edad, diámetro, altura, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento (HOHEISEL, 1981).

V. CONCLUSIONES

1. El secado en tipo caballete presentó mayor pérdida de humedad con 45.21% durante los nueve primeros días, comparado con las probetas secadas tipo triángulo con 35.67%, luego de este periodo no se encontró diferencia alguna durante el secado.
2. La contracción en el ancho de la probeta fue relevante del nivel medio del fuste con 1.27% respecto a la base con 1.16% y el ápice con 1.12%, sin significancia estadística; y en los tipos de corte, el tangencial alcanzó un promedio de 1.36%, mientras que en el radial fue de 0.98% siendo significativa estadísticamente.
3. La contracción en el espesor de la probeta fue superior en el nivel de la base con 2.28% respecto a los demás niveles, sin significancia estadística; y en los tipos de corte, el radial alcanzó un 2.52% y la tangencial fue de 1.87% siendo significativamente.
4. Los defectos y deformaciones presentes fue superior en el apilado tipo caballete ($B = 20.29\%$ y $C = 18.84\%$), mostrando una significancia estadística; mientras que en el corte tangencial presentó mayores defectos y deformaciones frente a las probetas con corte radial, no siendo

significativo estas cualidades ni interacción entre el tipo de apilado y tipo de corte.

5. El contenido de humedad, presentado por cada nivel de fuste en promedio, se observa que el ápice presenta un contenido de humedad de 107.54% promedios muy similares a los niveles medio y base, con valores de 105.56% y 103.70% respectivamente, mostrando similares comportamientos en cada uno de los niveles de fuste.

VI. RECOMENDACIONES

1. Considerar para otras investigaciones de similar magnitud, la edad de los árboles a talar y realizar comparaciones referentes a las edades y las características de la madera en secado al aire libre.
2. Realizar el tipo de apilado en triángulo para el secado natural en la especie *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby “pino chuncho”.
3. Realizar investigaciones similares en la misma especie forestal empleando hornos para el secado.
4. Tener en cuenta la humedad del ambiente para correlacionar con la pérdida de humedad en la madera.

ABSTRACT

With the purpose of determining the characteristics of the natural drying techniques through stacking into a triangle and easel in the area of Tingo María, Huánuco; the investigation was carried out from January March until 2011. The logs were felled and chunk at the base level, means and apex of the bole of five trees for the tests, using samples according to the technical specifications proposed by ARÓSTEGUI (1975) and the NTP 251.012. The design used was completely randomized block (DBCA) with a factorial arrangement. Drying in type easel presented a higher moisture loss during the first eight days of the test pieces dried type triangle, make uniform after this period. The contraction in width of the test piece was higher than in the average level of the bole (1.27%), without statistical significance; the court tangential (1.36%), and radial (0.98%) presented statistical significance. The contraction in the thickness of the cylinder was higher than at the base (2.28%) showing no statistical significance, and the radial cut reached a 2.52% and the tangential was 1.87% remain significant. The defects and deformation present was higher in the stacking type easel (B = 20.29% and C = 18.84%), remain significant; while the court tangential presented a higher default and deformation front to test-pieces with radial cut, being not significant these qualities nor has there been interaction between the type of stacking and type of cut. The apex presents a moisture content of 107.5%, very similar to the average level and base, with 105.6% and 103.7% respectively.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, H., FERNÁNDEZ, J. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. pp 33; 34; 124; 125.
- ANANÍAS, R. 2005. Estudio de la cinética del secado convencional y bajo vacío del pino radiata. Maderas. Ciencia y Tecnología. Universidad del Bio – Bio. Concepción, Chile. 21 p.
- ANANÍAS, R. 1987. Water Diffusion in Wood. Actas VI reunión sobre investigación y desarrollo en productos forestales, universidad del Bio – Bio, Concepción 8 p.
- ANANÍAS, R. 1992. Física de la madera. Departamento de Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio-Bio. Chile. 41p.
- ARÓSTEGUI, A. 1974. Estudios tecnológicos de maderas del Perú. Características y uso de las maderas de 145 especies del país. Documento de trabajo. Lima, Perú. 57 p.
- ARÓSTEGUI, A. 1975. Características tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. Universidad Agraria La Molina. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 171 p.

