

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN DIFERENTES
NIVELES DEL FUSTE DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* C. Martius)
EN TINGO MARÍA

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES

ALDO ANTHONY CÁRDENAS MATTA

PROMOCIÓN 2010 – II

Tingo María – Perú

2012



K10

C26

Cárdenas Matta, Aldo Anthony

Determinación de las propiedades físicas en diferentes niveles del fuste de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en Tingo María - 2012

83 páginas; 11 cuadros; 13 fgrs.; 49 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. PROPIEDADES FÍSICAS | 2. BOLAINA BLANCA | 3. FUSTE |
| 4. COMPARACIÓN | 5. HUMEDAD | 6. DENSIDAD |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS


Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 18 de septiembre del 2012, a horas 05:35 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

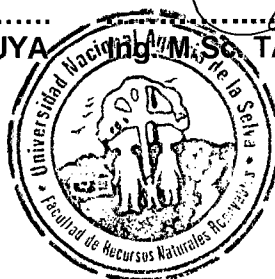
“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN DIFERENTES NIVELES DEL FUSTE DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* C. Martius) EN TINGO MARÍA”

Presentado por el Bachiller: **ALDO ANTHONY, CÁRDENAS MATTA**, 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, 26 de septiembre de 2012.


.....
Ing. M.Sc. RICARDO OCHOA CUYA
Presidente




.....
Ing. M.Sc. TANIA E. GUERRERO VEJARANO
Miembro


.....
Ing. RAÚL ARAUJO TORRES
Miembro


.....
Ing. MANUEL BRAVO MORALES
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por ser la fuente de sabiduría y
bondad infinita que me acompaña
cada día.

A mis padres Octavio CÁRDENAS y
Celestina MATTA por su inmenso
amor, dedicación y entrega brindado
durante todo este tiempo para ser
cada día mejor.

A mis hermanos Tania R. CÁRDENAS
y Patzy F. CÁRDENAS, porque sin
ellos no podría haber cumplido este
logro y sueño.

AGRADECIMIENTO

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 los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables que se esforzaron por entregarme sus conocimientos y experiencias.

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 mis amigos (as) Karen Y. UTIA, Dilver Utia Chavez (qepd), Mónica Pujay Martínez, por su incondicional apoyo durante el desarrollo de mi carrera profesional y la confía que me brindaron para formarme como persona en la vida cotidiana y laboral.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. La madera	3
2.2. Densidad	4
2.2.1. Densidad y peso específico	6
2.3. Contenido de humedad	11
2.3.1. Agua libre o capilar	14
2.3.2. Agua ligada o de impregnación	15
2.3.3. Agua de constitución química	15
2.4. Método para determinar de la densidad en la madera	17
2.4.1. Definiciones para este método	17
2.5. Contracción de la madera	18
2.6. Características generales de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	23
2.6.1. Aspectos taxonómicos	23

2.6.2. Características de la madera <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.....	23
2.6.3. Características tecnológicas y físicas	24
2.6.4. Aserrío y secado.....	24
2.6.5. Utilidad.....	24
2.7. Antecedentes sobre estudios similares	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Lugar de ejecución.....	31
3.2. Materiales y equipos	32
3.2.1. Material vegetal	32
3.2.2. Material de campo	32
3.2.3. Material de laboratorio.....	33
3.2.4. Equipos de campo.....	34
3.3. Metodología	34
3.3.1. Selección de árboles	34
3.3.2. Colección de muestras	35
3.3.3. Método de determinación del contenido de humedad	36

3.3.4. Método para determinar la densidad	37
3.3.5. Método de determinación de contracción	38
3.3.6. Fase de gabinete	38
3.4. Análisis estadístico.....	41
3.4.1. Análisis de varianza.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1. Contenido de humedad en el fuste de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.....	44
4.2. Densidad en el fuste de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.....	48
4.2.1. Densidad saturada.....	48
4.2.2. Densidad anhidra.....	52
4.2.3. Densidad básica	55
4.3. Cambio dimensional en el fuste de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius	60
4.3.1. Contracción radial, tangencial y longitudinal en la madera de bolaina blanca	60
4.3.2. Contracción volumétrica en la madera de bolaina blanca.....	67
V. CONCLUSIONES.....	71

VI. RECOMENDACIONES73

VII. ABSTRACT74

VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS75

IX. ANEXO.....83

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Clasificación de la madera según la densidad básica.....	10
2. Clasificación según la relación de contracción tangencial y radial.	21
3. Análisis de variancia (ANVA).	42
4. Análisis de varianza para la variable contenido de humedad en la madera de bolaina blanca.	44
5. Análisis de varianza para la variable densidad saturada (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.	49
6. Análisis de varianza para la variable densidad anhidra (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.	52
7. Análisis de varianza para la variable densidad básica (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.....	55
8. ANVA de la contracción radial en el fuste de la bolaina blanca.	60
9. Análisis de varianza para la contracción tangencial (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.....	62
10. Análisis de varianza para la contracción longitudinal (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.....	63
11. Análisis de varianza para la contracción volumétrica (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema de los factores que serán evaluados.....	42
2. Contenido de humedad en los diferentes niveles del fuste en la bolaina blanca.	45
3. Contenido de humedad en las orientaciones del fuste en la bolaina blanca.	47
4. Densidad saturada promedio en los diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca.	50
5. Densidad saturada promedio en las orientaciones norte y sur del fuste de la bolaina blanca.	51
6. Densidad anhidra promedio en los diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca.	53
7. Densidad anhidra promedio en las orientaciones norte y sur del fuste de la bolaina blanca.....	54
8. Densidad básica promedio en los diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca.	56
9. Densidad básica promedio en las orientaciones norte y sur del fuste de la bolaina blanca.....	59

10. Contracción radial promedio en las orientaciones del fuste de la bolaina blanca.	61
11. Contracciones promedios en los niveles del fuste de la bolaina blanca.....	65
12. Contracción volumétrica promedio en los niveles del fuste de la bolaina blanca.	68
13. Contracción volumétrica promedio en las orientaciones del fuste de la bolaina blanca.....	69
14. Escalamiento en el árbol para realizar tala dirigida.	84
15. Cuartones con sus respectivas codificaciones.....	84
16. Uso de la garlopa para la obtención de cantos uniformes.....	85
17. Obtención de la densidad por el método de Arquímedes.....	85

RESUMEN

Con la finalidad de determinar las propiedades físicas en el fuste de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius), se ha extraído árboles del centro poblado menor Shiringal, Huánuco con 10 años de edad. La selección y colección de árboles se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP-251.002. Los árboles de bolaina presentaron diferencia estadística en el contenido de humedad incrementa desde la base hacia el ápice (77.6%, 80.8% y 98.4% respectivamente), mientras que en las orientaciones norte y sur (85.5% y 85.8%) no hubo diferencia estadística. Estadísticamente los árboles y sus diferentes niveles del fuste presentaron diferencia en la densidad saturada, y en las orientaciones no hubo diferencia. Estadísticamente, no hubo diferencia significativa referente a la densidad anhidra entre los valores de cada árbol, los diferentes niveles del fuste y las orientaciones. La densidad básica en los cinco árboles, los tres niveles del fuste (0.33 g/cm^3 , 0.32 g/cm^3 y 0.32 g/cm^3) y las orientaciones norte y sur no presentaron diferencias estadísticas. La contracción tangencial (5.16%) fue superior a la radial (3.30%) y longitudinal (0.18%). La contracción volumétrica determinada de los cinco árboles fue estadísticamente diferente; en la parte basal (8.88%) del fuste hubo mayor contracción que la parte media (8.26%) y apical del fuste (8.33%); las probetas extraídas de la parte sur del fuste ha tenido mayor contracción en comparación a las probetas extraídas de la parte norte del fuste.

I. INTRODUCCIÓN

La madera durante su vida útil sufre cambios dimensionales, aumento o disminución, como respuesta a las variaciones de contenido de humedad que se registran en su interior. Los cambios dimensionales de la madera se realizan cuando las paredes celulares de la madera empiezan a perder el agua presente en ellas, a este punto se le denomina punto de saturación de la fibra.

La variación de las propiedades físicas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) presentan limitada información en la zona de Tingo María, es decir presentan pocos estudios que permitan predecir los usos posteriores que se le podrían dar a esta especie, tal es así que el poco conocimiento de estas propiedades en los diferentes niveles de altura del fuste está limitando el adecuado aprovechamiento en la industria forestal, ya que depende de esas características para que esta madera pueda ser trabajada y se le pueda dar un valor agregado en la comercialización.

La inestabilidad dimensional de la madera ante cambios en las condiciones atmosféricas y la poca durabilidad de muchas especies, han motivado la investigación de determinar las propiedades físicas en diferentes niveles de altura del fuste con la finalidad de mejorar el uso de esta especie. En tal contexto surgen diferentes interrogantes como ¿Existirá diferencias en las

propiedades físicas de las probetas provenientes de diferentes niveles del fuste en la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en la zona de Tingo María?. Como respuesta aseveramos que las propiedades físicas en diferentes partes de fuste (base, medio y ápice) son diferentes.

La importancia de la investigación radica en conocer las propiedades físicas de esta especie, que permitirá dar el uso adecuado en los diferentes valores agregados que se le podrían dar y tal es así que la justificación estaría enmarcado en el uso sostenible del aprovechamiento que se le pueda dar a esta especie. Se confirmó la hipótesis de que en los niveles del fuste, las propiedades físicas de la especie bolaina blanca presentan diferencia estadística y planteándose como objetivos lo siguiente:

- Determinar el contenido de humedad en el fuste de bolaina blanca.
- Determinar la densidad saturada (DS), densidad básica (DB) y la densidad anhidra (DA) en el fuste de bolaina blanca.
- Determinar el cambio dimensional en el fuste de bolaina blanca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. 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).

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 (CHAVE, 2006).

El 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.

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.

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. La densidad de las maderas es muy variables, de forma particular las coníferas más utilizadas en la construcción tienen una

densidad comprendida entre 400 y 550 kg/m³ y las frondosas entre 600 y 700 kg/m³. Según su densidad se pueden clasificar en: muy ligera, ligera, semipesadas, pesada, muy pesada. De la densidad depende en gran parte el comportamiento de la madera, su adaptabilidad a eventuales tratamientos y modificaciones, así como la posibilidad de utilización que ofrece (CUEVAS, 2003).

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.

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).

La densidad verde (DV), es la relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV).

La densidad seca al aire (DSA), es la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA).

La densidad anhidra, (DA) la relación entre peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH).

La densidad básica (DB) la relación entre el peso el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). Es la menor de las cuatro. La densidad básica es la que se usa con ventaja ya que las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada.

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.

2.2.1.1. 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)

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.

2.3. Contenido de humedad

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 deshidratadas 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).

