

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y CAMBIO DIMENSIONAL
EN DIFERENTES ALTURAS DE FUSTE DE BOLAINA BLANCA (Guazuma
crinita Mart.) EN LA ZONA TINGO MARÍA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCION FORESTALES**

PRESENTADO POR:

JHONY CARLIN RIVERA SAMANIEGO

TINGO MARÍA - PERÚ

2014



T

FOR

Rivera Samaniego, Jhony Carlin

Variación del contenido de humedad y cambio dimensional en diferentes alturas del fuste de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* c. *Martius*) en la zona de Tingo María

58 páginas; 09 cuadros; 17 fgts.; 21 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. GUAZUMA CRINITA | 2. CONTENIDO DE HUMEDAD |
| 3. CAMBIO DIMENSIONAL | 4. BOLAINA BLANCA |
| 5. ALTURA DE FUSTE | |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de noviembre de 2014, a horas 11:00 a.m. en la Sala de Conferencias del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

“VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y CAMBIO DIMENSIONAL EN DIFERENTES ALTURAS DE FUSTE DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) EN LA ZONA DE TINGO MARÍA”

Presentado por el Bachiller: **JHONY CARLÍN RIVERA SAMANIEGO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“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, 28 de Noviembre de 2014.

Dr. VICENTE POCOMUCHA POMA
PRESIDENTE

Dra. TANIA GUERRERO VEJARANO
VOCAL

Ing. RAÚL ARAUJO TORRES
VOCAL

Ing. MANUEL BRAVO MORALES
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios; todo poderoso por su amor y misericordia infinita por hacer de mí un profesional.

A mis padres Alicia Jovita Samaniego Chavéz y Juan Antonio Puquia Romero; por su inmenso amor, dedicación y entrega brindado durante todo este tiempo para ser cada día mejor.

A mis hermanos Kely J. Rivera, Jhon W. Rivera y Janeth A. Puquia; porque sin ellos no podría haber cumplido este logro y sueño.

A mi señora Zandy Y. Huaman Levano y Mi hija Rihanna Y. Rivera Huaman; porque me dieron amor y la fuerza de cumplir este sueño.

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y elaboración del presente trabajo de investigación, he recibido el valioso consejo y apoyo incondicional de varias personas, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento a todas ellas.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, "mi alma mater" y a todos los docentes que compartieron sus conocimientos para mi formación profesional

En particular agradecer al Ing. Manuel BRAVO MORALES, quien me ofreció su invaluable asesoramiento en la presente investigación. Gracias por su paciencia, empeño y confianza.

A todos mis compañeros de estudios, por haber compartido no solo conocimientos, también anécdotas y travesuras. Todo esto ha servido para profundizar más mis conocimientos.

A mis amigos (as) Miguel A. Vega Ramírez, Dean H. Rubina López, Luis M. Zavaleta Rengifo, Jhon K. Vega Cortez, Carlos A. Castillo Coral, Ciles R. Rodríguez Del Castillo, Jhony Rengifo Sol Sol, Ross D. Montoya Aquino, Any. M. Torres Guerra, Vicky Berrospi Macedo, por su incondicional apoyo durante el desarrollo de mi carrera profesional y la confianza que me brindaron para formarme como persona en la vida cotidiana y laboral.

A todas las personas que me brindaron buenos consejos y comparten la alegría conmigo.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	Generalidades sobre las propiedades de la madera	3
2.2.	Principales propiedades físicas de la madera	4
2.2.1.	Contenido de humedad	4
2.2.2.	Densidad	8
2.2.2.1.	Densidad y peso específico	11
2.2.2.2.	Densidad básica de la madera	12
2.2.2.3.	Cambio dimensional	15
2.3.	Características generales de <i>Guazuma crinita</i> Mart.	19
2.3.1.	Aspectos taxonómicos	19
2.3.2.	Características de la madera <i>Guazuma crinita</i> Mart.	19
2.3.3.	Características tecnológicas y físicas	20
2.3.4.	Aserrío y secado	20
2.3.5.	Utilidad	20
2.3.6.	Secado de la madera	21
2.4.	Influencia de los factores externos e internos en la madera	22
2.5.	Factores que inciden en el secado de la madera	24
2.5.1.	Influencia de la estructura anatómica	24
2.5.2.	La higroscopicidad	24
2.5.3.	La anisotropía	24
2.5.4.	La madera	25

2.5.5.	Contenido de humedad.....	27
2.5.6.	Espesor de la madera.....	27
2.5.7.	Despiece de la madera.....	27
2.5.8.	Calidad de la madera.....	28
2.6.	El agua de la madera.....	28
2.6.1.	Agua libre.....	28
2.6.2.	Agua higroscópica.....	29
2.6.3.	Agua de constitución.....	29
2.7.	Comportamiento de la madera durante el secado.....	29
2.8.	Antecedentes sobre estudios similares.....	30
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1.	Ubicación del área de trabajo.....	36
3.1.1.	Lugar de ejecución.....	36
3.1.2.	Ubicación geográfica UTM.....	36
3.1.3.	Ubicación ecológica.....	37
3.1.4.	Condiciones climáticas.....	37
3.2.	Materiales y equipos.....	37
3.2.1.	Material biológico.....	37
3.2.2.	Materiales de campo.....	38
3.2.3.	Equipos de laboratorio.....	38
3.2.4.	Equipos de campo y taller.....	38
3.3.	Metodología en la fase de campo.....	38
3.3.1.	Ubicación y selección de la especie.....	38
3.3.2.	Proceso de obtención de la madera.....	39

3.4.	Metodología en la fase post campo	40
3.4.1.	Aserrado	40
3.4.2.	Obtención de probetas	40
3.4.3.	Codificación de las probetas	41
3.5.	Fase de laboratorio.....	41
3.5.1.	Determinación del contenido de humedad	41
3.5.2.	Método para determinar la densidad.....	42
3.5.3.	Método de determinación de contracción.....	43
3.5.4.	Fase de gabinete	43
3.6.	Análisis estadístico	46
3.6.1.	Análisis de varianza.....	47
3.6.2.	Modelo aditivo lineal.....	48
3.6.3.	Características del experimento.....	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	50
4.1.	Determinación del contenido de humedad a diferentes alturas del fuste de <i>Guazuma crinita</i> Mart.....	50
4.1.1.	Contenido de humedad por nivel.....	51
4.1.2.	Contenido de humedad por orientación.....	52
4.2.	Determinación de los cambios dimensionales a diferentes alturas del fuste de Bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	54
4.2.1.	Contracción tangencial total (CTt) en Bolaina blanca	54
4.2.2.	Relación de contracción tangencial y Radial	55
4.2.3.	Contracción radial total (CRt) en Bolaina blanca	57
4.2.4.	Contracción longitudinal (CLt) en Bolaina blanca	59

4.2.5. Contracción volumétrica total (CVt) en Bolaina blanca.....	63
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. RECOMENDACIONES	67
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Clasificación según la contracción volumétrica (CV)	17
2. Clasificación de la madera según la relación de contracción tangencial y radial.	17
3. Factores estudiados y sus niveles correspondientes.....	47
4. Esquema del análisis de varianza del diseño experimental.....	48
5. Análisis de varianza para la variable contenido de humedad en la madera de Bolaina blanca.	50
6. Análisis de varianza para la contracción tangencial en el fuste de Bolaina blanca.	54
7. Análisis de varianza para la contracción radial en el fuste de Bolaina blanca.	58
8. Análisis de varianza para la contracción longitudinal en el fuste de Bolaina blanca.	60
9. Análisis de varianza para la contracción volumétrica en el fuste de Bolaina blanca.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Contenido de humedad en los diferentes niveles del fuste de Bolaina blanca.	51
2. Contenido de humedad en las orientaciones del fuste de Bolaina blanca.	52
3. Contracción tangencial total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.	55
4. Relación entre la contracción tangencial y radial por niveles del fuste de Bolaina blanca.	56
5. Contracción tangencial total en las orientaciones del fuste de Bolaina blanca.	57
6. Contracción radial total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.	59
7. Contracción longitudinal total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.	61
8. Contracciones totales en los niveles del fuste de Bolaina blanca.	62
9. Contracción volumétrica total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.	65
10. Marcado y ubicación de árboles.	76
11. Tumba de árboles muestrales.	76
12. Segmentación de trozas por nivel de fuste.	77

13. Codificación de bloques según nivel de fuste y orientación.....	77
14. Preparación y obtención de probetas.....	78
15. Determinación de variables en condición húmeda.....	78
16. Ubicación de probetas en estufa.....	79
17. Determinación de variables en condición seca.....	79

RESUMEN

Guazuma crinita Mart. es actualmente una especie muy utilizada en plantaciones forestales en la selva Peruana. No obstante, su madera presenta problemas en el proceso de secado, específicamente en el contenido de humedad, en cual sufre deformaciones al momento de secar la madera. Con el propósito de conocer la variación del contenido de humedad y cambios dimensionales en diferentes alturas del fuste de Bolaina blanca en la zona de Tingo María. Para esto se planteó los objetivos de determinar el contenido de humedad y los cambios dimensionales en diferentes alturas del fuste (Base, Medio, Ápice). La investigación se llevó a cabo en la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), en sus dos unidades: Unidad Académica Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal y Unidad Académica Laboratorio de Anatomía de la Madera,

Para la determinación de las variables, se extrajo cinco árboles de Bolaina blanca de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP-251.002, el preparado de las probetas se hizo en el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal y el trabajo final se realizó en el laboratorio de Anatomía. Se utilizó el Diseño en Bloques Completo al Azar (DBCA) con arreglo factorial. El resultado promedio obtenido para el contenido de humedad fue de 85.63 %, la contracción tangencial total fue de 3.30 %, la contracción radial total fue de 5.16 %, la relación tangencial - radial (T/R) fue de 0.64%, la contracción longitudinal total fue de 0.183 %, la contracción volumétrica fue de 8.77 %.

I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la tala de árboles forestales en nuestra Amazonía, ha generado grandes problemas al ambiente, paisaje, sociedad entre otras. En la actualidad se buscan especies forestales de rápido crecimiento, con la finalidad de ser aprovechadas en menor tiempo. Así mismo, la madera durante su vida útil sufre cambios dimensionales como respuesta a las variaciones de contenido de humedad que se registran en su interior. Estos cambios dimensionales se originan debido a que la madera está formada por polímeros que contienen grupos hidroxilos y otros grupos funcionales con oxígeno que atraen a la humedad a través de puentes de hidrógeno.

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) es una especie de rápido crecimiento y de fácil trabajabilidad, sin embargo presenta limitada información con respecto a sus propiedades físicas y cambios dimensionales, es decir presentan pocos estudios que permitan predecir los posteriores usos que se le podrían atribuir a esta especie, tal es así, que el desconocimiento de estas propiedades en los diferentes niveles de altura del fuste está limitando el adecuado aprovechamiento en la industria forestal.

La importancia del presente trabajo, radica en conocer el comportamiento de las propiedades físicas de esta especie para darle un uso

adecuado, debido a que esta viene siendo utilizada en construcciones de viviendas, parihuelas, cajonerías, etc. es por ello que se pretende conocer la humedad y cambio dimensional. Es así que la justificación estaría enmarcado en el buen manejo que se le pueda dar a la especie; ya que en la actualidad se vienen desarrollando proyectos de reforestación en la provincia de Leoncio Prado y selva baja del país.