- AROSTEGUI, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de madera peruanas. Documento de trabajo N° 2. Proyecto PNUD/FAO7PER/81/002. Lima, Perú. 57 p.
- ARROYO, J. 1983. Propiedades físico – mecánicas de la madera. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 186 p.
- BABILONIA, E. 1998. Influencia de las propiedades físicas y características anatómicas en los usos de *Apeiba membranaceae* S. ex B. y *Cinchona micrantha* R. et P. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. 70 p.
- BOSSHARD, H.H. 1956. Uber die anisotropie der holzschwindung. Holz – als – Roh und werkstoff 14:285-295.
- BOYD, J.D. 1974. Anisotropic shrinkage of wood: Identification of the dominant determinants. Mokuzaï Gakkaishi 20:473 – 482.
- BRAVO, M. 1993. Anatomía y propiedades físicas de *Pinus radiata* D. Don en diferentes edades. UNCP. Huancayo, Perú. 43 p.
- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. 5ta Edición. Lima Perú. 640 p.
- CASTRO, F. 1972. Estudio anatómico, físico y mecánico de 15 especies tropicales de Iparia. UNAC. Huancayo, Perú. 98 p.
- CHICHIGNOUD, M. 1990. Atlas de las maderas tropicales de América Latina. OIMT-CTFT. Abbreville, France. 14 p.

- COORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. 2003. Manual para la construcción de vivienda en madera. Capítulo I. Chile. 55p.
- CUEVAS, E. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. Universidad de Talca. Talca, Chile. 68 p.
- DANJOY, A.W. 1972. Comparativo altitudinal sobre propiedades físico – mecánicas de una especie maderable de selva alta. UNCP. Huancayo – Perú. 95 p.
- DELGADO, G. 1981. Propiedades de la madera. Universidad Nacional de los Andes. Escuela de ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela. 67 p.
- DÍAZ, P.P. 2005. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Tesis Ing. en Industrias de la Madera. Universidad de Talca. Talca, Chile. 179 p.
- FACHIN, C. 1986. Estudio de las propiedades físico – mecánicas y su variación en el tronco de la *Parkia velutina* R. Benth (pashaco curtidor), en los bosques de la plantación de Jenaro Herrera. Iquitos, Perú. 98 p.
- GALLO, G. 2009. Características del secado al natural en técnicas de apilado triángulo y caballete de la especie forestal *Calycophyllum spruceanum* Bentham “capirona”. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. 102 p.

- GONZALES, R. 1996. Secado de madera. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima, Perú. 164 p.
- GRIGORIEV, J. 1985. Estudio para materiales para ebanistas y carpinteros. Editorial MIR MOSCU-URSS. Rusia. 240 p.
- GUTIERREZ, A. 1990. La madera y sus propiedades. Departamento de Maderas del INIA. 5 p.
- HAYGREEN, J., BOWYER, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction Iowa – EUA. 495 p.
- HERMINIO, J. 2003. Producto regular según conceptos de contracciones, contenido de humedad, alabeos y grietas. Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero en Madera. Valdivia, Chile. 85 p.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2007. Metodología de la investigación. 4 ed. México, McGraw-Hill Interamericana editores S.A. de C.V. 850 p.
- HOHEISEL, H. 1981. Estipulaciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera. Universidad Nacional de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 51p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Traducido del inglés por H. Jiménez Saa. San José, Costa Rica. IICA. 216 p.

- INDECOPI. 2004. Normas Técnicas Peruanas. Método de determinación del contenido de humedad. Norma N° 251 010. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2004. Normas Técnicas Peruanas. Método de determinación de contracción. Norma N°251 012. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2004. Normas Técnicas Peruanas. Selección y colección de muestras. Norma N° 251 008. Lima, Perú.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). 1984. Manual de secado de las maderas del Grupo Andino. Lima, Perú. 549 p.
- KOLLMANN, F. 1970. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid, España. 6 -18 p.
- LORENZI, H. 1992. Árboles brasileiros. Editorial Plantarum Ltda. Sao Paulo, Brasil. 163 p.
- LOUREIRO, A., GRAGA, L. 1979. Madeiras do Municipio de Aripuaría e suas utilidades (MATOGROSSO). Acta Amazónica. Año IX N0 1- CNPQ-JNPA. Manaus, Brasil. 88 p.
- MARTÍNEZ-RAMOS, M. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. En: Gómez-Pompa, A. y S. del Almo (Eds.). Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas de Veracruz, México. Ed. Alhambra, México. 191-239 p.