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

2.3.1. Agua libre o capilar

Es la parte del agua presente en la madera que se encuentra rellenando el interior de los lúmenes celulares. Su presencia se da cuando el CH es superior al 30%. Es la que da a la madera su condición de verde y es la que ocupa las cavidades celulares (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se va perdiendo por evaporación. Este proceso se produce fácilmente, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. Al llegar a este punto, la madera estará en lo que se denomina "punto de saturación de las fibras", que corresponde a un contenido de humedad variable entre el 21% y 32%. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas de agua y sus cavidades vacías. Durante esta fase de secado, la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, el punto de saturación de las fibras es muy importante desde el punto de vista físico-mecánico (ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ, 1992).

2.3.2. Agua ligada o de impregnación

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

2.3.3. Agua de constitución química

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

La madera recién aserrada contiene cantidades variables de agua, que depende de la época de corta, la región de procedencia, la especie forestal, la edad del árbol, entre otros factores. En general, las maderas livianas contienen mayor cantidad de agua que las maderas pesadas. La albura, formada por células cuya principal función es la conducción de sustancias nutritivas en solución acuosa, presenta un contenido de humedad mayor que el duramen, tejido compuesto por células con acumulación de sustancias infiltradas en las cavidades celulares (JUNAC, 1984).

La variación del contenido de humedad de la madera, por su carácter higroscópico, produce un cambio de sus dimensiones cuando se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras. Esta deformación es debida a que el agua se sitúa dentro de la pared celular entre los elementos que la componen (fibrillas elementales, microfibrillas, entre otras) separándolos o acercándolos, según aumente o disminuya su cantidad. Por encima del punto de saturación de las fibras, el agua que se añade a la madera lo hace en forma de agua libre situándose en el interior de los lúmenes celulares, causa por la cual no se produce hinchazón ni merma. Dado el carácter anisótropo de la madera, el comportamiento es distinto según la dirección elegida, de manera que las variaciones dimensionales no serán las mismas en las direcciones longitudinal, radial y tangencial (RODRIGUEZ y VILLASANTE, 1998).

En las especies frondosas la humedad de la albura no varía y la humedad del duramen disminuye por el tronco hacia arriba. En los árboles jóvenes la humedad es más alta y sus variaciones durante el año son mayores

que en los árboles viejos. El contenido de agua en el árbol varía según la altura y el radio del tronco, así como de la temporada del año (KOLLMANN, 1970).

2.4. Método para determinar de la densidad en la madera

La norma técnica peruana (NTP) 251.011 refiere sobre el “Método para determinar de la densidad en la madera”, está regida por el INDECOPI a través de su área de Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales (NTP. 2004). En el ensayo tenemos: determinación de la densidad en maderas saturadas, preparación de las probetas, dimensión de las probetas, instrumental, determinación del peso, determinación del volumen, medición directa y medición indirecta por inmersión al agua.

2.4.1. Definiciones para este método

2.4.1.1. Madera saturada

A los efectos de esta NTP, se considera como madera saturada aquella que haya alcanzado el máximo contenido de humedad al haber sido previamente sumergida en agua.

2.4.1.2. Madera seca al aire en ambiente normalizado

A los efectos de esta NTP, es aquella que ha adquirido un equilibrio de humedad en un ambiente de 5% más o menos de 2% de humedad relativa y 20 °C más o menos de 1 °C de temperatura.

2.4.1.3. Madera anhidra

Es aquella madera donde se ha eliminado todo su contenido de humedad.

2.5. Contracción de la madera

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

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

Son los cambios dimensionales que experimenta la madera en el sentido radial, tangencial y axial, como resultado del cambio de humedad. La madera como material higroscópico absorbe o cede agua según el medio que lo rodea y siempre trata de ponerse en equilibrio con la humedad del ambiente.

El secado depende de la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Al secarse por debajo del 30% de contenido de humedad se nota la contracción de la madera debido a su estructura anatómica. La madera es un material anisotrópico y se contrae en diferentes formas según las orientaciones dentro del árbol. La adición de agua u otros líquidos polares en la sustancia de la pared celular causa que las microfibrillas se expandan en proporción a la cantidad de líquido que se añade. Esto continúa hasta que alcance el punto de saturación de la fibra. La eliminación de humedad en la pared celular por debajo del punto de saturación de la fibra causa la contracción de la pared celular (SOLANO, 1998).

La causa de los cambios dimensionales se debe a la pérdida o ganancia del agua higroscópica entre la estructura celulósica de la pared celular, se puede considerar que las maderas con mayor densidad contiene más agua higroscópica que las de menor densidad y por eso las de mayor densidad tienen mayor contracción que las de menor densidad. Cuanto mayor es la diferencia en la contracción radial y tangencial, significa que la distorsión será mayor en el secado eventualmente, la madera llega a estabilizar sus dimensiones con un equilibrio de 12% de contenido de humedad (DÍAZ, 2005).

La contracción tangencial es mayor que la contracción radial, una de las razones, es el efecto restrictivo de las células horizontales de los rayos medulares. Cabe resaltar que en la mayoría de las especies la contracción radial es sólo un 50% del valor de la contracción tangencial. Proporcionalmente como un promedio de todas las especies, la contracción en las tres direcciones

principales (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (DÍAZ, 2005).

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

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

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 (ANANÍAS, 1992).

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

Grupo	Rango (T/R)	Clasificación	Estabilidad
1	Menor de 1.5	Muy Baja (MB)	Muy estable (MED)
2	De 1.51 a 2.0	Baja (B)	Estable (E)
3	De 2.0 a 2.5	Mediana (M)	Mod. Estable (M)
4	De 2.5 a 3.0	Alta (A)	Inestable (I)
5	5 Mayor de 3.1	Muy Alta (MA)	Muy Inestable(MI)

Fuente: VIZCARRA (1998).

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

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

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

Donde:

C= contracción

Dv= dimensión en verde

Do= dimensión final a determinado contenido de humedad.

2.6. Características generales de *Guazuma crinita* C. Martius

2.6.1. Aspectos taxonómicos

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

Clase	: Dicotyledoneae
Orden	: Malvales
Familia	: STERCULIACEAE
Género	: <i>Guazuma</i>
Especie	: <i>crinita</i>
Nombre vulgar	: bolaina blanca

2.6.2. Características de la madera *Guazuma crinita* C. Martius

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 a elevado, olor no distintivo, grano recto, textura media y vetado o figura satinado brillante en la sección radial por contraste de los radios. Líneas verticales vasculares.

2.6.3. 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.

2.6.4. 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).

2.6.5. 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.

2.7. Antecedentes sobre estudios similares

VALDERRAMA (1984) determinó las propiedades físicas y la variación del tronco de la *Tachigalia longiflora* Ducke y *Selerobium melinonii* Hems, 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* Hems, 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* Hems, 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 palometa carahuasca (*Guatteria* sp.) 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 schomburgkiana* : 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 Schltdl. 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 cetico (*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/cm^3 , 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. Lugar de ejecución

Para realizar la presente investigación se ha tenido que extraer cinco árboles del predio perteneciente al señor Uziel Escudero, ubicado en el centro poblado menor Shiringal; los árboles de bolaina blanca se encontraban al costado de la carretera que fueron establecidos como en hileras al borde del predio y presentaban aproximadamente 10 años de edad. Los ensayos experimentales se realizaron en el Laboratorio de Propiedades Físicas de la Madera dentro de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, ubicado políticamente en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado y región Huánuco.

Las características de los árboles extraídos fueron las siguientes:

- Árbol 1: 18L 384993; 8990586 hc: 16 m, ht: 24 m, diámetro: 28 cm
- Árbol 2: 18L 3890603; 8990603 hc: 18 m, ht: 26 m, diámetro: 28 cm
- Árbol 3: 18L 385001; 8990595 hc: 13 m, ht: 18 m, diámetro: 24 cm
- Árbol 4: 18L 384995; 8990587 hc: 16 m, ht: 26 m, diámetro: 29 cm
- Árbol 5: 18L 385001; 8990611 hc: 15 m, ht: 25 m, diámetro: 30 cm

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático de Leslie Ransselaer Holdridge, el distrito de Rupa Rupa se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre montano, Sub Tropical (bmh - PST) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú, según Javier Pulgar Vidal, se encuentra en la selva alta o Rupa Rupa.

Las condiciones climáticas, son de temperatura máxima 29.3 °C, mínima 19.5 °C y promedio anual 24.2 °C; precipitación anual 3300 mm y la humedad relativa anual de 80% (EMC JAQ, 2009).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material vegetal

Árboles de *Guazuma crinita* C. Martius (bolaina blanca).

3.2.2. Material de campo

- Motosierra, empleado en la tala de árboles, trozar y habilitar la madera para luego facilitar el transporte.
- Wincha de 30 metros, para determinar la dimensión total del árbol y ubicar la dimensión basal, media y apical del fuste.
- Soga, utilizado como parte de la tala dirigida, de los árboles que causarían daños a las plantaciones existentes.
- Garlopa eléctrica, empleado en el canteado de los tablonos y obtención de caras lisas.

- Sierra disco, empleado para obtener los listones y finalmente las probetas en estudio.
- Calibradora de espesor, utilizado en los listones para determinar el ancho y espesor de las probetas.
- Formones, utilizado en la limpieza de restos de madera adheridas a los dientes en la sierra de disco.
- Plumón indeleble, utilizado para la codificación de las probetas y las orientaciones de los tablones.

3.2.3. Material de laboratorio

- Balanza digital con precisión de 0.01 g, utilizado para pesar las probetas con la finalidad de determinar el volumen.
- Micrómetro digital de 0.001 mm, empleado para la medición del ancho y espesor las probetas.
- Estufa eléctrica, empleado para el secado de las probetas
- Hornilla eléctrica, para calentar el recipiente que contiene la parafina.
- Soporte universal, utilizado para soportar el punzón que esta con la probeta a parafinar.
- Pinza de metal, utilizado para sacar las probetas de la estufa y colocarlos en el desecador.

- Desecador, empleado como recipiente de las probetas que se extraen de la estufa para evitar la ganancia de humedad.
- Parafinas, utilizado para bloquear la entrada de agua por las estructuras de las probetas (vasos).
- Punzón, utilizado para codificar probetas y luego parafinar.
- Recipiente descartable, utilizado para mantener la parafina en estado líquido por efecto del calentamiento de la hornilla eléctrica.
- Agua destilada, utilizado como medio de determinación del volumen seco de las probetas.

3.2.4. Equipos de campo

- Equipos para escalar árboles, que facilitó las labores de realizar tala dirigida.
- GPS, empleado para ubicar las coordenadas de los árboles talados.
- Cámara fotográfica, utilizado en la captación de las imágenes para cada actividad realizada.

3.3. Metodología

3.3.1. Selección de árboles

La selección y colección de árboles se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP-251.002, la que establece un mínimo de cinco

árboles por especie, en este caso se utilizó árboles de la especie forestal bolaina blanca.

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 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).

3.3.2. Colección de muestras

Las muestras se obtuvieron de cada nivel del fuste (base, medio y ápice) y se colectó muestras considerando la dirección norte y sur de la sección transversal del árbol, y se consideraron las siguientes actividades:

El talado; que fue realizado empleando una motosierra y dando una orientación para la caída del árbol.

El trozado y aserrío primario; 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.