La inestabilidad dimensional de esta especie ha motivado la investigación de determinar la variación del contenido de humedad y cambio dimensional en diferentes niveles de altura del fuste con la finalidad de mejorar el uso de esta especie. Frente a este contexto surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es la variación del contenido de humedad y cambio dimensional de las probetas provenientes de diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca "*Guazuma crinita* Mart." en la zona de Tulumayo? Como respuesta aseveramos que las propiedades físicas en diferentes partes del fuste (base, medio y ápice) son diferentes. Para esta investigación se planteó los siguientes objetivos:

- Determinar el contenido de humedad a diferentes alturas del fuste (Base - Medio - Ápice) de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).
- Determinar los cambios dimensionales en diferentes alturas del fuste (Base - Medio - Ápice) de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades sobre las propiedades de la madera

La madera presenta grandes variaciones en sus propiedades físicas y mecánicas lo cual es notable la forma en que varían en los árboles de la misma especie, debido a los distintos sitios en que se desarrollan, aun en el mismo árbol por diferentes factores tales como: edad, diámetro, altura, contenido de humedad, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento (HOHEISEL, 1981).

La variación de las propiedades físicas y mecánicas en un árbol es de igual amplitud que la variación de las propiedades físicas y mecánicas entre diferentes árboles de la misma especie en un sitio determinado; los cuales esta variación deben tomarse muy en cuenta en la planificación de los ensayos. (DELGADO, 1981).

Son aquellas propiedades que pueden determinarse sin alterar la integridad de la muestra sometida a ensayo; es decir que pueden definirse mediante la inspección, la pesada, la medida y el secado. También permite explicar las causas correspondientes a la contracción, expansión de la madera y alta resistencia mecánica en relación a su densidad (GRIGORIEV, 1985).

2.2. Principales propiedades físicas de la madera

2.2.1. Contenido de humedad

La presencia de agua en la madera es un hecho conocido, ya que ésta es indispensable para la vida de las plantas. Cuando el árbol es volteado, su madera conserva una cierta cantidad de agua que se localiza tanto en los lúmenes celulares como en la pared celular y en otros espacios que pueden presentarse en la madera. La cantidad de agua existente en la madera puede variar mucho según la especie (pino o eucalipto), el tipo de madera (albura o duramen) y la edad de la madera (madera juvenil o adulta), (ANANÍAS, 1992).

La determinación del contenido de humedad en la madera se hace considerando solo los valores del agua libre y de saturación o higroscópica, de manera que en la práctica la madera se considera totalmente seca cuando alcanza un peso constante al secarla en horno a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$. Es decir que comercialmente la madera estará seca o anhidra al 6% de humedad, que es el valor del agua de constitución química (GONZALES, 1996).

El contenido de humedad de la madera tiene importancia en la utilización, ya que influye en el peso, resistencia mecánica, contracción y expansión, conductividad térmica y acústica, durabilidad, inflamabilidad y permeabilidad. El agua en la madera se encuentra bajo tres formas: agua libre, llenando las cavidades celulares, agua de saturación o higroscópica, infiltradas en las paredes celulares, y agua de constitución, formando parte de la estructura molecular de la madera (ARÓSTEGUI, 1982).

Las características de comportamiento de la madera, están influenciadas por el contenido de humedad de la madera. Así, la humedad de la madera influye de forma determinante en la concepción de procesos tales como el aserrado, desenrollo, cepillado, encolado, barnizado, etc. Respecto del comportamiento, la humedad es un factor determinante en su durabilidad, en su resistencia, peso y sobre todo en sus dimensiones, es decir, que la madera varía sus dimensiones con el contenido de humedad, hinchándose cuando gana humedad y mermando cuando la pierde (VIGNOTE Y JIMÉNEZ, 1996).

En un árbol recién cortado (PÉREZ, 1983 y CUEVAS, 2003), 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 contenido de humedad (CH) que es la masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza anhidra. 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 (PÉREZ, 1983 y CUEVAS, 2003).

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 (PÉREZ, 1983 y CUEVAS, 2003).

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 solo 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 (GRIGORIEV, 1985).

CARTAGENA (2000) añade que el agua es importante cuantitativamente, ella constituye el 80 – 90 % del peso fresco de muchas plantas herbáceas y más del 50 % del peso fresco de las plantas leñosas. Es parte importante del protoplasma, como también de las proteínas y moléculas de lípidos; una reducción en el contenido de agua en estos componentes de la célula, por debajo de un nivel crítico causa cambios en la estructura celular y finalmente la muerte. Unas pocas plantas y órganos de plantas pueden ser deshidratados en condiciones de temperatura ambiental o aún en estufa, como es el caso de algunas semillas, sin perder su viabilidad, pero tienen una marcada reducción en su actividad fisiológica, siempre acompañada por una disminución en el contenido en los tejidos.

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 (HERMINIO, 2003).

2.2.2. Densidad

CHAVE (2006) menciona que hay muchas definiciones acerca de la densidad de madera. Los forestales miden el peso seco de un determinado volumen de madera (secado con aire, con equipo especializado como estufas). Dependiendo del país, la convención de "secado con aire" varía: la fracción de

agua restante en la muestra de madera puede ser del 12 % al 15 %. Esta falta de homogeneidad metodológica provoca confusiones en la literatura científica.

Para la investigación se considera la densidad de la madera como el cociente entre el la masa del material seco con estufa, dividido por la masa del agua desplazada y por su volumen verde (gravedad específica de madera o GSM, WSG en inglés). Este valor requiere de mediciones del peso de la madera seca, combinado con mediciones del volumen verde. Así mismo autor añade que la densidad de madera varía dentro de la planta, durante la vida de la planta y entre individuos de una misma especie. Además, las ramas y las partes exteriores del tronco tienden a presentar densidades de madera más bajas que la médula del tronco (CHAVE, 2006).

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 (ANANÍAS, 1992) 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

ANANIAS (1992) menciona que la densidad se puede usar como estimador de la facilidad con que se deja trabajar la madera (cortar, cepillar, moldurar, etc).

La JUNAC (1984), sostiene que la densidad o peso específico de un cuerpo es la relación que existe entre su peso y su volumen. Esta relación viene expresada en kilos partidos por decímetros cúbicos; o toneladas partidos por metros cúbicos. En las maderas hay que distinguir la densidad absoluta y la aparente. La absoluta es sensiblemente constante, por ser el peso sin huecos de la celulosa y sus derivados, que constituyen la materia leñosa. Sin embargo, la aparente que comprende los vasos y poros de la madera, es muy variable, pues depende del grado de humedad de las maderas

Es importante conocer la densidad, ya que de ella depende en gran parte, el comportamiento de la madera, su adaptabilidad a eventuales tratamientos y modificaciones, así como la posibilidad de utilización que ofrece.¹⁰ La densidad es el cociente entre la masa y el volumen de la madera, la cual varía con la humedad es decir, cuando la humedad crece, la densidad también crece (KARSULOVIC, 1982; PÉREZ, 1983; CUEVAS, 2003).

La mayoría de las propiedades de la madera, sobre todo la fuerza y la rigidez, dependen de la densidad. Las especies relativamente densas son duras y fuertes, debido a que contienen gran parte de sustancias, (lignina, taninos, resinas, sílice, etc.) en la pared celular (ÁLVAREZ Y FERNÁNDEZ, 1992).

2.2.2.1. Densidad y peso específico

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando está en estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra de madera (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

El peso específico es el cociente entre el peso anhidro de una pieza de madera y el peso del volumen de agua desalojada por dicha pieza, a un contenido de humedad dado. Ya que se trata de un cociente entre dos dimensiones iguales. La densidad y el peso específico son numéricamente iguales en condiciones anhidras, siempre que la primera se exprese en el sistema C.G.S. conforme el contenido de humedad aumenta la densidad se hace mayor que el peso específico (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

Para FACHIN (1986), 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. Se puede considerar que las maderas con mayor densidad contienen más agua higroscópica que las de menor densidad y por eso las de mayor densidad tienen mayor contracción que las de menor densidad (DÍAZ, 2005).

FACHIN (1986) ha 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 y DURAN (1979) agrega que también hay otros factores como los climáticos, edafológicos y condiciones silviculturales para el crecimiento a los que denomina externos.

2.2.2.2. Densidad básica de la madera

La COORPORACION CHILENA DE LA MADERA (2003) afirma que la densidad básica 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 varía ampliamente entre diferentes especies y tipos de madera.

Esta propiedad es considerada como uno de los mejores parámetros de calidad, debido a que muchas propiedades físicas y mecánicas de la madera están en función de ella. Además, este parámetro es importante para los procesos de conversión mecánica (aserrío, rebobinado, cepillado), conversión química (pulpa y papel) y tratamientos de la madera como secado, impregnación, aplicación de barnices y pinturas (INFOR - CORFO, 1989).

La densidad básica varía considerablemente entre especies, entre árboles y dentro de árboles individuales (DOWNES *et al.*, 1997). Esta variación se debe tanto a factores propios de cada especie como a las interacciones con el medio ambiente (ZOBEL y JETT, 1995). Las características de la madera como: tipos de células, diámetros de lúmenes y espesor de las paredes celulares, así como el contenido de extraíbles, entre otras, también inciden en la variación de esta propiedad (DOWNES *et al.*, 1997).

Conocer los patrones de variación de la densidad básica, es importante para definir la utilización más adecuada de la madera (TOMAZELLO, 1985), y además, para conocer el grado de homogeneidad de la materia prima que se entrega a la industria forestal maderera (QUILHÓ *et al.*, 2006). Es por ello, que durante estas últimas décadas, las estrategias de muestreo no destructivo para la predicción de la densidad básica promedio del fuste, han adquirido gran relevancia (DOWNES *et al.*, 1997), ya que éstas, han permitido simplificar la evaluación y comparación entre árboles, así como entre plantaciones (IGARTÚA *et al.*, 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, 1984).

Las especies relativamente densas son duras y fuertes, debido a que contienen gran parte de sustancias (lignina, taninos, resinas, sílice, etc.) en la pared celular (ALVAREZ y FERNANDEZ, 1992).

GRIGORIEV (1985) asegura que cualquier aumento en el contenido de humedad podría incrementar la masa de la madera en una tasa mayor que la de su volumen, un aumento en el contenido de humedad ocasionaría una densidad muy elevada. La densidad de la madera tiene influencia sobre las propiedades mecánicas, como resistencia a la flexión, dureza entre otras, es decir, que cuanto más densa sea la madera, más difícil será secarla.

Cuadro 1. Clasificación de la madera según la densidad básica.

Grupo	Rango (g/cm ³)	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).

VIZCARRA (1998) dice que el sistema de clasificación simple y práctico empleado, corresponde a la agrupación de las maderas según su densidad básica (DB), debido a su importancia en el uso y a su relación con la resistencia mecánica.

2.2.2.3. Cambio dimensional

Como la madera tiene un comportamiento anisotrópico, 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 (ANANÍAS, 1992).