- MATTE, E. 2011. La madera. Empresas CMPC S.A. Santiago, Chile. 2 p.
[En línea]: Papelnet, (<http://www.papelnet.cl/madera/index.htm>, documentos, 20 Dic. 2011).
- NTP. 1971. Maderas. Método de determinación de contracción. Proyecto de Norma Técnica Peruana 251.012. Lima, Perú. 7 p.
- NTP. 1971. Maderas. Método de determinación de densidad. Proyecto de Norma Técnica Peruana 251.011. Lima, Perú. 7 p.
- NTP. 1971. Maderas. Selección y colección de muestras. Proyecto de Norma Técnica Peruana 251.008. Lima, Perú. 12 p.
- NTP 251.010: 2004. MADERA. Método para determinar el contenido de humedad. 2a.ed. 12p.
- NTP 251.012. 2004. MADERAS. Método de determinación de contracción. 2 ed. 14 p.
- PALOMINO, J, BARRA, M. 2003. Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. Programa Selva Central. Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza (PRONATURALEZA). Oxapampa, Perú. 104 p.
- PARROTTA, J.A., FRANCIS, J.K., ROLO DE ALMEIDA. R. 1995. Trees of Tapajós (A photographic field guide). Unites States Department of Agriculture. Río Piedras, Puerto Rico. 166 - 167 p.

- PASHIN A., DE ZEEUW, C. 1980. Textbook of Wood Technology. 4 th. Ed. Mc Graw-Hill, New York 6: 201-210; 7: 237-272.
- PÉREZ, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile. Corporación Nacional Forestal. 451 p.
- POMACHAGUA, J. 1993. Industria de la madera. Huancayo, Perú. 42 p.
- RODRÍGUEZ, F., VILLASANTE, A. 1998. *Pinus uncinata* del Pirineo de Lleida: Factores de contracción de la madera. Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Lleida. 24 p.
- SIAU J.F. 1984. Transport Processes in Wood. Springer Series. In Wood Science. Syracuse New York EUA 245 p.
- SOLANO, O. 1998. Seminario sobre diseño ingeniería y proceso de secado de maderas tropicales. Centro Nacional de la Madera, Servicio Nacional de Aprendizaje "SENA". Medellín, Colombia. 45 p.
- TOLEDO, E., RINCÓN, C. 1996. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. OIMT-Cámara Nacional Forestal del Perú. Lima, Perú.
- TORRES, P. 2009. Determinación de las propiedades físicas a tres niveles del fuste del "cético" *Cecropia sciadophylla* Mert. en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. 65 p.

- TUSSET, P. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Uruguay. 668 p.
- VALDERRAMA, H. 1989. Estructura Anatómica y Clave de Identificación de 20 especies forestales de Colonia Angamos Río Yavarí y Jenaro Herrera Convenio IIAP-UNAP-INPA-Brasil, Facultad de Ingeniería Forestal. Iquitos, Perú. 140 p.
- VALDERRAMA, H. 1992. Evaluación durante el secado natural de la madera aserrada de las especies *Licaria triundra*, *Simarouba amara* e *Iryanthera grandis* – Iquitos. Folia Amazonica Vol. 4(2): 63 – 86.
- VIGNOTE, S. 2000. Tecnología de la madera en construcción arquitectónica. Editorial Mundi-Prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 277p.
- VIZCARRA, S. 1998. Guía para el secado de la madera en horno. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Documento Técnico. Santa Cruz, Bolivia. 64p.

ANEXOS

Anexo 1. Datos registrados.

Cuadro 18. Evaluación de defectos en los dos tipos de apilado.

Árbol	Tablilla	Código			Defectos	Categoría	
1	1	1	M	R	1	Alabeado	C
	2	1	B	R	3	Colapso	C
	3	1	A	T	3		A
	4	1	A	T̄	1	Grieta	B̄
	5	1	B	T	1	Arqueadura	C
	6	1	B	R	5		A
	7	1	B	T	3		A
	8	1	M	T	5	Rajadura	B
	9	1	B	T	5		A
	10	1	A	R	1	Arqueadura	B
	11	1	A	R	3	Colapso	C
	12	1	B	R	1	Arqueadura	B
	13	1	M	R	3	Colapso	C
	14	1	B	R	2	Grieta	C
	15	1	B	T	2		A
	16	1	M	T	2		A
	17	1	M	R	2		A
	18	1	M	T	4		A
	19	1	B̄	T̄	6		Ā
	20	1	A	R	2	Colapso	B