El transporte; se realizó con movilidad motorizada desde el predio del señor Uziel Escudero hasta el taller de aprovechamiento y maquinaria

forestal. El aserrío primario; fue la actividad donde las trozas son aserradas longitudinalmente en tres secciones, obteniendo un tablón central de 7 cm de espesor y dos tapas laterales.

La obtención de viguetas; ocurre cuando los tabloncillos fueron reaserrados a distintas dimensiones y orientaciones de corte; para realizar el ensayo de densidad. Se codificó las probetas de la siguiente manera: 1FAN1, 1FAS1, 1FMN1, 1FMS1, 1FBN1, 1FBS1.....; haciendo las repeticiones de cada una de ellas, enumerándole consecutivamente cada muestra.

Donde:

- 1FAN1 : Árbol uno, fuste, ápice, norte, probeta uno
- 1FAS1 : Árbol uno, fuste, ápice, sur, probeta uno
- 1FMN1 : Árbol uno, fuste, medio, norte, probeta uno
- 1FMS1 : Árbol uno, fuste, medio, sur, probeta uno
- 1FBN1 : Árbol uno, fuste, base, norte, probeta uno
- 1FBS1 : Árbol uno, fuste, base, sur, probeta uno

3.3.3. Método de 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 de la Madera en donde se procedió a pesar las probetas, luego se

colocó en la estufa para un calentamiento gradual por día, a temperaturas desde 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y finalmente a 103 °C \pm 2 °C, se procedió a retirar las muestras de la estufa 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).

3.3.4. 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.

3.3.5. 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.

3.3.6. 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

DIh = Dimensión longitudinal húmeda

Dlsh = Dimensión longitudinal seca al horno

Para calcular la contracción volumétrica total se utilizó la fórmula:

$$CVt = \frac{vh - vsh}{vh} \times 100$$

Donde:

CVt = Contracción volumétrica total.

Vh = Volumen húmedo.

Vsh = Volumen seco al horno.

3.4. 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%.

En total se emplearon cinco árboles de bolaina blanca (bloques), las variables dependientes fueron: densidad básica, densidad saturada y densidad anhidra; las variables independientes fueron: puntos cardinales. Los factores fueron: Parte del árbol con niveles de base, medio y ápice, y la orientación Norte y Sur (Figura 1).

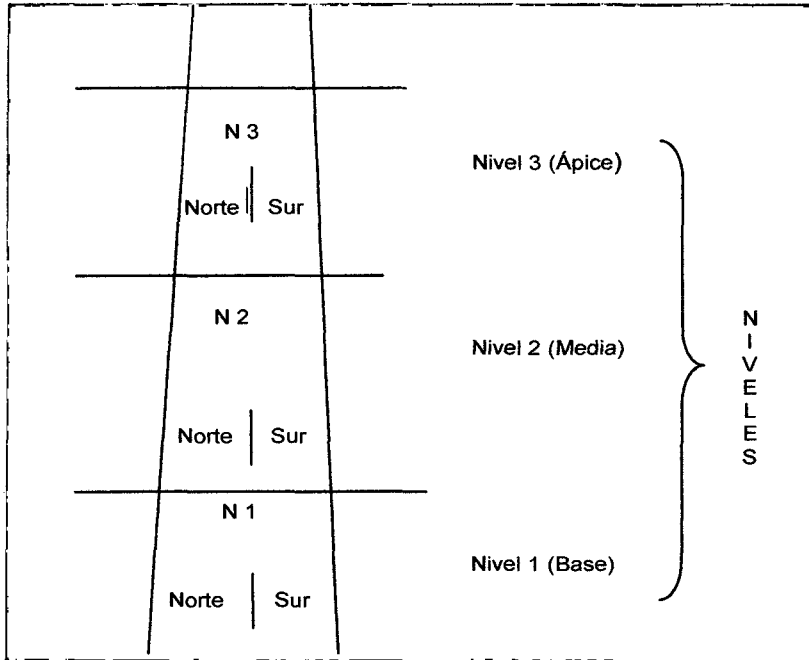


Figura 1. Esquema de los factores que serán evaluados.

3.4.1. 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 Tukey (95%).

Cuadro 3. Análisis de variancia (ANVA).

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloques	$r-1=4$
Parte del árbol (A)	$a-1 = 2$
Orientación (B)	$b-1 = 1$
Interacción (A * B)	$(a-1)*(b-1) = 2$
Error experimental	$(a*b-1)(r-1) = 20$
Total	29

El diseño está representado por el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Bloque}_i + A_j + B_k + (A*B)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Variable respuesta u observación.
- μ : Media poblacional.
- A_j : Efecto del i – ésimo parte del árbol.
- B_k : Efecto del k – ésimo orientación de la parte del árbol
- $(A*B)_{ik}$: Efecto de la interacción del i - ésimo nivel del factor parte del árbol con el j – ésimo nivel del factor orientación de la parte del árbol.
- E_{ijk} : Error experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad en el fuste de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius)

Los cinco árboles talados de la especie bolaina blanca, y los niveles del fuste presentaron diferentes contenidos de humedad, con una significancia estadística; no se encontró diferencia en el contenido de humedad de la muestra extraída de las orientaciones norte y sur, ni hubo interacción entre los niveles del fuste con la orientaciones (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza para la variable contenido de humedad en la madera de bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árboles	4	9742.8	2435.7	4.72	0.0012 *
Niveles	2	15123.7	7561.9	14.64	0.0001**
Orientación	1	2.4	2.4	0.00	0.9452 N.S.
Interacción	2	1423.4	711.7	1.38	0.2548 N.S.
Error	170	87785.1	516.4		
Total	179	114077.5	11228.1		

CV: 26.5%.

La bolaina extraída para el estudio fueron árboles con aproximadamente 10 años de edad, la cual es una variable que ha influenciado en el porcentaje de la cantidad de humedad en los diferentes niveles, como afirma HOHEISEL (1981), al mencionar que la característica evaluada va depender de la especie, y por sus propiedades físicas y mecánicas que presentan; por otro lado, las diferencias de humedad entre los árboles de la misma especie, podrían deberse a los sitios o condiciones ambientales, donde se desarrollan, así como a los diferentes factores tales como: edad, diámetro, altura, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento.

Las muestras de madera extraídas de la parte apical del fuste, ha presentado mayor cantidad de agua entre sus lúmenes, siendo similar al agua encontrada en la parte media del fuste pero diferentes estadísticamente a las muestras de madera extraídas del nivel basal del fuste (Figura 2).

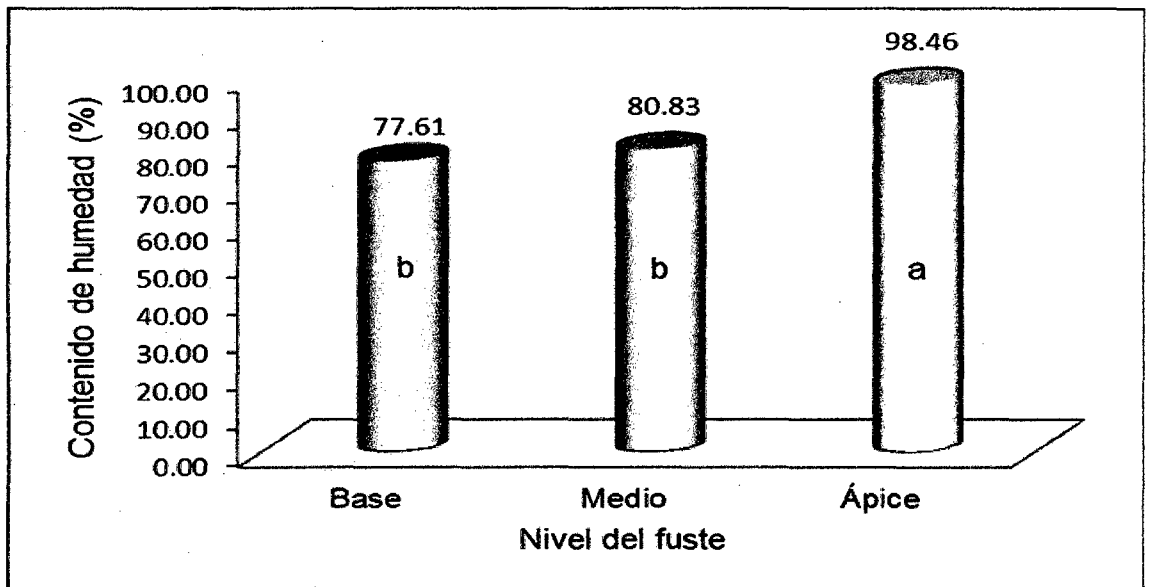


Figura 2. Contenido de humedad en los diferentes niveles del fuste en la bolaina blanca.

Los anillos de crecimiento pueden variar de un año a otro en función de la acción de los factores externos tales como: duración del periodo vegetativo, luz (insolación), temperatura, humedad, precipitación, agua disponible en el suelo y longitud del período de crecimiento. Otro factor es el tratamiento silvicultural. Aspectos relacionados con el espaciamiento, aclareos y competencia entre individuos (BURGER y RICHTER, 1981).

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.

La humedad del fuste en bolaina blanca varía de acuerdo a la altura del fuste, siendo menor en la parte basal del fuste, resultado contrario determinó TORRES (2009) al estudiar al cético (*Cecropia sciadophylla* Mart), donde encontró diferencias significativas en el contenido de humedad entre los niveles del fuste y reafirma que el contenido de agua en el árbol varía según la variación de altura, el radio del tronco y la temporada del año, así como también los árboles jóvenes contienen mayor humedad y sus variaciones durante el año son mayores que en los árboles maduros por que su madera presenta mayor albura que los árboles maduros.

Por otra parte SILVA (2005) refiere que al evaluar dos árboles, las rodajas evaluadas de la parte superior del fuste presentaron médula excéntrica, en menor grado que las rodajas del nivel medio y del nivel inferior del árbol 1,

mientras que el árbol 2 presentaron un alto grado de excentricidad en las rodajas del nivel medio y del nivel inferior, localizándose la madera de reacción en la orientación norte y oeste y la madera de compresión en la orientación este y sur. Lo que indica que existe una heterogeneidad de la madera, en el sentido radial y longitudinal, debido principalmente al grado de la pendiente, intensidad del viento y radiación solar.

Estadísticamente el contenido de humedad en las muestras extraídas ubicadas en las dos orientaciones del fuste de la bolaina blanca, no presentó diferencia significativa, mientras que numéricamente en las probetas extraídas de la orientación sur se encontró mayor contenido de humedad respecto a la orientación norte (Figura 3).