La contracción y expansión de la madera son los cambios dimensionales tanto en sentido radial, tangencial y longitudinal, que sufre la madera como consecuencia del cambio de su contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. La causa de estos cambios dimensionales se debe principalmente a la pérdida o entrada del agua higroscópica entre la estructura celulósica de la pared celular. El agua libre no tiene ninguna influencia

en estos cambios (ARÓSTEGUI, 1982). Según RODRÍGUEZ (1998), agrega que en el proceso de Hinchamiento o expansión, la toma de agua por la madera hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras se realiza mediante los mecanismos siguientes: sorción molecular superficial (hasta alcanzar el 8%), Adsorción superficial (hasta alcanzar el 15 – 16%), Condensación Capilar (hasta alcanzar el 30 %).

La contracción 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). La contracción en la dirección tangencial es siempre más importante que la contracción radial y más característico del comportamiento de una madera en cuanto a estabilidad durante el proceso de secado (TUSET, 1981).

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 madera densa tiende a contraerse porque carece de espacios en las cavidades celulares (lúmenes), ocurriendo lo contrario en madera menos densas (ALVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

LEÓN y ESPINOZA (2001) manifiestan que la contracción y expansión es para efectos prácticos una función lineal del contenido de humedad. La contracción y la expansión presentan valores diferentes en las tres direcciones de la madera. La contracción longitudinal (CL) es del orden del 0.1%.

La contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) son las principales responsables del cambio volumétrico.

Cuadro 1. Clasificación según la contracción volumétrica (CV)

Grupo	Rango (%)	Clasificación
I	< de 9	Muy baja (MB)
II	9.1 – 11	Baja (B)
III	11.1 – 13	Media (M)
IV	13.1 – 15	Alta (A)
V	> 15.1	Muy alta (MA)

Fuente: AROSTEGUI, A. 1982.

Cuadro 2. Clasificación de la madera según la relación de contracción tangencial y radial.

Grupo	Rango (T/R) %	Clasificación	Estabilidad
I	Menor de 1.5	Muy baja (MB)	Muy estable (ME)
II	De 1.51 a 2.0	Baja (B)	Estable (E)
III	De 2.1 a 2.5	Media (M)	Mod. estable (M)
IV	De 2.51 a 3.0	Alta (A)	Inestable (I)
V	mayor de 3.1	Muy alta (MA)	Muy inestable (MI)

Fuente: AROSTEGUI, A. 1982

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 T/R las maderas son más acanaladas. Igualmente la contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados encorvadura y arqueadura (ANANÍAS, 1992).

HERMINIO (2003) indica que la contracción normal es la disminución de dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de las fibras. Las contracciones 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, 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 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).

2.3. Características generales de *Guazuma crinita* Mart.

2.3.1. Aspectos taxonómicos

Según MOSTACERO (2002), la clasificación es la siguiente:

Clase : Dicotyledoneae

Orden : Malvales

Familia : STERCULIACEAE

Género : *Guazuma*

Especie : *crinita*

Nombre común : Bolaina blanca

2.3.2. Características de la madera *Guazuma crinita* Mart.

El fuste recién cortado presenta a la albura de color blanco similar al duramen, observándose entre ambas capas un leve y gradual contraste de color. En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco HUE 8/2 10YR y el duramen marrón muy pálido HUE 8/3 10YR. (Munsell Soil Color Charts) (FAO, 2002).

Presenta Lustre o brillo moderado ha elevado, olor no distintivo, grano recto, textura media y vetada o figura satinado brillante en la sección radial por contraste de los radios. Líneas verticales vasculares.

2.3.3. Características tecnológicas y físicas

Según la FAO (2002), esta especie es una madera liviana, que presenta contracciones lineales medias y la contracción volumétrica estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría baja con la categoría media. La densidad básica en esta especie es de 0.41 g/cm³.

2.3.4. Aserrío y secado

La madera presenta resistencia mecánica media, tiene cierta dificultad en el aserrío, su trabajabilidad es moderada con buen comportamiento al lijado, taladrado y moldurado. Durante el secado la madera es estable con muy bajo riesgo de alabeo. Es moderadamente resistente al ataque biológico (EXIMPORTSOLUTIONS, 2006).

2.3.5. Utilidad

La madera es usada en construcción rural y urbana, cajonería, carpintería en general, laminado, fabricación de mondadientes, paletas de chupetes, baja lenguas, palos de fósforos, juguetería; es apta en pulpa para papel (FAO, 2002).

La madera es de buena calidad, aunque blanda y liviana, tiene buena durabilidad. Se le usa en carpintería, elaboración de utensilios pequeños como paletas de chupetes, mondadientes, palos de fósforos y artesanía; en años recientes se le usa crecientemente en la industria de los tableros contrachapados, la corteza interna fibrosa es empleada localmente como material de amarre.

2.3.6. Secado de la madera

La irracionalidad actual de no secar la madera aserrada se manifiesta claramente en las enormes pérdidas económicas, transportando la madera verde desde las lejanas zonas productoras en la Amazonía y Selva Central sobre difíciles caminos de la Sierra hacia Lima, el centro de consumo más importante del país. Se estima que sólo desde Pucallpa a Lima se transportan anualmente alrededor de 50 000 t de agua, lo que equivale actualmente por concepto de flete a aproximadamente 1.8 millones de dólares. (Proyecto "Mejoramiento de los sistemas de extracción y transformación forestal" PNUD/FAO/PER/003).

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. Menciona también, que la madera al secarse mejora sus propiedades tecnológicas, por eso es que prácticamente todas las maderas reciben un acondicionamiento físico antes de su empleo. La eliminación del agua obedece a diversos propósitos, algunos de los cuales, son indispensables para conseguir la buena calidad de los productos acabados.

ANANÍAS (1992), 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. Influencia de los factores externos e internos en la madera

Así como LARSON mencionado por HAYGREEN y BOWYER 1982, señala 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. HAYGREEN y BOWYER (1982), añade 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.

También para GUZMAN mencionado por FACHIN, 1986, 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 aún 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.

Así mismo 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.

2.5. Factores que inciden en el secado de la madera

2.5.1. Influencia de la estructura anatómica

Según SOLANO (1998) considerando que las células son alargadas y en su mayoría dispuestas en el sentido paralelo al eje del árbol, comunicadas entre sí 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.

2.5.2. La higroscopicidad

SOLANO (1998) manifiesta que 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.

2.5.3. La anisotropía

De acuerdo a SOLANO (1998) 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 (PEDRAS, 1997.)

2.5.4. La madera

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

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 cambium; a través del cambium 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).

PEDRAS (1997) 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.

2.5.5. 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.

2.5.6. Espesor de la madera

Según LA UNIVERSIDAD DEL TOLIMA (2003) indica que 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.

2.5.7. 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.

2.5.8. 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 grietas 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. El agua de la madera

Según POMACHAGUA (1993) la madera está constituida por:

2.6.1. 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.

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.

2.6.2. Agua higroscópica

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

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%.

2.6.3. 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.

2.7. Comportamiento de la madera durante el secado

Los factores que influyen en el comportamiento de la madera durante el secado dependen fundamentalmente de la anatomía de la madera.

Según GONZÁLES (1996) la dirección del grano o disposición de los elementos estructurales de la madera influye en la velocidad de secado y en la formación de defectos y deformaciones a través de las perforaciones y de los

poros se verifica la circulación longitudinal y axial de líquidos y gases. Su eficacia depende de estar libre de inclusiones de tilosis y de la permeabilidad de los tejidos circundantes, así como el tamaño, número y distribución. En las maderas de poros difusos, los poros son aproximadamente iguales y están regularmente dispersos, por tanto la circulación de agua tiende a ser más rápida. Las fibras no son muy aptas para la conducción de líquidos, aunque su permeabilidad relativa puede tener notable influencia en la extensión subsiguiente de líquidos procedentes de los vasos. El parénquima, tanto el leñoso como el radial, no favorece la circulación de los líquidos, debido a la presencia de poros simples, pero facilita la salida de vapor de agua a través de aberturas finísimas.

2.8. Antecedentes sobre estudios similares

VALDERRAMA (1984) determinó las propiedades físicas y la variación del tronco de la *Tachigalia longiflora* Ducke y *Selerobium melinonii* Herns, asimismo se estimó en base a la densidad básica sus propiedades mecánicas y usos posibles. *Tachigalia longiflora* Ducke tiene un CH mayor y un peso específico menor que la *Selerobium melinonii* Herns, a pesar de que ambas especies pertenecen a la misma familia. Se han definido patrones de variaciones en el sentido longitudinal y transversal en el fuste. Asimismo, los resultados han permitido estimar tanto para la *Tachigalia longiflora* Ducke, como para *Selerobium melinonii* Herns, a través de todo el fuste, los siguientes usos generales; carpintería de obra, encofrados, obras interiores y exteriores, cajonería (envases livianos).

FACHIN (1986) realizó un estudio para determinar la variación de las propiedades físico mecánicas de la madera de *Parkia velutina* R. Benth, proveniente de los bosques de plantación de 12 años de edad del Centro de Investigación y Desarrollo de Jenaro Herrera (CID-JH), encontrando patrones de variación en el sentido longitudinal del fuste en las propiedades físicas y mecánicas, siendo altamente significativas. Las maderas de niveles inferiores presentan de mejor calidad, por presentar valores de densidad básica mayor y propiedades mecánicas altas. Asimismo, los resultados permitieron estimar a través de todo el fuste los siguientes usos generales: carpintería en general, envases livianos, cajonería, laminados, fabricación de cajas y palos de fósforo.

VÁSQUEZ (1984) en el estudio realizado con la finalidad de determinar la variación de las propiedades físicas de la madera de marupá (*Simarouba amara* Aubl.) en Puerto Almendras. Encontró dos patrones de variación ($p > 0.01$): la tendencia del peso específico básico a aumentar desde la médula hacia la corteza y la tendencia de la relación CT/CR, va aumentar en la sección transversal, desde la médula hasta los tres cuartos de sección. La contracción volumétrica a lo largo del eje del árbol tiende a disminuir hacia la copa ($p > 0.01$), más notable a partir de 1/3 de altura. Y las posiciones radiales cercanas a la médula con las de albura y zona intermedia; así como el nivel base con el nivel cercano a la copa. La madera del nivel superior y la posición radial de madera, de la zona intermedia hacia la corteza, en marupá presentan mayor densidad y son más estables, por lo tanto de mayor calidad.