	21	1	B	R	4		A
	22	1	B	T	4		A
	23	1	A	T	2		A
	24	1	M	T	3	Grieta	C
	25	1	M	T	1		A
	1	2	M	T	5		A
	2	2	A	R	1	Colapso	C
	3	2	M	R	1		A
	4	2	B	T	3	Colapso	B
	5	2	B	T	1		A
	6	2	A	T	1		A
	7	2	M	R	3		A
	8	2	B	R	3	Colapso	C
	9	2	B	R	1	Colapso	B
2	10	2	M	T	3		A
	11	2	A	R	3		A
	12	2	B	T	2		A
	13	2	A	R	2	Colapso	B
	14	2	M	T	4		A
	15	2	B	R	4	Torcedura	B
	16	2	B	R	2		A
	17	2	M	R	4		A
	18	2	A	R	4		A
	19	2	A	T	2	Rajadura	C

	20	2	M	R	2		A
	21	2	M	T	6		A
	22	2	M	T	2	Rajadura	B
	1	3	B	R	7		A
	2	3	B	T	7	Arqueadura	C
	3	3	B	T	9		A
	4	3	A	T	5	Arqueadura	B
	5	3	A	T	7		A
	6	3	M	T	5	Alabeado	B
	7	3	A	T	1		A
	8	3	M	T	1	Arqueadura	C
	9	3	A	R	1	Alabeado	B
	10	3	A	T	3	Arqueadura	C
3	11	3	B	R	3		A
	12	3	B	R	5		A
	13	3	M	R	1		A
	14	3	B	R	1	Colapso	C
	15	3	M	R	2		A
	16	3	M	R	4		A
	17	3	M	T	8		A
	18	3	A	T	4		A
	19	3	M	T	4		A
	20	3	B	R	6	Colapso	B
	21	3	M	T	9	Alabeado	B

22	3	A	R	3		A
23	3	M	T	3	Arqueadura	B
24	3	M	R	3		A
25	3	M	T	7		A
26	3	B	T	5		A
27	3	B	T	3		A
28	3	B	T	1		A
29	3	B	R	9		A
30	3	B	R	8	Grieta	B
31	3	B	T	6		A
32	3	B	R	2	Colapso	C
33	3	B	T	4		A
34	3	A	T	6		A
35	3	B	R	4		A
36	3	B	T	8		A
37	3	B	T	2		A
38	3	B	R	10		A
39	3	M	T	6	Torcedura	B
40	3	A	T	8	Grieta	C
41	3	A	T	2		A
42	3	A	R	2	Alabeado	B
43	3	M	T	2		A
44	3	A	R	4		A
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
4	1	4	B	T	4	A

	2	4	M	T	1		A
	3	4	M	R	4	Arqueadura	B
	4	4	A	T	1		A
	5	4	B	T	1		A
	6	4	A	R	1		A
	7	4	M	T	2		A
	8	4	M	T	4	Colapso	B
	9	4	M	R	2		A
	10	4	A	T	2		A
	11	4	B	R	2	Colapso	B
	12	4	M	T	3		A
	13	4	M	R	3		A
	14	4	B	R	3		A
	15	4	B	T	5	Grieta	B
	16	4	B	R	1		A
	17	4	M	R	1	Colapso	B
	18	4	B	T	3		A
	19	4	B	R	4		A
	20	4	B	T	2		A
	<hr/>						
	1	5	B	T	1		A
	2	5	B	R	2		A
5	3	5	B	T	4		A
	4	5	B	T	5		A
	5	5	B	T	2		A

6	5	A	R	1		A
7	5	B	R	1	Torcedura	B
8	5	B	T	3	Arqueadura	B
9	5	A	T	1	Arqueadura	B
10	5	A	R	2		A
11	5	M	R	1	Rajadura	B
12	5	M	R	3		A
13	5	M	T	1		A
14	5	A	T	2		A
15	5	B	R	2		A
16	5	M	R	2		A
17	5	M	R	4		A
18	5	A	T	3		A
19	5	M	T	2		A
20	5	B	R	4		A
21	5	M	T	3		A

Anexo 2. Panel fotográfico.



Figura 12. Talado y trozado de árboles.



Figura 13. Cuartones codificados para el reaserrado.



Figura 14. Cepillado de probetas.



Figura 15. Despunte de probetas.