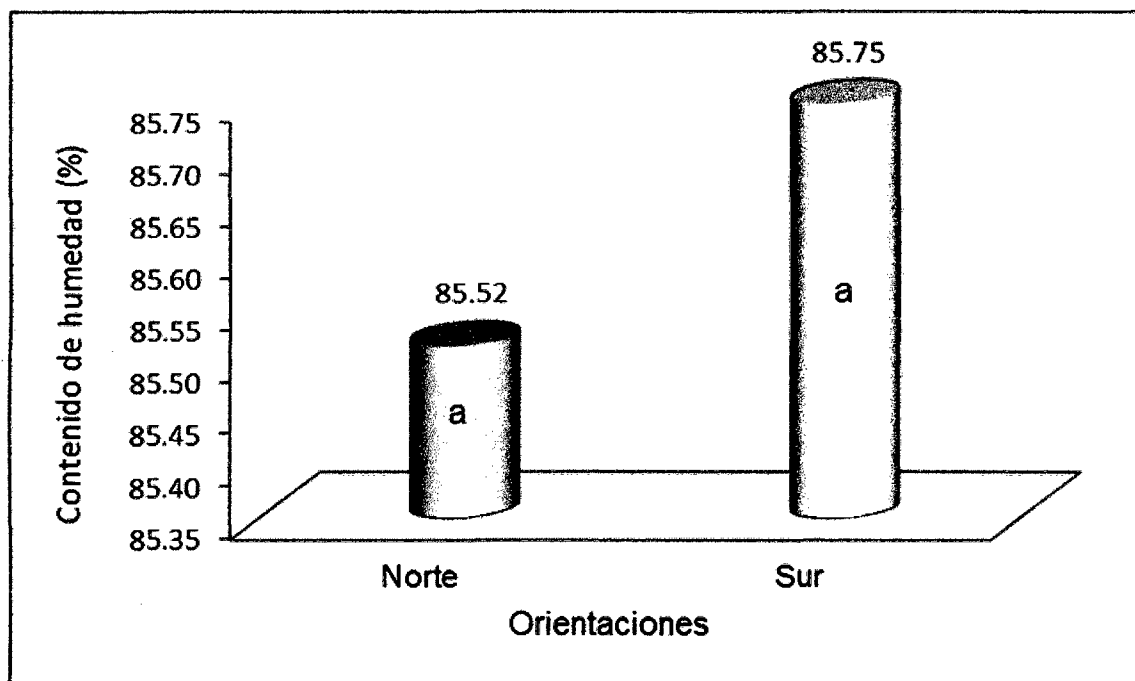


Figura 3. Contenido de humedad en las orientaciones del fuste en la bolaina blanca.

No se encontró diferencia estadística significativa por las orientaciones del fuste de la 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).

4.2. Densidad en el fuste de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius)

4.2.1. Densidad saturada

Estadísticamente en los árboles y sus diferentes niveles del fuste se encontró diferencia de la densidad saturada en las probetas estudiadas, mientras que las orientaciones no presentó diferencia estadística ni se encontró interacción entre los niveles del fuste y las orientaciones (Cuadro 5). El coeficiente de variación fue de seis por ciento considerado por CALZADA (1996) como un coeficiente excelente, la cual da mayor soporte a los resultados obtenidos en la investigación.

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable densidad saturada (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árboles	4	0.045	0.011	8.94	0.0001 **
Niveles	2	0.385	0.192	153.56	0.0001 **
Orientación	1	0.000	0.000	0.32	0.5703 N.S.
Interacción	2	0.017	0.009	6.83	0.0014 *
Error	170	0.213	0.001		
Total	179	0.660	0.214		

CV: 6%.

La diferencias de la densidad saturada encontrada en cada árbol de la especie bolaina blanca, se debe a que cada individuo ha sido influenciado por diversos factores de clima, suelo y manejo como afirma MORA (1983) al mencionar que la proporción de albura y duramen de especies varía 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.

La mayor cantidad de espacios vacíos en la madera de angiospermas está representada por los vasos y ésta ejerce una fuerte influencia sobre los valores de densidad (LEÓN, 2010).

Mediante la prueba de comparación de promedios de Tukey, la mayor densidad saturada (Figura 4) se encontró en la parte basal del fuste de la bolaina blanca, con un valor de 0.65 gcm^{-3} .

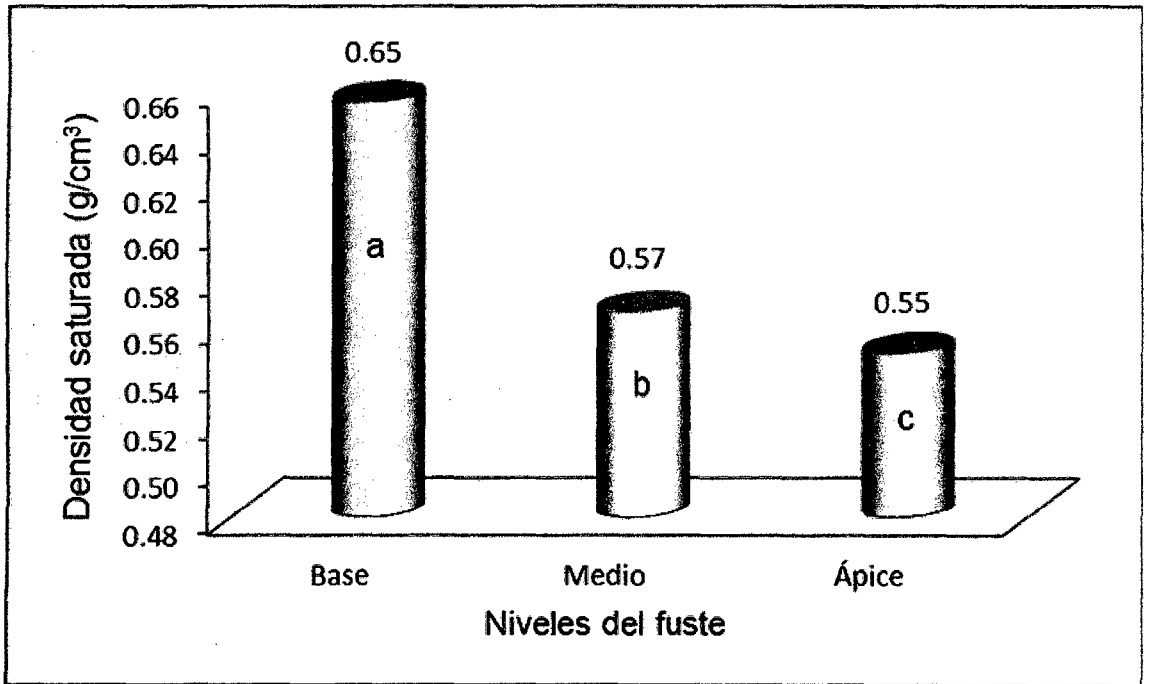


Figura 4. Densidad saturada promedio en los diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca.

La parte basal del fuste de la bolaina blanca ha presentado mayor densidad saturada por presentar mayor relación entre la cantidad de agua y el volumen en estado húmedo, mientras que LEÓN y ESPINOZA DE PERNIA (2001) agregan que la densidad sirve para caracterizar tecnológicamente a una madera, pues está altamente relacionada con el espesor de las paredes celulares y por consiguiente con la mayoría de sus propiedades físico mecánicas.

Uno de los factores que ha influenciado en los resultados obtenidos, es la parte anatómica que presentaron, debido a que los árboles talados se encontraron en hileras al borde del predio, la cual generaba una inclinación de la copa hacia los costados de la hilera, las cuales generan las

características anatómicas propias en cada árbol, como lo afirma Fujiwara (1992) citado por LEÓN (2010), al mencionar que la influencia del parénquima radial sobre la densidad va a depender de la especie y se deben tomar en consideración aspectos relacionados con el volumen de los radios, las dimensiones de las células radiales y la relación de volumen ocupado por células procumbentes y células erectas.

Numéricamente las probetas extraídas de la orientación sur, alcanzó mayor valor de la densidad saturada en relación a las probetas extraídas de la orientación norte (Figura 5).

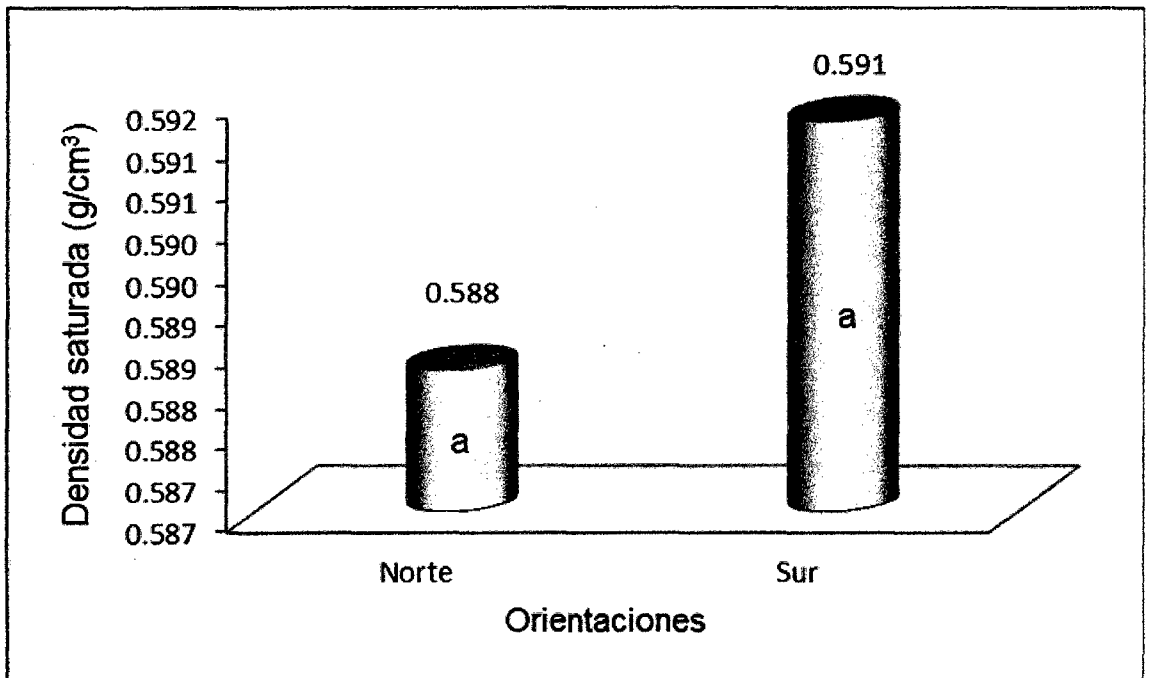


Figura 5. Densidad saturada promedio en las orientaciones norte y sur del fuste de la bolaina blanca.

Las diferencia numérica entre los valores de densidad saturada en dos orientaciones fue mínima, debido a que la albura y duramen de las

magnitudes del elemento vascular presentan, variaciones pequeñas dentro de un mismo árbol, pero si se puede notar una diferencia marcada cuando analizamos cada uno de los árboles (SILVA, 2005).

4.2.2. Densidad anhidra

En el análisis de varianza para la variable de la densidad anhidra, estadísticamente, no se encontró diferencia significativa entre los valores de cada individuo (árboles); en los diferentes niveles del fuste, entre las orientaciones norte y sur, tampoco se encontró interacción entre estos factores evaluados (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para la variable densidad anhidra (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	0.017	0.004	1.58	0.1821 N.S.
Niveles	2	0.014	0.007	2.61	0.0763 N.S.
Orientación	1	0.000	0.000	0.17	0.6804 N.S.
Interacción	2	0.016	0.008	2.92	0.0569 N.S.
Error	170	0.466	0.003		
Total	179	0.515	0.023		

CV: 14.8%.