GOMEZ (1996) en un estudio determinó las propiedades físicas de cinco (05) especies forestales de la familia Annonaceae, así como la estimación

en función a la densidad básica, de sus propiedades mecánicas y usos preliminares. La especie *Xilopia micans* R.E. Fries, posee el mayor valor en lo que respecta al peso específico en relación a las demás especies, originando resistencias mecánicas mayores, y *Guatteria* sp “palometa carahuasca” posee menor peso específico con resistencia mecánica menor. De igual forma, los resultados nos permitieron estimar los usos preliminares para cada especie estudiada de acuerdo a la calidad observada:

- *Diclinanona calycina* : Carpintería y construcción
- *Guatteria schomburgkianae* : Estructuras, carpintería y construcción pesada
- *Guatteria* sp : Estructuras, carpintería y construcción pesada
- *Guatteria* sp : Encofrados y carpintería liviana
- *Xilopia micans* : Estructuras, pisos, cajonería pesada

GALLO (2009) buscando determinar el contenido de humedad en los cortes radial y tangencial en relación a los tres niveles de fuste para capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Bentham)). Encontró que esta especie presenta alta diferencias significativas para el contenido de humedad entre los árboles presentes en los niveles base, medio y ápice del fuste. El contenido de humedad es ascendente desde la parte basal hasta el ápice (tratamientos A y B), habiendo menor contenido de humedad en la parte basal (62.75 % y 61.54%), siguiéndole

la parte media (65.25 % y 63.95%) y la parte del ápice (68.63% y 67.52%) respectivamente con mayor contenido de humedad.

IGARTÚA y MONTEOLIVA (2009) realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de analizar las variaciones en la densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R.Br, según las alturas de muestreo en el fuste, los árboles y el sitio. La densidad de la madera sobre dos rodajas en cada una de cuatro alturas en el fuste (base, altura de pecho, 30 % y 50 % de la altura total). De acuerdo a la edad determinada, parte del material se reunió en dos grupos (26 - 32 años y 9 - 12 años) para los análisis de la varianza bajo modelos mixtos donde el árbol fue considerado como aleatorio. Asimismo, el árbol fue responsable del 74 % de la variación aleatoria total. Dentro del fuste se describió un descenso significativo de la densidad entre la base y la altura del pecho, región a partir de la cual la densidad mantuvo su valor hacia el extremo superior del fuste. Esta tendencia se manifestó en todos los sitios y agrupamientos por edades.

Para determinar la variación de la densidad de la madera (peso seco/volumen verde) de tres poblaciones de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl. en México, GUTIÉRREZ *et al.* (2010) encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) en la densidad de la madera, con promedio de 0.56 g cm^{-3} que pertenece a madera pesada, y una desviación estándar de 0.078 g cm^{-3} . La población de Cintalapa presentó mayor densidad (0.61 g cm^{-3}) que las de Motozintla y Las Margaritas (0.47 y 0.53 g cm^{-3}). La variabilidad encontrada indica la posibilidad de realizar selección por densidad de la madera, en programas de mejoramiento genético.

OMONTE y VALENZUELA (2011) determinaron la variación radial y longitudinal de la densidad básica de la madera, a lo largo del fuste, consideraron en árboles de una plantación de *Eucalyptus regnans* de 16 años, crecida en la Costa de la provincia de Arauco, Chile. Encontraron tres patrones de variación radial para la densidad básica a lo largo del fuste del árbol. En la dirección longitudinal la densidad básica disminuyó desde la base del fuste hasta la altura del 4.5 % y luego aumentó linealmente hasta el 70% de la altura total del árbol. Las mejores alturas de muestreo para estimar la densidad promedio del fuste, fueron al 10 y al 20 % de la altura total del árbol.

SILVA (2005) realizó la investigación que tuvo como objetivo, la determinación de las características anatómicas a nivel macroscópico y microscópico, así como sus propiedades físicas y su variación de acuerdo a niveles, orientación y sección del fuste de la especie madero negro (*Tabebuia billbergii*). Encontró diferencias entre las características de los árboles de colina en comparación con los de terraza, en cuanto a su estructura anatómica, los elementos vasculares tanto su diámetro como longitud presenta una relación directamente proporcional, y fibras tienden a variar en los diferentes niveles del fuste y en sus propiedades físicas, presentó una densidad básica muy alta de 1.017 g/cm^3 , sobrepasando el límite de $>0.75 \text{ g/cm}^3$, como lo menciona (ARÓSTEGUI, 1984), todo esto se debe a las diferencias marcadas de ecosistemas.

TORRES (2009) realizó una investigación en el cético (*Cecropia sciadophylla* mart.), con el objetivo de determinar el contenido de humedad,

densidad básica y cambios dimensionales en la base, medio y ápice del fuste de dicha especie. Encontró diferencia significativa entre las densidades básicas de los árboles; los resultados obtenidos para el contenido promedio de humedad y la densidad básica fueron de 138.67 % y 0.32 g/cm³, encontrándose diferencias significativas entre los niveles del fuste para la densidad básica, siendo el tercer nivel del fuste el que mayor densidad básica obtuvo; mientras que la contracción radial, tangencial, volumétrica y longitudinal en promedio presentaron el 2.71 %, 8.29 %, 10.17 % y 0.28 % respectivamente; sin embargo no se encontraron variaciones en el fuste para las variables contracción volumétrica y tangencial.

ALVAREZ (2009) evaluó las características del secado natural en apilado triangular y en caballete de la especie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. Huamanzamana para la zona de Tingo María, encontró que el contenido de humedad entre bloques (árboles) fue muy significativo (diferentes promedios); no presentó significancia estadística en los niveles del fuste, con valores promedio superior en el nivel medio del fuste (96.97%), seguido de la base (94.26%) y la parte apical (92.21%) en contenido de humedad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de trabajo

3.1.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Facultad de Recursos Naturales Renovables (FRNR) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), en sus dos unidades: Unidad Académica Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal y Unidad Académica Laboratorio de Anatomía de la Madera, políticamente ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

Las muestras fueron tomadas del Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo La Divisoria (CIPTALD), área perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS); ubicado políticamente en el distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado y región Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica UTM

Este : 391441

Norte : 8969978

Altitud : 660 m.s.n.m.

3.1.3. Ubicación ecológica

Según HOLDRIDGE (1987), el area se encuentra en la formación vegetal de bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh – PT).

3.1.4. Condiciones climáticas

El clima se caracteriza por ser cálido y húmedo, con temperaturas medias anuales que oscilan alrededor de los 24 °C. Las precipitaciones pluviales superan los 3 000 mm por año, siendo los meses de mayor precipitación en los meses de noviembre a marzo.

Los suelos del CIPTALD tienen la conformación típica de las llamadas llanuras cuyo relieve está comprendido entre 1 a 5% formando grandes zonas homogéneas. Son suelos con fertilidad muy baja, pesados, arcillosos que dificulta un adecuado drenaje o por lo menos éste es sumamente lento.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico

Se empleó madera de los niveles del fuste de la especie forestal Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), obtenidos de una plantación de 5 años de edad con diámetro promedio de 22 cm y una altura comercial promedio de 12 m. ubicado en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo La Divisoria (CIPTALD).

3.2.2. Materiales de campo

01 wincha de 30 m (para medición del largo del tronco), 01 Cinta métrica, 01 soga de 50 metros, 03 machetes, 03 correctores, 02 formones.

3.2.3. Equipos de laboratorio

Balanza digital con precisión de 0.01g (cc 400g – TS), 01 balanza digital con precisión de 0.1g, 01 vernier digital de 0.01 mm de precisión, 01 estufa eléctrica J.P SELECTA S.A, 01 desecador de laboratorio.

3.2.4. Equipos de campo y taller

01 motosierra STHIL, 01 sierra disco, 01 garlopa eléctrica, equipos para escalar árboles, GPS GARMIN 12XL, cámara fotográfica.

3.3. Metodología en la fase de campo

3.3.1. Ubicación y selección de la especie

Se realizó la identificación y ubicación de las especies en estudio para luego ser seleccionadas de acuerdo a la norma técnica peruana (NTP) - 251.008, el cual establece como mínimo 5 árboles por especie. Para la selección se consideró al azar los árboles de buena altura, calidad excelente del fuste y sin daños biológicos. A cada árbol se le determinó la el diámetro a la altura del pecho (D.a.p.); posterior a esta actividad, a cada árbol seleccionado se realizó un raspado del fuste y a una altura visible, se le codificó con plumón indeleble los

lados cardinales Norte y Sur (N, S). Los árboles tomados, proceden de suelos con fertilidad muy baja, pesados, arcillosos, drenaje lento por lo menos éste es sumamente lento.

3.3.2. Proceso de obtención de la madera

Luego de ubicar y seleccionar los árboles en estudio se procedió a la colección de las muestras, en la cual se tuvo en cuenta la norma técnica peruana (NTP) - 251.008. Se tomaron muestras de los árboles de 5 años de edad con diámetro promedio de 22 cm y una altura comercial promedio de 12 m a tres niveles de altura del fuste (base, medio y ápice), teniendo en cuenta la orientación de los árboles. Para sacar las muestras se prosiguió con las siguientes actividades.

3.3.2.1. Corte o talado

Este proceso de extracción de los árboles en estudio, se realizó con la ayuda de una motosierra y una soga de 50 metros de largo. Para esta actividad también se tomó en cuenta la dirección de caída del árbol para no generar impactos de mayor magnitud en la fauna y flora de dicho lugar.

3.3.2.2. Trozado de los árboles

Se procedió a trozar los árboles apeados en tres trozas a tres niveles del fuste por árbol con una longitud de 1.30 m, las secciones del fuste a extraer fueron el primero en la base de fuste, seguido del fuste medio y

finalmente en la parte apical del fuste, las cuales se codificaron para que no exista confusión en las posteriores actividades.

3.3.2.3. Transporte de las trozas

Una vez obtenidas las trozas del área del sector Tulumayo, se transportó las mismas con la ayuda de una camioneta de la Universidad Nacional Agraria de la Selva a la Unidad Académica de Tecnología y Aprovechamiento de la Madera de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para su posterior transformación en probetas.

3.4. Metodología en la fase post campo

3.4.1. Aserrado

En esta fase se procedió a usar la sierra disco para aserrar las trozas longitudinalmente en tres secciones, obteniendo un tablón central de 7 cm de espesor y dos tapas laterales

3.4.2. Obtención de probetas

En esta operación se obtuvo las probetas o tablillas de las dimensiones establecidas (3 cm x 3 cm x 10 cm) y en las respectivas orientaciones tangencial y radial por nivel de fuste, así mismo cada probeta fue codificada cuidadosamente con tinta blanca para luego ser llevado al lugar para el proceso de secado natural, todo esto de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 251.008 y 251.009.

3.4.3. Codificación de las probetas

Las probetas se codificaron de la siguiente manera: 1AN14, 1AS14, 1MN14, 1MS14, 1BN14, 1BS14. Haciendo las repeticiones de cada una de ellas enumerándole consecutivamente cada muestra.

Dónde:

1AN14 : Árbol uno, ápice norte, Vigüeta uno, cuatro repeticiones.

1AS14 : Árbol uno, ápice sur, Vigüeta uno, cuatro repeticiones.

1MN14 : Árbol uno, medio norte, Vigüeta uno, cuatro repeticiones.

1MS14 : Árbol uno, medio sur, Vigüeta uno, cuatro repeticiones.

1BN14 : Árbol uno, base norte, Vigüeta uno, cuatro repeticiones.

1BS14 : Árbol uno, base sur, Vigüeta uno, cuatro repeticiones.

3.5. Fase de laboratorio

3.5.1. Determinación del contenido de humedad

Se realizó por el método de secado en estufa, como lo menciona la Norma Técnica Peruana NTP 251.010).