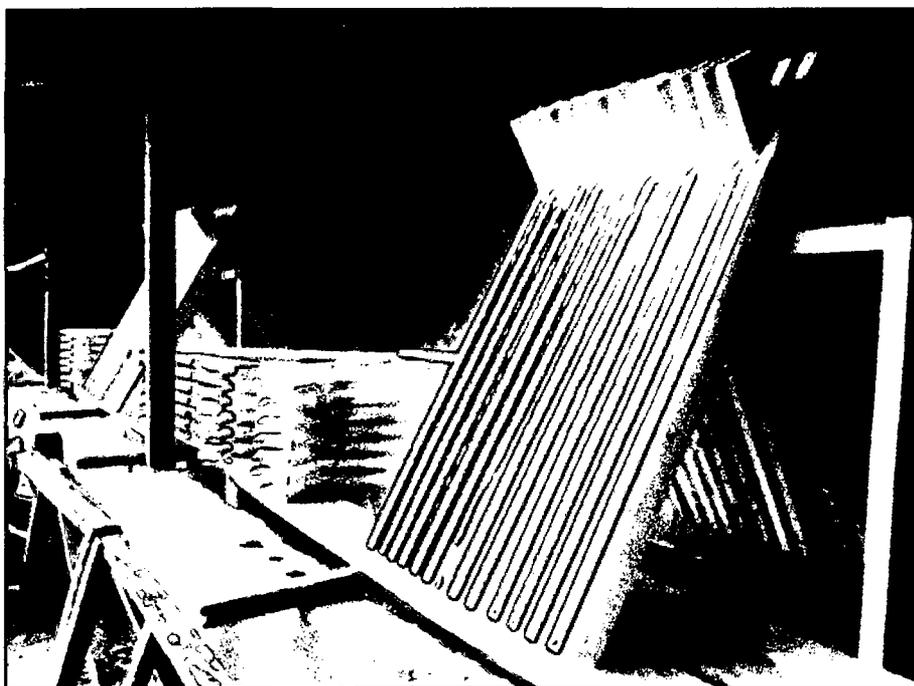


Figura 16. Apilado tipo caballete.

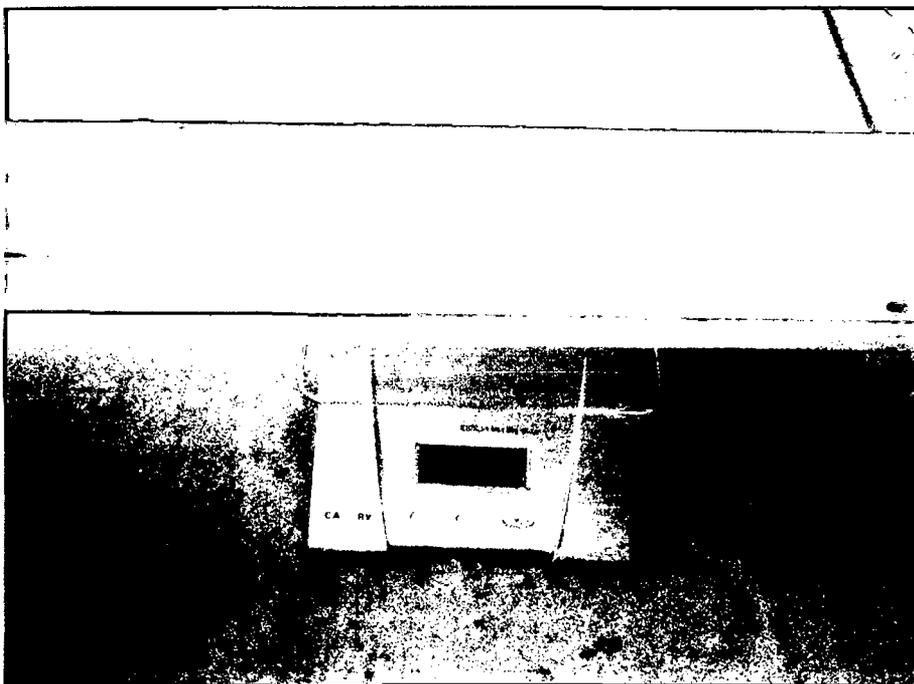


Figura 17. Pesado de probetas para determinar la pérdida de humedad.