No se encontró diferencias en los factores evaluados a pesar que 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.

También ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ (1992) indican que las especies relativamente densas son duras y fuertes, debido a que contienen gran parte de sustancias en la pared celular que les da mayor rigidez.

La densidad anhidra presentó mayor valor en la parte basal del fuste en la especie bolaina blanca (Figura 6), no mostrando diferencias estadísticas significativas. El comportamiento de la densidad anhidra presentó un decrecimiento desde la base hasta la parte apical del fuste.

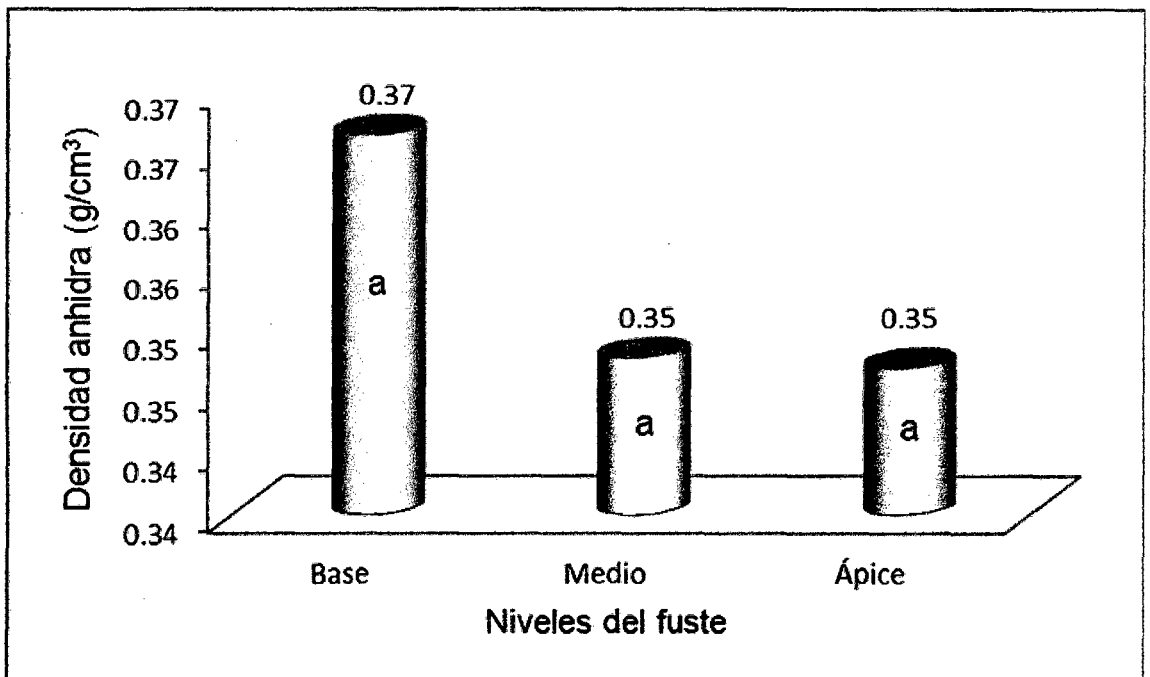


Figura 6. Densidad anhidra promedio en los diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca.

Pérez (1983), citado por TORRES (2009) y CUEVAS (2003) mencionan, que la densidad indica la cantidad aproximada de 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, DÍAZ (2005) añade que 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.

Numéricamente se encontró una diferencia en valores de la densidad anhidra respecto a las orientaciones norte y sur, mostrando mayor valor la orientación sur y menor la norte (Figura 7).

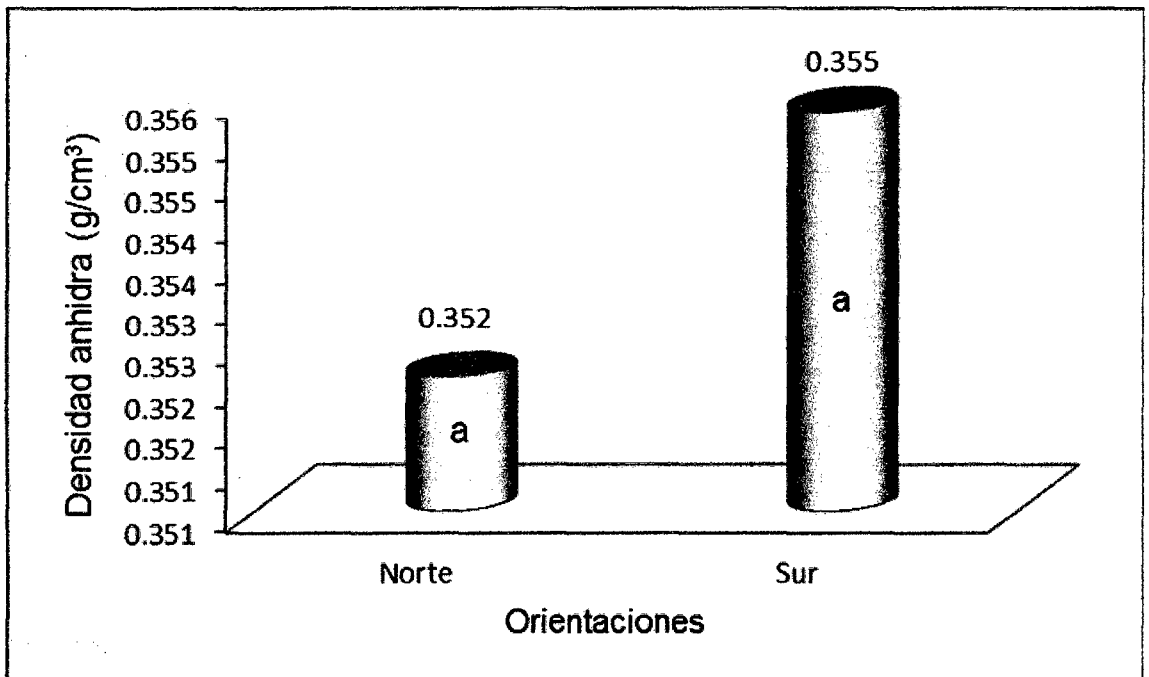


Figura 7. Densidad anhidra promedio en las orientaciones norte y sur del fuste de la bolaina blanca.

La variación numérica de los resultados fue debido a las características anatómicas que presentaban las muestras y según SILVA (2005), al evaluar la parte anatómica de maderas, encontró que existe 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.

4.2.3. Densidad básica

En el análisis de varianza (Cuadro 7) realizado para la densidad básica en la bolaina blanca, se ha encontrado que las muestras extraídas de los cinco árboles utilizados, los tres niveles del fuste y las orientaciones norte y sur no presentaron diferencias estadísticas significativas, ni hubo interacción entre estos factores analizados.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable densidad básica (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	0.015	0.004	1.70	0.1531 N.S.
Niveles	2	0.009	0.005	2.09	0.127 N.S.
Orientación	1	0.000	0.000	0.04	0.8491 N.S.
Interacción	2	0.010	0.005	2.21	0.1126 N.S.
Error	170	0.374	0.002		
Total	179	0.408	0.015		

CV: 14.5%.

No se encontró diferencias de la densidad básica en los factores evaluados, presentando homogeneidad estadística los resultados; valores diferentes encontró WALLIS *et al.* (2007) en la madera de *Pinus taeda* L. Marion, indicando que existe un decrecimiento de la densidad básica respecto a la altura del fuste; comportamientos similares fueron reportados por Weber (2005) citado por WALLIS *et al.* (2007), trabajando con *P. taeda* L. Marion de diferentes edades en la misma zona geográfica, donde concluye que hay una disminución de la densidad desde la base hacia el ápice.

Numéricamente, se encontró mayor valor de la densidad básica en las probetas extraídas de la parte basal del fuste (Figura 8), seguido de la densidad determinada en las probetas de la parte media y apical del fuste.

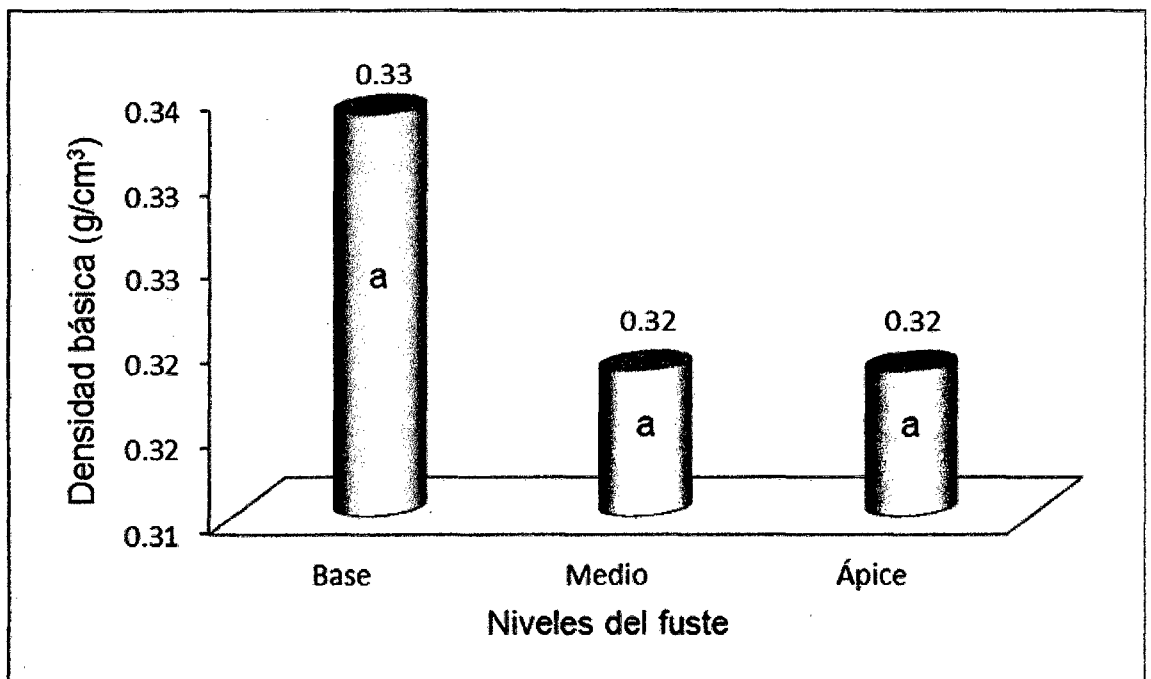


Figura 8. Densidad básica promedio en los diferentes niveles del fuste de la bolaina blanca.

Solo se encontró diferencia numérica en la variable densidad básica, Zobel (1998), citado por WALLIS *et al.* (2007) afirma que la variación de la densidad con la altura está ligada a la cantidad de madera juvenil que recorre al árbol axialmente como un cilindro interno desde la base hasta el ápice. El resultado es que las trozas de la copa constan principalmente de madera juvenil, mientras que las de la base del mismo árbol poseen más madera con una mayor densidad, valor similar encontrado para esta especie.