Para esta prueba se trasladó las muestras al laboratorio de anatomía en donde se procedió a pesar las probetas obteniendo así el peso

inicial o peso fresco de la muestra (anexo figura 37), luego se colocó en la estufa para un calentamiento gradual por día, a temperaturas desde 30°, 40°, 50°, 60°... 100° C. luego de transcurrido los días y llegado a una temperatura constante de 100° C (anexo figura 39), se procedió a retirar las muestras de la estufa (anexo figura 41) y luego se colocó en el desecador por espacio de 15 minutos, para posteriormente pesar cada una de las muestras, tomándose los datos del análisis para los resultados del peso al horno (Psh).

3.5.2. Método para determinar la densidad

La densidad se determinó siguiendo la norma NTP-251.011 en primer lugar se pesó las probetas recién cortado en estado húmedo para obtener el peso húmedo (Ph). El volumen húmedo (Vh) se determinó en forma indirecta por el principio de Arquímedes, que ha consistido en sumergir la probeta de un peso conocido en agua sin tocar el fondo del recipiente y se registró el incremento de peso correspondiente que representó el volumen de la probeta.

Seguidamente se colocó las probetas en la estufa, donde se le aplicó calentamiento gradual por cada día, iniciando a 30 °C, seguido a 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, y finalmente a 103 °C \pm 2 °C, dejando a esta temperatura por un periodo no menor de 20 horas; luego se retiraron las probetas de la estufa, se dejó enfriar por medio del desecador y se pesó, este tratamiento se repitió hasta alcanzar un peso constante, dicho de otra manera hasta determinar el peso seco al horno (Psh), posteriormente las probetas fueron parafinadas para determinar el volumen seco al horno (Vsh) en forma indirecta por inmersión en agua por principio de Arquímedes ya indicado anteriormente.

3.5.3. Método de determinación de contracción

Para determinar esta propiedad, se utilizó la metodología de determinación de la contracción ó cambio dimensional, en la madera siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP 251.012. Para esta prueba se tomaron las medidas de ambas caras nuevamente (cara tangencial y cara radial); se utilizó el micrómetro digital y luego se procedió a la medición de la sección longitudinal del largo de la probeta.

3.5.4. Fase de gabinete

El contenido de humedad en base seca se determinó utilizando la 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

Para determinar la densidad saturada se utilizó la fórmula:

$$DS = \frac{Ph}{Vh}$$

Donde:

DS = densidad saturada (g/cm³).

Ph = peso húmedo (g).

Vh = volumen húmedo (cm³).

Para determinar la densidad básica se utilizó la fórmula:

$$DB = \frac{Psh}{Vh}$$

Donde:

DB = densidad básica (g/cm³).

Psh= peso seco al horno (g).

Vh = volumen húmedo (cm³).

Para determinar la densidad anhidra se utilizó la fórmula:

$$DA = \frac{Psh}{Vsh}$$

Donde:

DA = densidad anhidra (g/cm³).

Psh= peso seco al horno (g).

Vsh= volumen seco al horno (cm³).

Para determinar la contracción tangencial total se utilizó la fórmula:

$$CTt = \frac{dth - dtsh}{dth} \times 100$$

Donde:

CTt = contracción tangencial total.

Dth = dimensión tangencial húmeda.

Dtsh = dimensión tangencial seca al horno.

Para determinar la contracción radial total se utilizó la fórmula:

$$CRt = \frac{drh - drsh}{drh} \times 100$$

Donde:

CRt = contracción radial total.

Drh = dimensión radial húmeda.

Drsh = dimensión radial seca al horno.

Para calcular la contracción longitudinal total se utilizó la fórmula:

$$CLt = \frac{dlh - dlsh}{dlh} \times 100$$

Donde:

CLt = contracción longitudinal total

Dlh = dimensión longitudinal húmeda

Dlsh = dimensión longitudinal seca al horno

Para calcular la contracción volumétrica total se utilizó la fórmula:

$$CV_t = \frac{v_h - v_{sh}}{v_h} \times 100$$

Donde:

CVt = contracción volumétrica total.

Vh = volumen húmedo.

Vsh = volumen seco al horno.

3.6. Análisis estadístico

Los datos se analizaron bajo un Diseño en Bloque Completo al Azar (DBCA) con un arreglo factorial de 3A X 2B, y para comparar la diferencia entre promedios se utilizó la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 95 %.

Cuadro 3. Factores estudiados y sus niveles correspondientes.

Fuste (A)	Orientación (B)	Combinación
Base (a ₁)	Norte (b ₁)	(a ₁ b ₁)
	Sur (b ₂)	(a ₁ b ₂)
Medio (a ₂)	Norte (b ₁)	(a ₂ b ₁)
	Sur (b ₂)	(a ₂ b ₂)
Ápice (a ₃)	Norte (b ₁)	(a ₃ b ₁)
	Sur (b ₂)	(a ₃ b ₂)

Se empleó 05 árboles de Bolaina blanca, siendo los factores independientes los niveles del fuste (A) y la orientación (B), y los factores dependientes el contenido de humedad, contracción tangencial, contracción radial y relación tangencial/radial.

3.6.1. Análisis de varianza

Para el análisis de los datos en cada variable con respecto a las propiedades físicas se utilizó el análisis de varianza y en las pruebas de comparación de medias de los niveles fue a través de la prueba Duncan (95 %)

Cuadro 4. Esquema del análisis de varianza del diseño experimental.

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloque	$r-1 = 4$
Fuste (A)	$a-1 = 2$
Orientación (B)	$b-1 = 1$
Interacción (A * B)	$(a-1)*(b-1) = 2$
Error experimental	$(t-1)*(r-1) = 20$
TOTAL	29

3.6.2. Modelo aditivo lineal

El modelo matemático se ha basado en un experimento factorial de la forma 3A x 2B, donde A representa al fuste y B la orientación, la investigación se realizó bajo un Diseño en Bloque Completo al Azar, cuya ecuación es:

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

Donde:

μ = Representa la media global.

B_k = efecto del bloque k.

α_i = Efecto del factor A (fuste).

β_j = Efecto del factor B (orientación).

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre el factor A y B

ε_{ij} = Efecto del error experimental.

Para:

I = 1, 2, 3 niveles de fuste.

J = 2 orientaciones (norte y sur).

K = 1, 2, 3 bloques.

3.6.3. Características del experimento

Factor 1	: Fuste
Factor 2	: Orientación
N° de repeticiones	: 6
N° de unidades experimentales	: 30
Bloques	: 5 (arboles)
Tratamientos	: 6
N° total de probetas	: 180

Las diferencias de humedad entre los árboles de la misma especie, se deben a los sitios (características del suelo) 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 (ANANÍAS, 1992).

4.1.1. Contenido de humedad por nivel

Seguidamente se determinó que la base del fuste presentó mayor contenido de humedad (98.46%) siendo estadísticamente superior que al nivel Medio (80.83%) y Ápice (77.61%), LARSON (1982) señala 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.

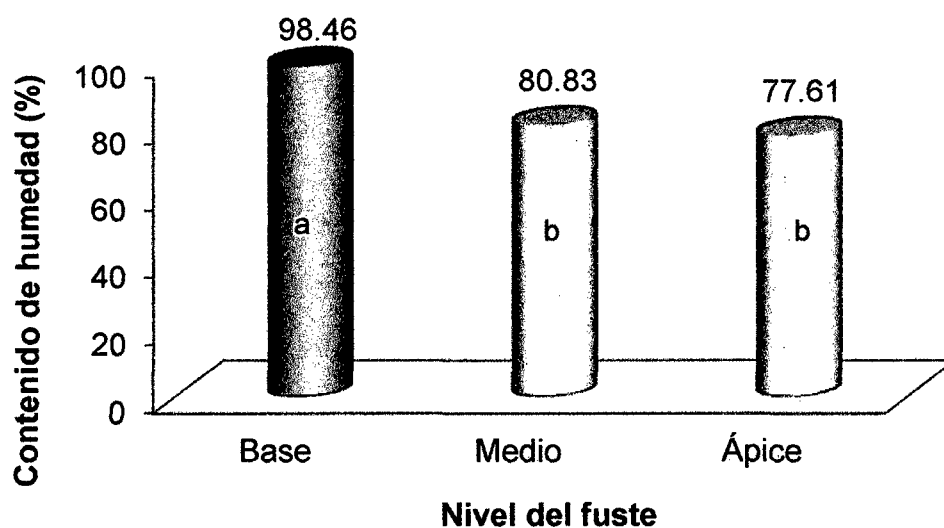


Figura 1. Contenido de humedad en los diferentes niveles del fuste de Bolaina blanca.

Las muestras de madera extraídas de la parte apical del fuste, ha presentado menor cantidad de agua entre sus lúmenes, siendo similar al agua encontrada en la parte media del fuste, pero diferentes a las muestras de la madera extraída del nivel basal del fuste (Figura 1).

MORA (1983) afirma que la proporción de albura y duramen varía para las diferentes especies y aun dentro de la misma especie y que el contenido de humedad de albura y duramen es variable, pero en sentido general, el duramen tiene menos humedad que la albura.

4.1.2. Contenido de humedad por orientación

El CH en las muestras extraídas ubicadas en las dos orientaciones del fuste, no presentó diferencia significativa, mientras que numéricamente las probetas extraídas de la orientación sur (85.75%) se encontró mayor CH respecto a la orientación norte (85.52%) (Ver Figura 2).

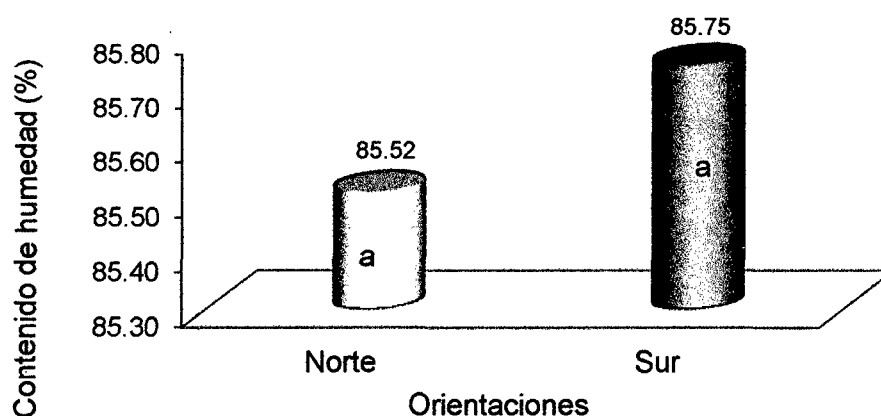


Figura 2. Contenido de humedad en las orientaciones del fuste de Bolaina blanca.

No se encontró diferencia estadística significativa por las orientaciones del fuste de Bolaina blanca, pero hubo una pequeña variación numérica de contenido de humedad entre las orientaciones, esto se debe a que hay diferencia de anillos de crecimiento en las orientaciones, y se debe a la médula excéntrica que presentaron los árboles en su desarrollo, esto por causa de factores ambientales que dificultaron su desarrollo (SILVA, 2005).

El contenido de humedad influye en la capacidad mecánica, es decir a menor contenido de humedad 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 (CUEVAS, 2003).