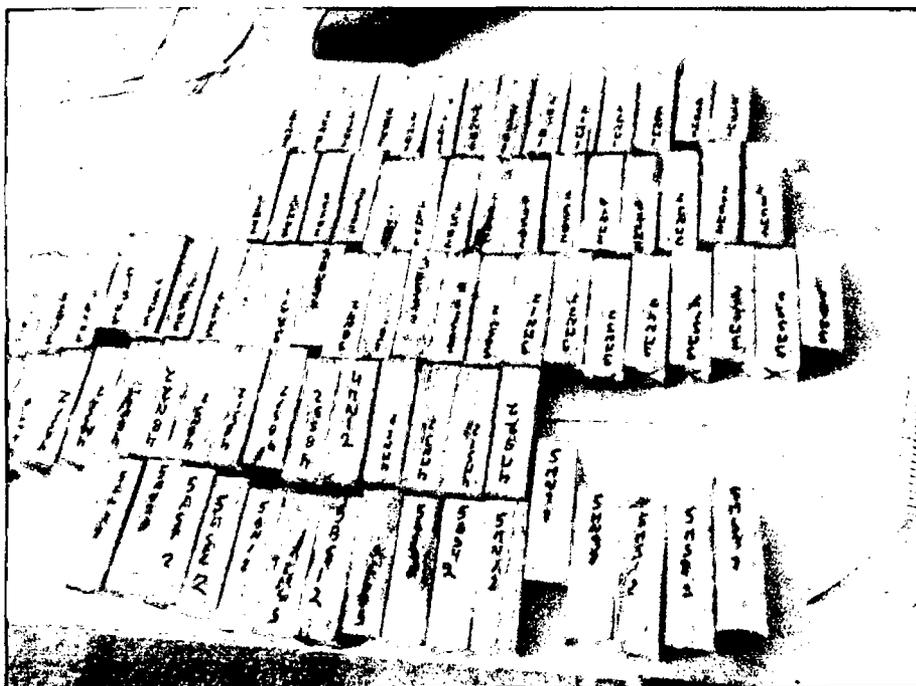


Figura 18. Probetas codificadas para determinar contenido de humedad.

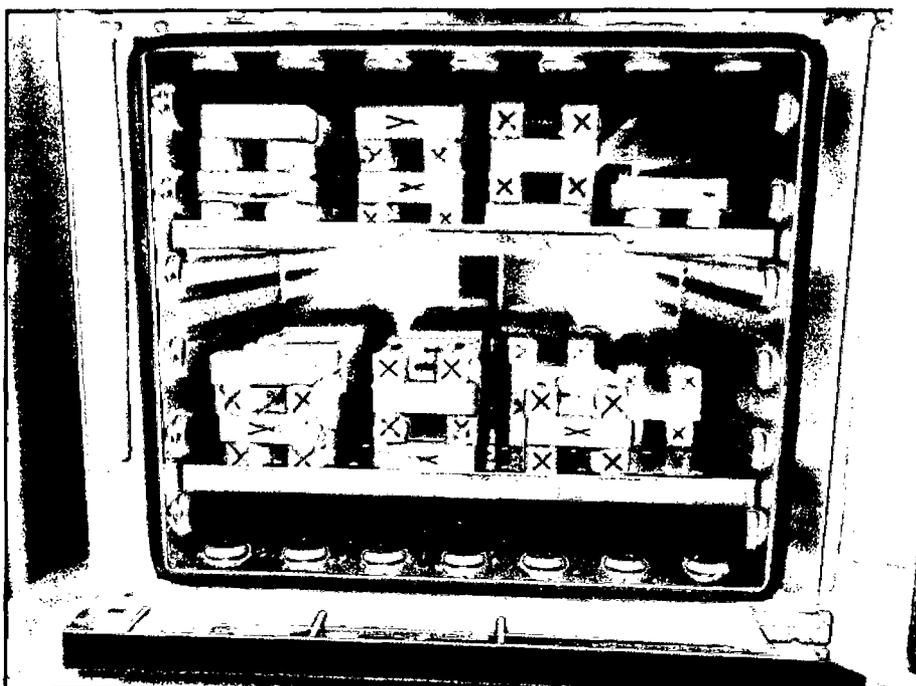


Figura 19. Secado en estufa de probetas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EL ESPECIALISTA EN DENDROLOGIA TROPICAL DE LA FACULTAD DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES, QUE SUSCRIBE:

CERTIFICA

Que, la muestra que tengo a la vista y la observación realizada en campo pertenece a: ***Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var. *Amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby.**

Se expide el presente a solicitud del interesado para los fines pertinentes.

Tingo María, 25 de agosto del 2011.

Ing° Warren Ríos García
Profesor de Dendrología
UNAS