En otras investigaciones, JOVANOVSKI *et al.* (2002) encontró resultados similares en *Pinus ponderosa*, ya que la variación de la densidad básica en la altura del fuste presentó valores superiores en las porciones inferiores del árbol, y una disminución con el incremento de la altura hasta aproximadamente los 10 m; en tanto que Megraw (1985) citado por WALLIS *et al.* (2007), L. Marion, mencionan que la densidad posee además un patrón de variación con la edad y la altura, de tal manera que durante los primeros años el árbol produce madera con anillos de crecimiento anchos, donde hay una mayor proporción de madera temprana de baja densidad. También indica respecto a la altura, que la densidad es mayor en la base y va disminuyendo hacia la copa.

Por otra parte CHAVE (2006) afirma que la densidad de madera varía dentro de la planta, durante la vida de la planta y entre individuos de una misma especie. Así como también las ramas y las partes exteriores del fuste tienden a presentar densidades de madera más bajas que la médula del tronco.

IGARTÚA y MONTEOLIVA (2009) encontraron que la densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R.Br, presentó 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 de los árboles por edades. Mc Donald *et al.* (1995), citado por LEÓN (2010) indican que en algunas especies, el la densidad básica tiende a mantenerse constante mientras que en otras puede experimentar fuertes variaciones, especialmente en la dirección médula-corteza. Estas variaciones son más acentuadas en especies heliófitas las cuales producen inicialmente madera débil y a medida que el crecimiento longitudinal se hace más lento se comienza a producir madera con mayor resistencia.

OMONTE y VALENZUELA (2011) determinaron en *Eucalyptus regnans* de 16 años, que 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. Además determinaron que las mejores alturas de muestreo para estimar la densidad promedio del fuste, son al 10 y al 20% de la altura total del árbol.

La densidad encontrada en la bolaina blanca, tuvo variaciones entre 0.32 hasta 0.33 g/cm³, según la clasificación de la madera (Cuadro 1), se ubica dentro del grupo II, considerado como madera de densidad baja (B), las cuales son maderas que generalmente poseen buenas propiedades de trabajo con máquinas de carpintería, regular en cuanto a su contracción, presentan su

baja resistencia mecánica y también baja durabilidad natural, que puede mejorarse mediante el tratamiento con productos químicos. Estas maderas por sus propiedades tecnológicas tienen a los usos de cajonería liviana, revestimiento y laminado (ARÓSTEGUI, 1984).

Numéricamente, las probetas extraídas de la parte sur del fuste presentaron mayor densidad básica (Figura 9), mientras que la parte las probetas que pertenecían a la parte norte presentaron menor valor referente a esta densidad.

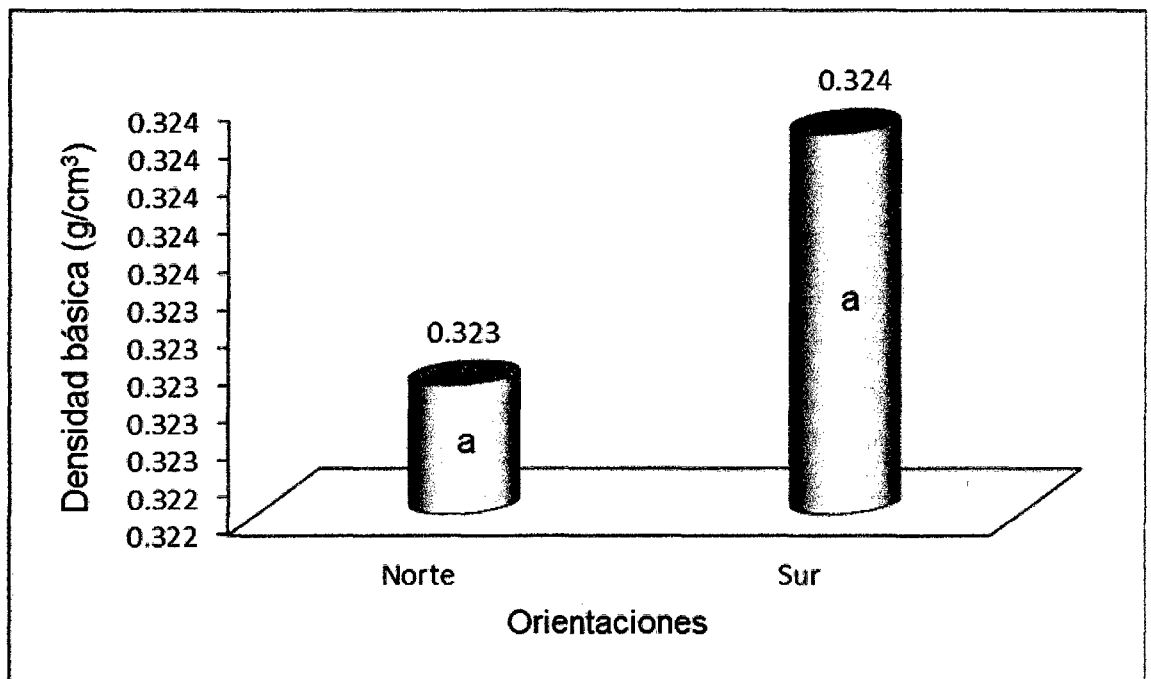


Figura 9. Densidad básica promedio en las orientaciones norte y sur del fuste de la bolaina blanca.

La variación numérica del resultado se debe a la forma del fuste de la especie en estudio, ya se encontraban establecidas en hileras y presentaban inclinaciones por la influencia del tamaño de copa, la cual ha presentado

influencia en las características anatómicas que presentaban las muestras y según SILVA (2005), al evaluar la parte anatómica de maderas, encontró que existe 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.

4.3. Cambio dimensional en el fuste de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius)

4.3.1. Contracción radial, tangencial y longitudinal en la madera de bolaina blanca

Estadísticamente, la contracción radial en los cinco árboles y en las probetas de las orientaciones del fuste, fueron diferentes, mientras que en los niveles del fuste y la interacción entre estos factores no presentaron diferencia estadística significativa (Cuadro 8).

Cuadro 8. ANVA de la contracción radial en el fuste de la bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	10.4	2.6	2.53	0.0421 *
Niveles	2	2.6	1.3	1.28	0.2815 N.S
Orientación	1	6.6	6.6	6.45	0.012 *
Interacción	2	3.3	1.6	1.59	0.2066 N.S
Error	170	174.5	1.0		
Total	179	197.5	13.2		

CV: 30.7%.

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, debido a las variaciones de las condiciones climáticas (humedad relativa y temperatura), la madera en uso está sujeta a cambios dimensionales; además, estos cambios son diferentes según las secciones de la madera, por lo que en la parte interna se originan tensiones causando defectos durante el secado, tales como grietas, deformaciones, entre otros (ARÓSTEGUI, 1984).

Estadísticamente, las probetas extraídas de la parte norte del fuste presentaron mayor contracción radial promedio en comparación a las probetas que se ha extraído de la orientación sur del fuste (Figura 10).

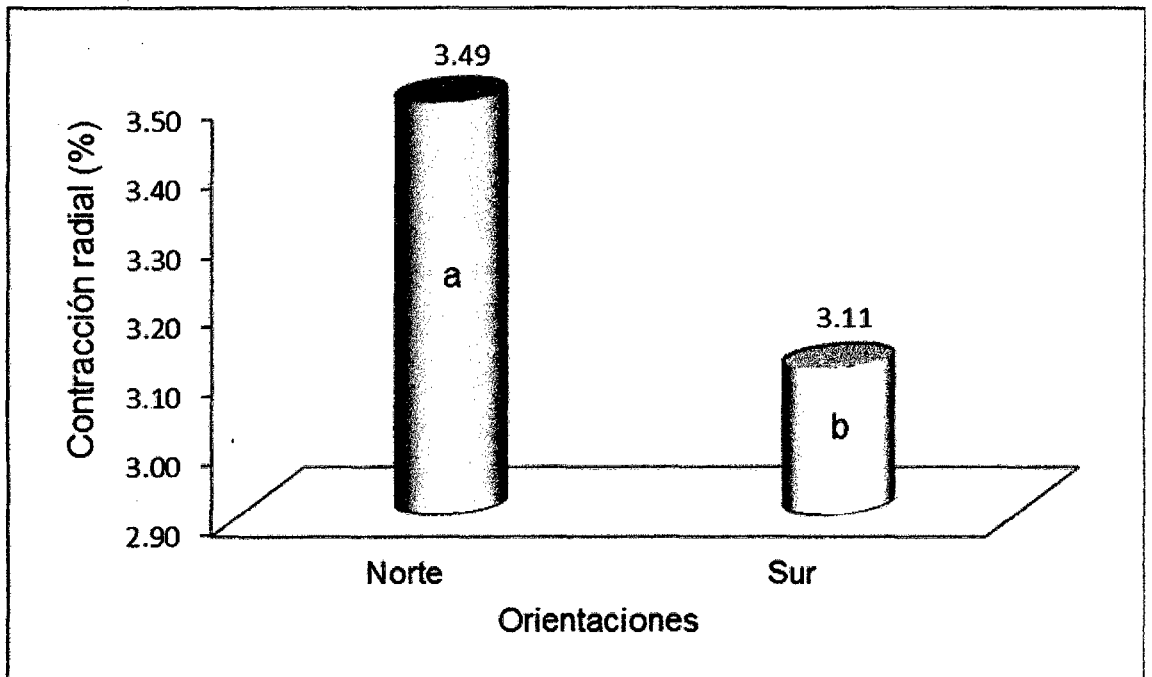


Figura 10. Contracción radial promedio en las orientaciones del fuste de la bolaina blanca.

En el resultado se encontró diferencia significativa por efecto de las orientaciones; este efecto tiene relevancia debido a la parte anatómica del material en estudio, SILVA (2005) manifiesta que las diferencias entre albura y duramen de las magnitudes del elemento vascular presentan, variaciones pequeñas dentro de un mismo árbol, pero si se puede notar una diferencia marcada cuando analizamos cada uno de los árboles.

Estadísticamente, la contracción tangencial determinada en las probetas extraídas de los cinco árboles fue diferente, mientras que los niveles del fuste y las orientaciones presentaron diferentes comportamientos de contracción, además no se encontró interacción entre los factores evaluados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para la contracción tangencial (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árboles	4	18.4	4.6	3.86	0.005 *
Niveles	2	4.6	2.3	1.91	0.151 N.S.
Orientación	1	0.1	0.1	0.07	0.7987 N.S.
Interacción	2	0.2	0.1	0.07	0.9364 N.S.
Error	170	202.5	1.2		
Total	179	225.7	8.2		

CV: 21.5%.

N.S.: Estadísticamente, no existe significancia ($P > 0.05$).