La irracionalidad actual de no secar la madera aserrada se manifiesta claramente en las enormes pérdidas económicas, transportando la madera verde desde las lejanas zonas productoras en la Amazonía y Selva Central sobre difíciles caminos de la sierra hacia Lima, el centro de consumo más importante del país. Se estima que sólo desde Pucallpa a Lima se transportan anualmente alrededor de 50 000 tn de agua, lo que equivale actualmente por concepto de flete a aproximadamente \$ 1.8 millones (IIAP, 1995).

4.2. Determinación de los cambios dimensionales a diferentes alturas del fuste de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

4.2.1. Contracción tangencial total (CTt) en Bolaina blanca

Estadísticamente, la contracción tangencial determinada en las probetas extraídas de los cinco árboles y los niveles (base, medio, ápice) no fue significativa. Mientras que en la orientación del fuste presentó diferencia estadística en sus contracciones, ni hubo interacción entre los niveles del fuste con la orientación (Cuadro 6). El coeficiente de variación para esta variable fue 13.79 % (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para la contracción tangencial en el fuste de Bolaina blanca.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	4	1.73	0.43	2.09	0.1203 ^{NS}
Nivel	2	0.45	0.22	1.07	0.3607 ^{NS}
Orientación	1	1.11	1.11	5.37	0.0312 [*]
Interacción	2	0.55	0.28	1.33	0.2865 ^{NS}
Error	20	4.15	0.21		
Total	29	7.99			

CV = 13.79 %

NS: no significativo, *: significativo

La anisotropía es la característica que hace que la madera al perder humedad varíe sus dimensiones en diferentes proporciones, como la madera

tiene un comportamiento anisotrópico, los cambios dimensionales normales son de magnitudes diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales (SOLANO, 1998). Se determinó que la parte Media del fuste presentó mayor CTt (3.42 %) seguido por la Base (3.35 %) y Ápice (3.14 %) (Figura 3); los resultados obtenidos se asemejan a lo determinado por SOLANO (1998), quien indica que la contracción tangencial varía entre 3.5 % a 15 %.

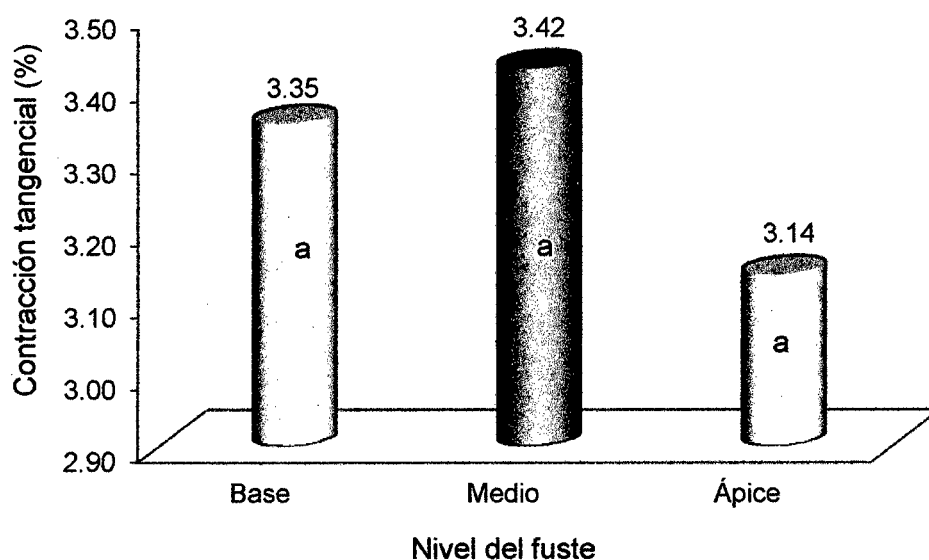


Figura 3. Contracción tangencial total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.

4.2.2. Relación de contracción tangencial y Radial

La relación entre la contracción tangencial y radial (T/R) determinada en Bolaina blanca es de 0.64 %, ubicándose según la clasificación de la madera (Cuadro 2), en el Grupo I, que comprende un rango (T/R) menor de 1.5 %, mostrando una clasificación de Muy Baja (MB) y estabilidad Muy Estable (ME) (AROSTEGUI, 1982). Esta característica nos permitirá predecir si la madera

sufrirá agrietamientos, torceduras u otros defectos durante el secado (JUNAC, 1982); la siguiente figura muestra la relación T/R promedio por niveles de fuste.

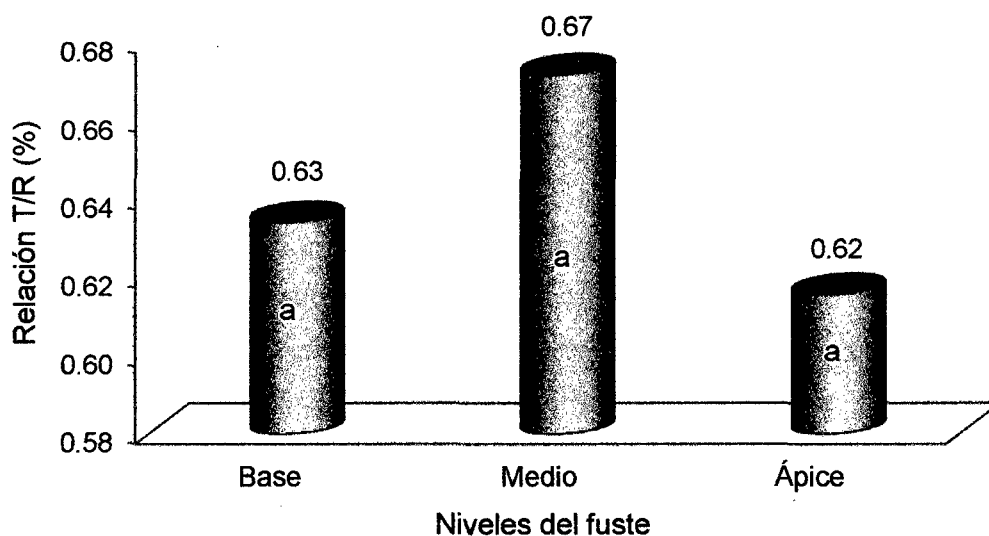


Figura 4. Relación entre la contracción tangencial y radial por niveles del fuste de Bolaina blanca.

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 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 tangencial y radial, significa que la distorsión será mayor en el secado (DÍAZ, 2005). Por otro lado las orientaciones del fuste presentaron diferencia estadística en la contracción tangencial, siendo mayor la CTt en la parte norte (3.49 %) que en la parte sur (3.11 %).

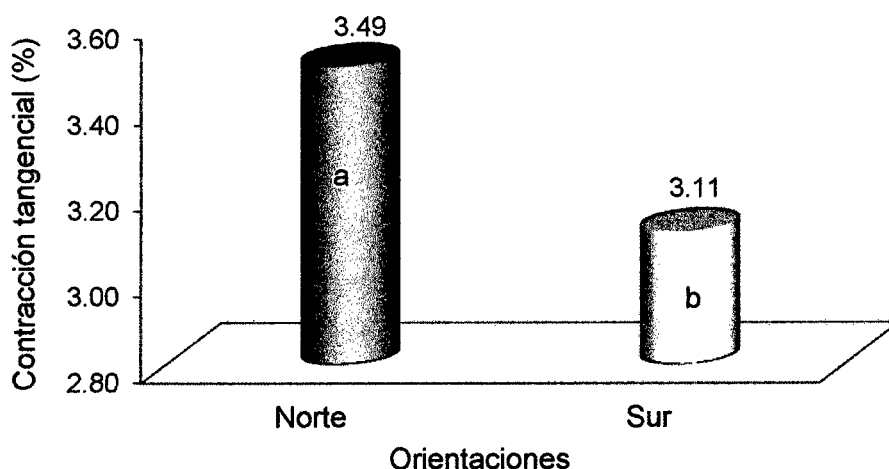


Figura 5. Contracción tangencial total en las orientaciones del fuste de Bolaina blanca.

4.2.3. Contracción radial total (CRt) en Bolaina blanca

El análisis de varianza muestra que entre los cinco árboles evaluados, la contracción radial total expresada en porcentaje es diferente estadísticamente, seguidamente no se halló diferencia estadística entre los niveles del fuste (base, medio, ápice), así mismo la CRt en las orientaciones del

fuste no presentó significancia estadística; ni hubo interacción entre los niveles del fuste con la orientación. El coeficiente de variación para esta variable fue 8.30 %, considerado.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la contracción radial en el fuste de Bolaina blanca.

F.V.	GL	SG	CM	F	p-valor
Bloque	4	3.08	0.77	4.33	0.0111*
Nivel	2	0.76	0.38	2.13	0.1453 ^{NS}
Orientación	1	0.01	0.01	0.07	0.8011 ^{NS}
Interacción	2	0.03	0.01	0.07	0.9319 ^{NS}
Error	20	3.56	0.18		
Total	29	7.44			

CV = 8.30 %

NS: no significativo, *: significativo

La contracción radial total numéricamente fue superior en el nivel Base del fuste (5.28 %), seguido por el nivel Medio y Ápice, con 5.10 % de CRt cada una; seguidamente la orientación sur presentó mayor CRt (5.11 %) que la orientación norte (5.07 %); PEDRAS (1997) señala que la contracción radial total varía entre 2.4 % a 11 %, encontrándose los valores determinados dentro de dicho rango, SOLANO (1998) manifiesta 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. A continuación se presenta la contracción radial (Figura 6).

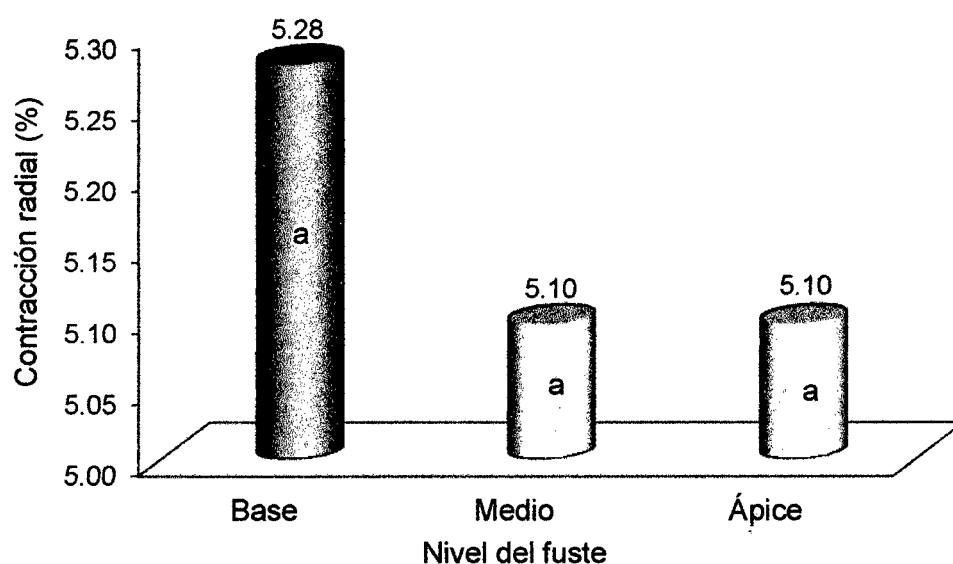


Figura 6. Contracción radial total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.

4.2.4. Contracción longitudinal (CLt) en Bolaina blanca

El análisis de varianza muestra que entre los cinco arboles evaluados, la contracción longitudinal total expresada en porcentaje no es diferente estadísticamente, seguidamente no se halló diferencia estadística entre los niveles del fuste (base, medio, ápice), así mismo la CLt en las orientaciones del fuste no presentó significancia estadística; ni hubo interacción entre los niveles del fuste con la orientación. El coeficiente de variación para esta variable fue 33.71 %.

Cuadro 8. Análisis de varianza para la contracción longitudinal en el fuste de Bolaina blanca.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	4	0.04	0.01	2.44	0.0806 ^{NS}
Nivel	2	0.00014	0.00007	0.02	0.9816 ^{NS}
Orientación	1	0.00033	0.00033	0.09	0.7691 ^{NS}
Nivel*Orientación	2	0.00021	0.0001	0.03	0.973 ^{NS}
Error	20	0.08	0.0038		
Total	29	0.11			

CV = 33.71 %

NS: no significativo, *: significativo

La diferencia de contracción longitudinal entre árboles es debido a la diferencia que existe entre la estructura anatómica de los árboles, ya que HOHEISEL (1981) indica que la característica evaluada va depender de la especie, y por sus propiedades físicas y mecánicas que presentan; por otro lado, las diferencias de contracción 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 la edad, diámetro, altura, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento.

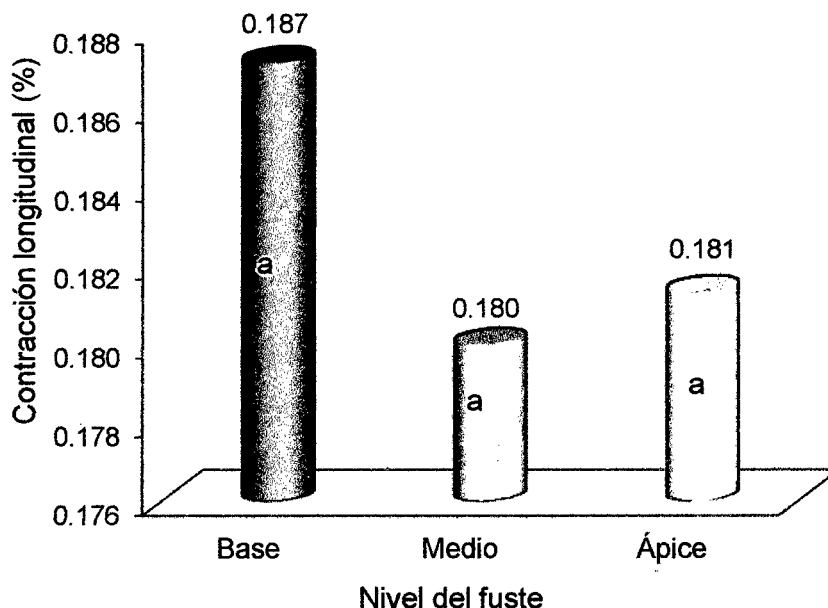


Figura 7. Contracción longitudinal total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.

La contracción longitudinal total numéricamente fue superior en el nivel Base del fuste (0.187 %), seguido por el nivel Medio (0.180 %) y Ápice (0.181 %), seguidamente la orientación sur presentó mayor CLt (0.186 %) que la orientación norte (0.179 %), PEDRAS (1997) manifiesta que la contracción longitudinal varía entre 0,1 % a 0,9 %, mientras que ANANIAS (1992) señala que la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera, así mismo indica que la limitada contracción longitudinal que se encuentra en la madera es debida a la orientación longitudinal de los principales tejidos constituyentes de la madera. La contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados encorvadura y arqueadura.

De manera general, la contracción radial fue superior a la contracción tangencial y longitudinal, encontrando valores en las probetas extraídas de la base del fuste de 5.28 %, 3.35 % y 0.187 % respectivamente; las probetas extraídas de la parte media presentaron valores de 5.10% de contracción radial, 3.42 % de contracción tangencial y 0.180 % de contracción longitudinal; en las probetas de la parte apical se encontró 5.10 % de contracción radial, 3.14 % de contracción tangencial y 0.181 % de contracción longitudinal (Figura 8).

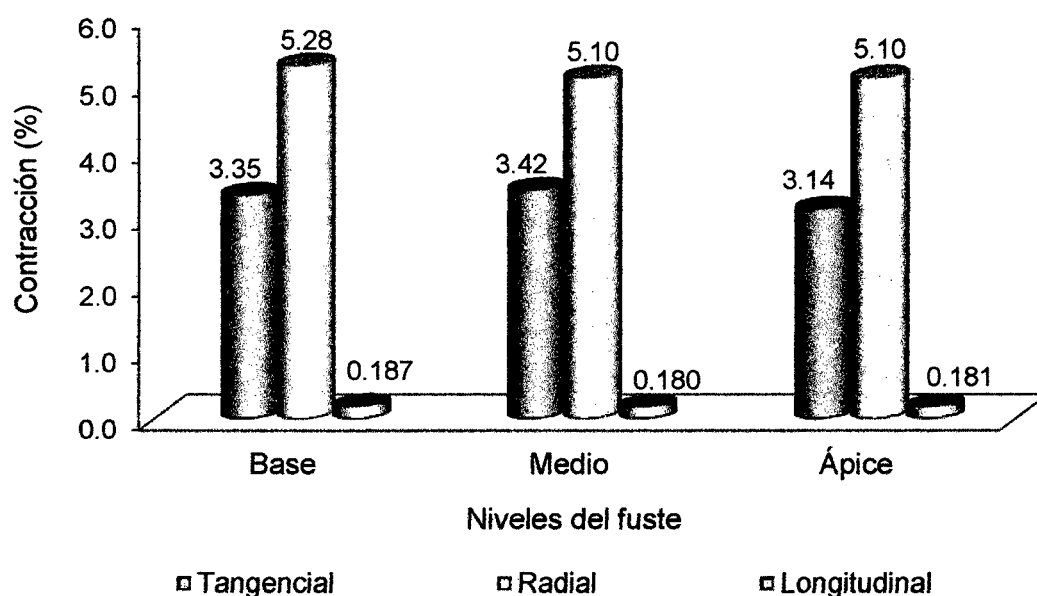


Figura 8. Contracciones totales en los niveles del fuste de Bolaina blanca.

Las tres contracciones en la madera presentan valores diferentes como afirma ANANÍAS (1992), al indicar que los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales, 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.

Los cambios dimensionales tangencial y radial son el resultado de las diferencias entre la cantidad y la estructura de las paredes celulares en la madera temprana y tardía. La contracción y la dilatación tangenciales son controladas por la madera tardía, ya que esta parte del incremento de crecimiento es lo suficientemente fuerte para forzar la madera temprana a cambiar junto con ella. Los cambios dimensionales radiales son la sumatoria de las contribuciones de cada porción del incremento anual, son menores que en la dirección tangencial (SILVA, 2005), lo cual es similar a lo encontrado en la presente investigación debido a las características propias de los árboles utilizados que es influencia de varios factores como el suelo, viento, iluminación y labores silvícolas empleadas (HOHEISEL, 1981).

4.2.5. Contracción volumétrica total (CVt) en Bolaina blanca

El análisis de varianza muestra que entre arboles evaluados la CVt no es significativa, seguidamente la CVt en los niveles del fuste (base, medio, ápice) es diferente significativamente, al igual que en las orientaciones del fuste. El coeficiente de variación para esta variable fue 4.3 %, considerado según CALZADA (1996) como coeficiente "regular", lo que muestra el grado de heterogeneidad de dicha variable (Cuadro 9)

Cuadro 9. Análisis de varianza para la contracción volumétrica en el fuste de Bolaina blanca.

FV	GL	SC	GM	F-valor	p-valor
Bloque	4	0.39	0.1	0.72	0.586 ^{NS}
Niveles	2	2.06	1.03	7.58	0.0035 *
Orientación	1	0.93	0.93	6.8	0.0169 *
Interacción	2	0.82	0.41	3.02	0.0715 ^{NS}
Error	20	2.72	0.14		
Total	29	6.93	23.292		

CV=4.3%.

NS: no significativo, *: significativo

La diferencia estadística de contracción volumétrica encontrada en los tres niveles del fuste y las dos orientaciones, es debido a las diferencias de humedad entre los árboles de la misma especie, debido a los sitios o condiciones ambientales, donde se desarrollaron, los diferentes factores tales como el diámetro a la altura del pecho, altura total del fuste, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento (HOHEISEL, 1981).

LEÓN y ESPINOZA (2001) manifiestan que la contracción y expansión es para efectos prácticos una función lineal del contenido de humedad. La contracción y la expansión presentan valores diferentes en las tres direcciones de la madera. La contracción longitudinal (CL) es del orden del 0.1

%. La contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) son las principales responsables del cambio volumétrico.

Estadísticamente, en la parte basal del fuste de los árboles, se ha determinado mayor contracción volumétrica en comparación a la parte media y

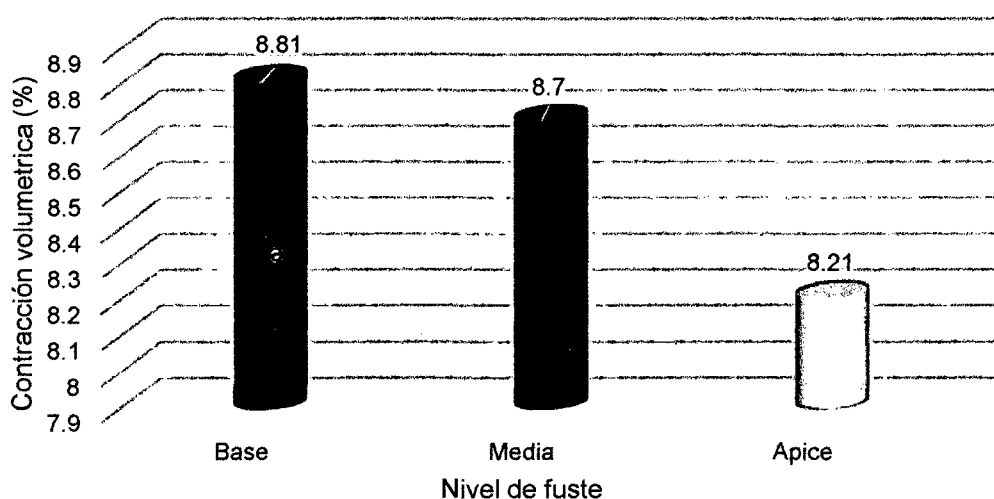


Figura 9. Contracción volumétrica total en los niveles del fuste de Bolaina blanca.