La causa de los cambios dimensionales se debe a la pérdida o ganancia del agua higroscópica entre la estructura celulósica de la pared celular, se puede considerar que las maderas con mayor densidad contiene más agua higroscópica que las de menor densidad y por eso las de mayor densidad tienen mayor contracción que las de menor densidad. Cuanto mayor es la diferencia en la contracción radial y tangencial, significa que la distorsión será mayor en el secado eventualmente, la madera llega a estabilizar sus dimensiones con un equilibrio de 12% de contenido de humedad (DÍAZ, 2005).

La contracción longitudinal encontrada en probetas extraídas de cinco árboles talados fue diferente estadísticamente, mientras que en los niveles del fuste y las orientaciones cardinales no se encontró diferencias ni hubo interacción entre los factores evaluados (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para la contracción longitudinal (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	0.210	0.053	3.31	0.012 *
Niveles	2	0.002	0.001	0.05	0.947 N.S.
Orientación	1	0.002	0.002	0.14	0.710 N.S.
Interacción	2	0.001	0.000	0.03	0.971 N.S.
Error	170	2.696	0.016		
Total	179	2.911	0.072		

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.

ANANÍAS (1992) 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.

La contracción tangencial fue superior a la contracción radial y longitudinal, encontrando valores en las probetas extraídas de la base del fuste de 5.28%, 3.35% y 0.19% respectivamente; las probetas extraídas de la parte media presentaron valores de 5.10% de la contracción tangencial, 3.42 de contracción radial y 0.18% de la contracción longitudinal; en las probetas de la parte apical se encontró 5.10% de contracción tangencial, 3.14% de contracción radial y 0.18% de contracción longitudinal (Figura 11).

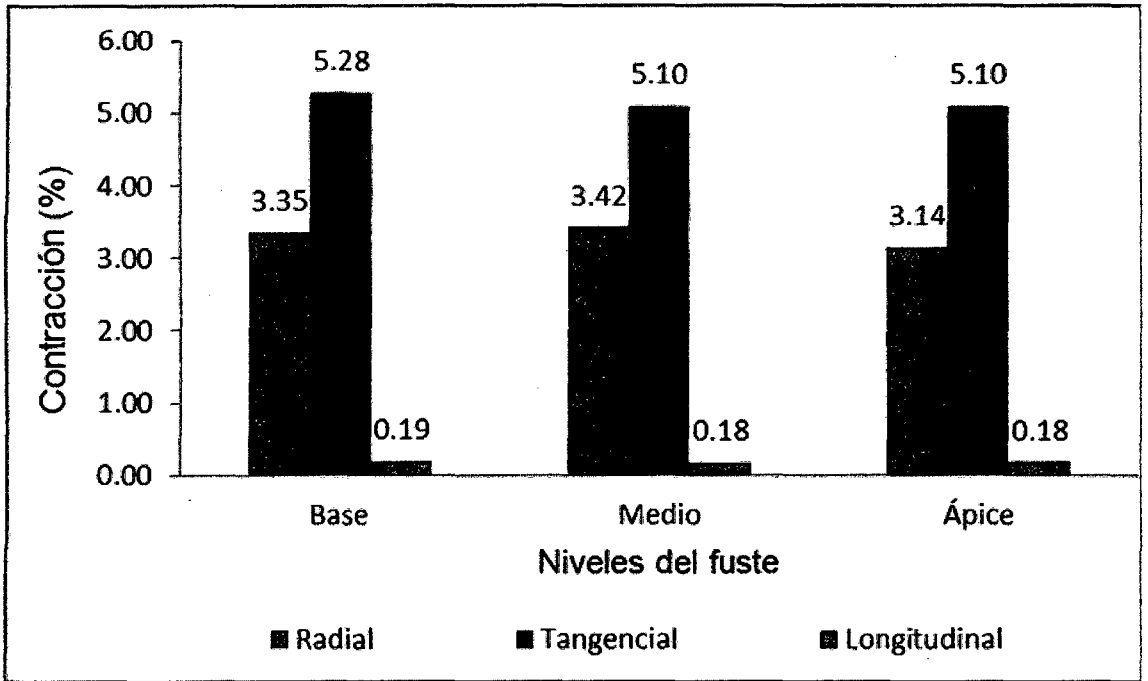


Figura 11. Contracciones promedios en los niveles del fuste de la bolaina blanca.

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 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.

El resultado diferente encontrado en la investigación puede atribuirse a que las muestras se sometieron al proceso de secado al horno, las del duramen y las que tenían albura y duramen exudaron alguna inclusión que posiblemente toponeo las salidas naturales del agua motivando que este proceso de secado sea incompleto, por lo tanto, los datos obtenidos presenten sesgos (SILVA, 2005).

Por otro lado SILVA (2005) indica que la contracción tanto en el plano tangencial, radial y longitudinal en la albura es mucho mayor que la del duramen en ambos árboles. Teóricamente esto sería lo inverso, sin embargo, la presencia de las inclusiones en el duramen hizo que al final de la investigación haya alcanzado un valor menor de contracción debido a su dificultad de pérdida de humedad. La variación de la contracción en la bolaina blanca es propia para asignarle tratamientos de acuerdo a su comportamiento en el secado y la JUNAC (1984) indica que la magnitud de la contracción varía según las características de la especie, las secciones y la orientación anatómica del corte.

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).

4.3.2. Contracción volumétrica en la madera de bolaina blanca

La contracción volumétrica determinada de los cinco árboles fue estadísticamente diferente, mientras que en los tres niveles del fuste y en las orientaciones se ha encontrado diferencia estadística significativa, por otro lado no se encontró alguna interacción entre los factores evaluados (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para la contracción volumétrica (α : 0.05) en el fuste de la especie bolaina blanca.

FV	GL	SC	CM	F- valor	Significancia
Árbol	4	4.052	1.013	0.54	0.7059 N.S.
Niveles	2	14.014	7.007	3.74	0.0257 *
Orientación	1	9.554	9.554	5.10	0.0252 *
Interacción	2	7.691	3.845	2.05	0.1315 N.S.
Error	170	318.361	1.873		
Total	179	353.672	23.292		

CV: 16.1%.

La diferencia de contracción volumétrica encontrada en los tres niveles del fuste y las dos orientaciones, es debido 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 DE PERNIA (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 apical del fuste de la especie bolaina blanca (Figura 12).

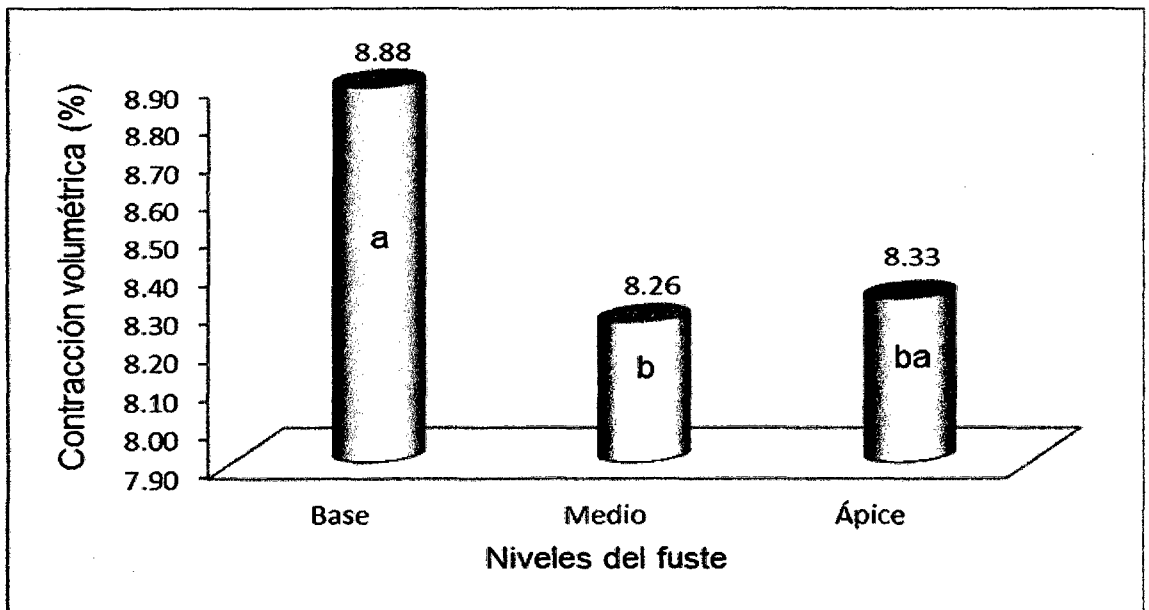


Figura 12. Contracción volumétrica promedio en los niveles del fuste de la bolaina blanca.

La contracción basal del fuste se debe a que la madera presentó mayor densidad en esa parte (Figura 8), 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. La madera del nivel superior y la parte 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.

Estadísticamente, en las probetas extraídas de la parte sur del fuste de bolaina blanca se ha determinado mayor contracción volumétrica en comparación a las probetas extraídas de la parte norte del fuste (Figura 13).

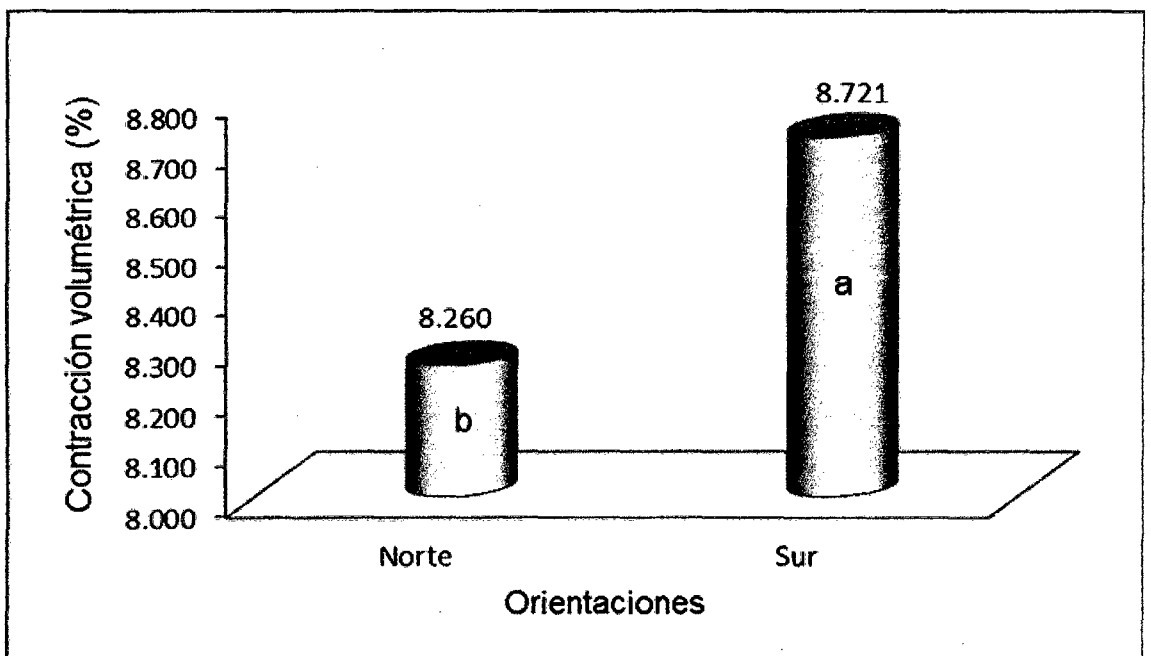


Figura 13. Contracción volumétrica promedio en las orientaciones del fuste de la bolaina blanca.