La contracción basal del fuste se debe a que la madera es más compacta en esa parte (Figura 9), resultado similar encontró VÁSQUEZ (1984) en la madera de marupá (*Simarouba amara* Aubl.), donde la contracción volumétrica a lo largo del eje del árbol tiende a disminuir hacia la copa ($p > 0.01$) y es más notable a partir de 1/3 de la altura del fuste. Y las posiciones radiales cercanas a la médula con las de albura y zona intermedia; así como el nivel base con el nivel cercano a la copa.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que el contenido de humedad promedio de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) es 85.63 %, así mismo, se determinó que la base del fuste presentó mayor contenido de humedad (98.46 %) siendo estadísticamente superior que al nivel medio (80.83 %) y ápice (77.61 %).
- La contracción tangencial total (CTt) de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en promedio es de 3.30 %, no encontrándose diferencia estadística entre los niveles del fuste, la parte media presentó una CTt de 3.42 % seguido por la base (3.35 %) y Ápice (3.14 %).

La contracción radial total (CRt) de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en promedio es de 5.16 %, La CRt numéricamente fue superior en el nivel base del fuste (5.28 %), seguido por el nivel medio y ápice, con 5.10 % de CRt cada una. La relación entre la contracción tangencial y radial (T/R) determinada en Bolaina blanca es de 0.64 %, siendo superior en el nivel Medio (0.67 %), seguido por la base del fuste (0.63 %) y el ápice (0.62 %)

La contracción longitudinal total (CLt) de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en promedio es de 0.183 %, en los niveles del fuste la diferencia es no significativa, la base presentó una CLt de 0.187 % seguido por el ápice (0.181 %) y la parte media (0.180 %).

La contracción volumétrica total (CVt) de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en promedio es de 8.77 %, encontrándose diferencia estadística entre los niveles del fuste, la parte basal presentó una CVt de 8.81 % seguido por la parte media (8.7 %) y ápice (8.21 %).

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares en diferentes especies forestales, a fin de poder conocer sus características y fomentar el uso tecnológico eficiente de dichas especies maderables.
- Incluir otros parámetros en las futuras investigaciones como tensión capilar del agua de la madera, flujo de humedad, permeabilidad de la madera, índices de hinchamiento y contracción, para lo cual se requiere contar con equipos necesarios.
- Realizar trabajos de investigación similares en épocas de sequía para obtener datos más reales.

VARIATION OF MOISTURE AND DIMENSIONAL CHANGES IN DIFFERENT HEIGHTS OF SHAFT OF BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) IN THE AREA TINGO MARIA

VII. ABSTRAC

Guazuma crinita Mart. is now a widely used in forest plantations in the Peruvian rainforest species. However, presents problems in its timber drying process, specifically in the moisture content, which undergoes deformation at the time of drying the wood. In order to study the variation of moisture content and dimensional changes in different heights stem Bolaina blanca near Tingo María. For this the objectives of determining the moisture content and dimensional changes in different stem heights (Base, Medium, apex) was raised. The research was conducted at the School of Renewable Natural Resources of the Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), in its two units: Academic Unit Laboratory Workshop Development and Forestry Machinery and Academic Unit Anatomy Laboratory of Wood.

For the determination of the variables, five trees Bolaina blanca according to the International Standard NTP-251 002, the preparation of the samples was extracted at the Workshop on Development and Forestry Equipment Laboratory and the final work was performed in the laboratory Anatomy. Design was used in Complete Random Blocks (DBCA) factorial arrangement. The average result for the moisture content was 85.63%, the total tangential shrinkage was 3.30%, the total radial contraction was 5.16%, tangential relationship - radial (T/R) was 0.64%, longitudinal shrinkage Total was 0.183%, the volumetric shrinkage was 8.77%.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANANÍAS, R. 1992. Física de la Madera. Departamento de ingeniería en maderas. Universidad del Bio-Bio. Chile. 41 p.
- ALVAREZ, H. y FERNADEZ, J. 1992. Fundamentos Teóricos del Secado de la Madera. Madrid. 190 p
- ALVAREZ, H. 2009. Características del secado natural en apilado triangular y en caballete de la especie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. Huamanzamana para la zona de Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 67 p.
- AROSTEGUI, A. 1974. Características tecnológicas y uso de 145 especies del País. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 483 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. Merida – Venezuela 186 p.
- CARTAGENA, J.R. 2000. El agua en las plantas. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 40 p.

- CASTRO; F. 1972. Estudio Anatómico, físico y mecánico de 15 especies tropicales de Iparia. Tesis. UNAC. Huancayo. 98 p.
- CHAVE, J. 2006. Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Manual de campo. PAN – AMAZONIA. Toulouse, France. 7 p.
- COORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. 2003. Manual para la construcción de vivienda en madera. Capítulo I. Chile. 55 p.
- 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.
- 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.
- DOWNES, G.M., HUDSON, I.L., RAYMOND, C.A., DEAN, G.H., MICHELL, A.J., SCHIMLECK, L.R., EVANS, R., MUNERI, A. 1997. Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties. CSIRO Publishing, Melbourne. Australia. 132 p.
- EXIMPORTSOLUTIONS. 2006. Las características de la capirona. [En línea]: Eximportsolutions, ([http://www. eximportsolutions.com/Capirona.html](http://www.eximportsolutions.com/Capirona.html)), documento, 27 Jul. 2011).

- FACHIN M, 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. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. – Perú 98 p.
- GALLO, A.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. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 101 p.
- GOMEZ, T. 1996. Propiedades físicas y estimación de la resistencia mecánica y de algunos usos de la madera de cinco especies forestales de la familia Annonaceae del CIEFOR Puerto Almendras – Iquitos. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- GONZALES, R. 1996. Secado de Madera. UNALM. Lima, Perú. 164 p.
- GRIGORIEV, M. 1985. Estudio para materiales para ebanistas y carpinteros. Editorial MIR MOSCU-URSS. Moscú, Rusia. 246 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.

- 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.
- IGARTÚA, D.V., MONTEOLIVA, S. 2009. Densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br en relación con la altura de muestreo, el árbol y el sitio. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentación (INIA). Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 2009 18(1), 101-110.
- INFOR-CORFO. 1989. Eucalyptus: principios de silvicultura y manejo. Impresos Nova Ltda. Santiago, Chile. 199 p.
- JUNAC (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA). 1984. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. PADT REFORT. Lima, Perú. 53 p.
- KARSULOVIC, J. 1982. Propiedades mecánicas de la madera. Santiago, Chile. Editorial Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de Tecnología de la Madera. 101p.
- LEON, H., ESPINOZA DE PERNIA, N. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de Los Andes. Talleres Gráficos Universitarias. Mérida, Venezuela. 397 p.

- MORA, J. 1983. Propiedades físicas mecánicas de la madera. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Publicaciones. Mérida. 50 p.
- MOSTACERO, J., MEJIA, C., GAMARRA, T. 2002. Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú. Vol 1. Ed. Normas Legales S.A.C. 667 p.
- NTP. 2004. "Maderas. Método de determinación de densidad". Norma Técnica Peruana NTP 251.011. 2 ed. Lima, Perú. 7 p.
- OMONTE, M., VALENZUELA, L. 2011. Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. Maderas. Ciencia y tecnología 13(2): 211-224.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2002. Evaluación de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/AG/aGL/agll/rla128/inia/inia-p4/inia-p4-22.htm>, documentos, 25 Jun. 2011).
- PEDRAS (1997.). Secado de la madera: recomendaciones prácticas. Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera.
- PÉREZ, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 451 p.
- POMACHAGUA, J. 1993. Industria de la madera. 1ra. Ed. Huancayo, Perú. 42 p.

- QUILHO, T., MIRANDA, I., PEREIRA, H. 2006. Within tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). IAWA Journal 27 (3): 243-254.
- 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
- SILVA, J.C. 2005. Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de la especie forestal Madero Negro.
- 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.
- (*Tabebuia billbergii*) o Guayacán. Tesis Ing. Forestal. Pucallpa, Perú. Universidad Nacional de Ucayali. 82 p.
- TOMAZELLO, M. 1985. Variacao radial da densidade básica e da estrutura anatomica da madeira do *Eucalytus saligna* e *E. grandis*. IPEF 29: 37-45.
- TORRES, P. 2009. Determinación d las propiedades físicas a tres niveles del fuste de cético (*Cecropia sciadophylla* Mart.) en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 65 p.

- TUSSET; DURAN, P. 1981. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo Uruguay. 668 p.
- UNIVERSIDAD DEL TOLIMA (2003). Programas y secado de la madera: [En línea]: (<http://www.ut.edu.co/fif/0941/mpp/mpp1.html>, documento, 20 Diciembre. 2009).
- VALDERRAMA, H. 1984. Estudio de las propiedades físicas y su variación en el tronco de la *Tachigalia longiflora* Ducke y *Selerobium melinonii* Herns, en Puerto Almendras. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- VÁSQUEZ, C.L. 1984. Variación de las propiedades físicas en la madera de Simarouba Amara Aubl. (marupa), proveniente de los bosques del CIEFOR Puerto Almendras. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- VIZCARRA, S. 1998. Guía para el secado de la madera en horno. Proyecto de manejo forestal sostenible BOLFOR. Documento Técnico. Santa Cruz, Bolivia. 64 p.
- ZOBEL, B.J., JETT, J.B. 1995. Genetics of wood production. Springer-Verlag, Berlin. Germany. 337 p.

ANEXO

Anexo 1. Panel de fotografías.



Figura 10. Marcado y ubicación de árboles.



Figura 11. Tumba de árboles muestrales.



Figura 12. Segmentación de trozas por nivel de fuste.



Figura 13. Codificación de bloques según nivel de fuste y orientación.



Figura 14. Preparación y obtención de probetas.



Figura 15. Determinación de variables en condición húmeda.

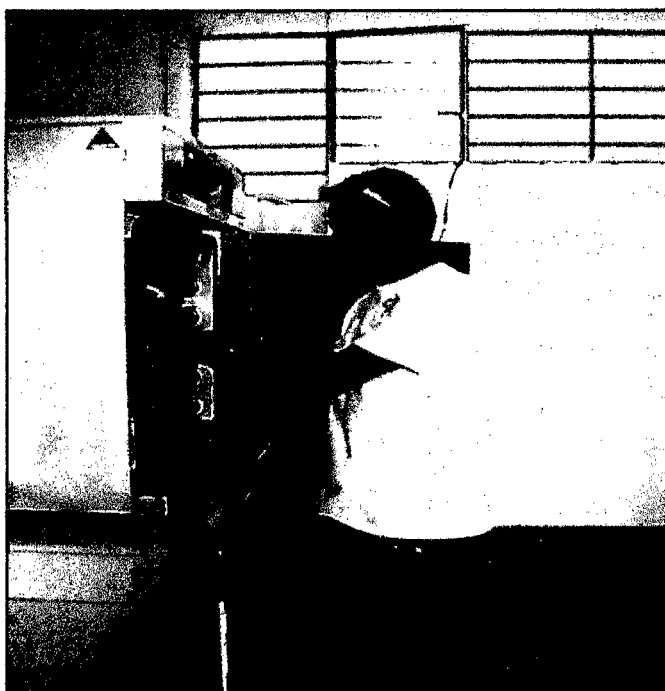


Figura 16. Ubicación de probetas en estufa.



Figura 17. Determinación de variables en condición seca.