La mayor contracción en la orientación sur ($P < 0.05$) es debido a la anatomía que las maderas presentaban ya que se encontraban los árboles en hileras al borde del predio, y ARÓSTEGUI (1984) sostiene que las características anatómicas, permiten explicar las causas correspondientes a los cambios dimensionales y el comportamiento de los esfuerzos mecánicos de la madera, además, menciona que la contracción radial y tangencial es un índice de la estabilidad de la madera y cuando la relación entre ambos se acerca a la unidad la madera es mas estable y tiene buen comportamiento al secado.

V. CONCLUSIONES

1. Los árboles de bolaina presentaron diferentes contenidos de humedad con significancia estadística; la parte apical del fuste ha presentado mayor cantidad de agua, presentando diferencias estadísticas al nivel basal del fuste, mientras que el contenido de humedad en las orientaciones norte y sur del fuste no presentó diferencia estadística.
2. Estadísticamente los árboles y sus diferentes niveles del fuste se encontró diferencia en la densidad saturada, mientras que las orientaciones no presentó diferencia estadística. La mayor densidad saturada se encontró en la parte basal del fuste, numéricamente las probetas extraídas de la orientación sur, alcanzó mayor valor de la densidad saturada en relación a las de la orientación norte.
3. Estadísticamente, no hubo diferencia significativa referente a la densidad anhidra entre los valores de cada árbol, en los diferentes niveles del fuste y entre las orientaciones. El comportamiento de la densidad anhidra presentó un decrecimiento desde la base hasta la parte apical del fuste.
4. La densidad básica en los cinco árboles, los tres niveles del fuste y las orientaciones norte y sur no presentaron diferencias estadísticas

significativas; se encontró mayor valor de la densidad en la parte basal del fuste, seguido de la parte media y apical.

5. La contracción tangencial fue superior a la radial y longitudinal. Estadísticamente, la contracción radial en los cinco árboles y en las orientaciones del fuste, fueron diferentes, mientras que los niveles del fuste y la interacción entre estos factores no presentaron diferencia estadística significativa. Las probetas extraídas de la parte norte del fuste ha tenido mayor contracción en comparación a las probetas de la orientación sur. Estadísticamente, la contracción tangencial determinada en los cinco árboles fue diferente, mientras que los niveles del fuste y las orientaciones presentaron diferentes comportamientos de contracción. La contracción longitudinal en los cinco árboles fue diferente estadísticamente, mientras que en los niveles del fuste y las orientaciones cardinales no hubo diferencias.

6. La contracción volumétrica determinada de los cinco árboles fue estadísticamente diferente; en la parte basal del fuste hubo mayor contracción que la parte media y apical del fuste; las probetas extraídas de la parte sur del fuste ha tenido mayor contracción en comparación a las probetas extraídas de la parte norte del fuste.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones considerando la parte anatómica para determinar la influencia sobre las diferentes propiedades físicas y mecánicas de la madera.
- Realizar evaluaciones periódicas sobre comportamiento de la densidad respecto al tiempo en plantaciones de la especie bolaina blanca, con la finalidad de atribuirle usos específicos en cada edad de plantación.
- Al realizar la elección de los árboles para la determinación de las propiedades físicas, se debe considerar la uniformidad de los árboles en edad, sistema de plantación, labores silviculturales realizadas y procedencia de los plántones, con la finalidad de minimizar el error experimental de la investigación.

VII. ABSTRACT

In order to determine the physical properties in the shaft of white bolaina (*Guazuma crinita* C. Martius), is drawn from the population center trees less Shiringal, Huánuco with 10 years of age. The selection and collection of trees was performed according to the Peruvian Technical Standard NTP-251 002. Bolaina trees showed statistical difference in the moisture content increases from the base to the apex (77.6%, 80.8% and 98.4% respectively), while the north and south orientations (85.5% and 85. 8%) no statistical difference. Statistically trees and their different levels of stem density showed difference in saturated, and the guidelines there was no difference. Statistically, no significant difference regarding anhydrous density between the values of each tree, different levels and orientations stem. The basic density in the five trees, all three levels of the stem (0.33 g/cm³, 0.32 g/cm³ and 0.32 g/cm³) and the north and south oriented not statistically different. The tangential shrinkage (5.16%) was higher than the radial (3.30%) and longitudinal (0.18%). Determined volumetric shrinkage of the five trees was statistically different, in the basal (8.88%) was greater contraction stem the middle (8.26%) and apical stem (8.33%), the samples taken from the southern stem has had greater contraction compared to the samples taken from the northern part of the stem.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, H., FERNÁNDEZ, J. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 240 p.
- ALVAREZ, H.A. 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.
- ANANÍAS, R. 1992. Física de la Madera. Departamento de Ingeniería en maderas. Universidad del Bio-Bio. Chile. 41 p.
- ANANÍAS, R. 1987. Water Diffusion in Wood. Actas VI reunión sobre investigación y desarrollo en productos forestales, universidad del Bio – Bio, Concepción 8 p.
- ARÓSTEGUI, A. 1984. Recopilación y análisis de estudio tecnológico de maderas peruanas. Documento de trabajo N^o 2 PNUD/FAO 81/002. Lima, Perú. 57 p.

- BURGER, L., RICHTER, M. 1981. Anatomía da madeira. Livraria Nobel S. A. Sao Paulo. 220 p.
- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. 5ta Edición. Lima Perú. 640 p.
- CARTAGENA, J.R. 2000. El agua en las plantas. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 40 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.
- 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.
- EMC JAQ. 2009. Estación meteorológica y climatológica “José Abelardo Quiñónez”. Tingo María, Perú.
- EXIMPORTSOLUTIONS. 2006. Las características de la capirona. [En línea]: Eximportsolutions, (<http://www.eximportsolutions.com/Capirona.html/>, documento, 27 Jul. 2011).
- FACHIN, C.E. 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 plantación de Jenaro Herrera. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 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. Universidad nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima, Perú. 164 p.
- GRIGORIEV, M. 1985. Estudio para materiales para ebanistas y carpinteros. Editorial MIR MOSCU-URSS. Moscú, Rusia. 240 p.
- GUTIERREZ, A. 1990. La madera y sus propiedades. Departamento de Maderas del INIA. 5 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.
- IGARTUA, D.V., MONTEOLIVA, S.E., MONTERUBBIANESI, M.G., VILLEGAS, M.S. 2003. Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus*

- globulus* ssp. *globulus* for parameter prediction of the whole tree. IAWA Journal 24 (2): 173-184.
- INFOR-CORFO. 1989. Eucalyptus: principios de silvicultura y manejo. Impresos Nova Ltda. Santiago, Chile. 199 p.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). 1984. Manual de Secado de las Maderas del Grupo Andino. Lima, Perú. 549 p.
- KOLLMANN, F. 1970. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid, España. 540 p.
- LEON, H., ESPINOZA DE PERNIA, N. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de Los Andes. Talleres Gráficos Universitarias. Mérida, Venezuela. 397 p.
- LEÓN, W.J. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales; Laboratorio de Anatomía de Maderas. Mérida, Venezuela. Revista Forestal Venezolana, 54(1) p 67-76.
- MATTE, E. 2011. La madera. Empresas CMPC S.A. Santiago, Chile. 2 p.
[En línea]: Papelnet, (<http://www.papelnet.cl/madera/index.htm>, documentos, 20 Dic. 2011).

- 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 capirona. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/AG/aGL/agll/rla128/inia/inia-p4/inia-p4-22.htm>, documentos, 25 Jun. 2011).
- PÉREZ, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 451 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 (*Tabebuia billbergii*) o Guayacán. Tesis Ing. Forestal. Pucallpa, Perú. Universidad Nacional de Ucayali. 82 p.
- SOLANO, O. 1998. Seminario sobre diseño ingeniería y proceso de secado de maderas tropicales. Centro Nacional de la Madera, Servicio Nacional de Aprendizaje "SENA". Medellín, Colombia. 45 p.
- 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 cetico (*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, R., DURAN, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Uruguay. 668 p.

- VALDERRAMA, H. 1984. Estudio de las propiedades físicas y su variación en el tronco de la *Tachigalia longiflora* Ducke y *Selerobium melinonii* Hems, 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.
- VIGNOTE, S. 2000. Tecnología de la madera en construcción arquitectónica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España, Mundi-Prensa. 277p.
- 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.

IX. ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico.



Figura 14. Escalamiento en el árbol para realizar tala dirigida.



Figura 15. Cuartones con sus respectivas codificaciones.

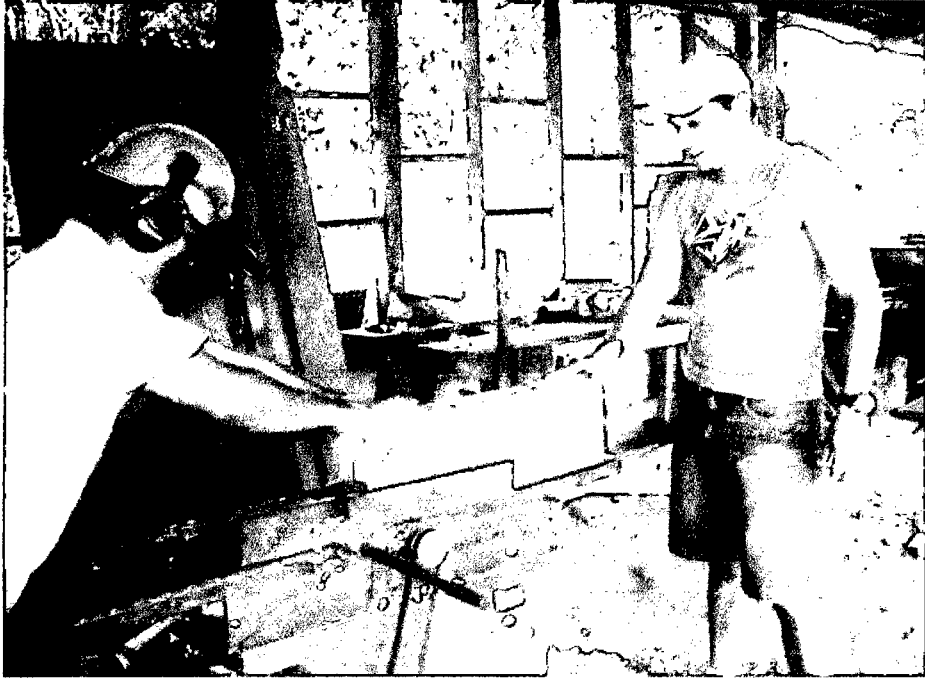


Figura 16. Uso de la garlopa para la obtención de cantos uniformes.



Figura 17. Obtención de la densidad por el método de Arquímedes.