

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TÉCNICAS DE
SECADO NATURAL DE LA ESPECIE *Pinus tecunumanii*
EGUILUZ Y PERRY EN LA CIUDAD DE VILLA RICA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES**

PRESENTADO POR:

JORDAN ERWIN GALLO ÁLVAREZ

2014



TM
FOR
Gallo Álvarez, Jordan Erwin

Estudio comparativo de dos técnicas de secado natural de la especie *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry en la ciudad de Villa Rica. Tingo María 2014

83 páginas.; 20 cuadros; 43 figuras.; 33 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención Forestales)
Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria (Perú) Facultad de
Recursos Naturales Renovables.

1- SECADO NATURAL 2- APILADO 3- TRIÁNGULO
4- CABALLETE 5- CONTENIDO DE HUMEDAD 6- DEFECTOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de marzo de 2014, a horas 10:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS, para calificar la Tesis titulada:

ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TÉCNICAS DE SECADO NATURAL DE LA ESPECIE *Pinus tecunumanii* EGUILUZ Y PERRY EN LA CIUDAD DE VILLA RICA

Presentado por el Bachiller: **JORDAN ERWIN GALLO ÁLVAREZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

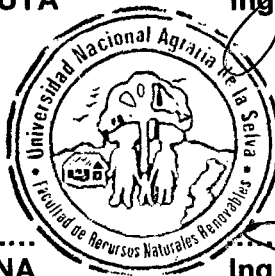
En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 05 de Marzo de 2014.

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

.....
Ing. **JORGE L. VERGARA PALOMINO**
Miembro

.....
Ing. **EDILBERTO DÍAZ QUINTANA**
Miembro



.....
Ing. M.Sc. **MANUEL R. BRAVO MORALES**
Asesor

DEDICATORIA

A Dios; por ser la fuente de sabiduría y
bondad infinita.

A mi hermosa madre Ana Luz Álvarez
Aibar; mujer responsable, creíble y leal
consigo misma, pilar importante que
con su amor, esfuerzo, cariño y apoyo
incondicional ha hecho posible la
cristalización de esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Rocío, Paul, Wilder y
Guillermo; por su gran apoyo brindado
durante mi formación profesional. A mis
sobrinos: Daniel, Diego, Joan, Cesar,
Alizze y Miriel; y a toda mi familia que
siempre me brinda su cariño.

A mi pequeña Johanna; por ser mi
motor de vida y mis ganas de ser mejor
cada día. Con infinito amor por ser lo
más grande que la vida me dio.

En memoria a mi querido padre Félix
Guillermo Gallo Azania, a quien pese a
nuestra distancia física, siento que está
conmigo siempre, y aunque nos
faltaron muchas cosas por vivir juntos,
sé que este momento hubiera sido tan
especial para él como lo es para mí.

En memoria a mis queridos abuelitos
Daniel, Espirita, Enrique y Alicia;
quienes ya no están al lado mío, pero
su cariño prevalece siempre en mi
corazón.

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación, diversas personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento:

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, “alma mater” de mi formación profesional, en cuyas aulas culminé mi carrera profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial a los ingenieros Jorge Luis Vergara Palomino, Ricardo Ochoa Cuya, Fernando Gutiérrez Huamán, Tania Elizabeth Guerrero Vejarano, Luis Alberto Valdivia Espinoza, Ladislao Ruiz Rengifo, Casiano Aguirre Escalante, Ytavclerh Vargas Clemente y Edilberto Díaz Quintana; quienes se esforzaron por entregarme sus conocimientos y experiencias.

Al Ing. Manuel Bravo Morales, por su valiosa colaboración como asesor.

Al técnico Mario Soza Shapiama, por su valiosa colaboración en la ubicación, tala, aserrado y reaserrado de la especie en estudio.

A Frits Palomino, un gran amigo que me apoyó en forma desinteresada en la ejecución de la tesis.

A todas aquellas personas que en forma directa e indirecta colaboraron para la culminación de la investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. General.....	3
1.2. Específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Secado de la madera	4
2.1.1. Secado natural o aire libre	5
2.2. Aspectos físicos relativos al secado de la madera	6
2.2.1. Cambios dimensionales.....	6
2.2.2. Higroscopicidad	12
2.2.3. Humedad relativa y la humedad de la madera	13
2.2.4. Punto de saturación de las fibras (PSF)	14
2.2.5. Contenido de humedad.....	14
2.2.6. Contenido de humedad en equilibrio	16
2.2.7. Contenido de humedad en base seca	18
2.2.8. Densidad.....	18
2.2.9. Curvas de secado.....	18
2.2.10. Curvas de equilibrio higroscópico	19
2.3. Factores que inciden en el secado de la madera	20
2.3.1. Influencia de la estructura anatómica	20

2.3.2.	La higroscopicidad	20
2.3.3.	La anisotropía	21
2.4.	Apilado de madera aserrada	22
2.4.1.	Apilado en triángulo	22
2.4.2.	Apilado con caballetes	23
2.4.3.	Preparación de la madera.....	24
2.4.4.	Techado de los apilados	25
2.5.	Defectos y deformaciones de la madera en el secado	25
2.5.1.	Defectos (grietas y rajaduras).....	25
2.5.2.	Deformaciones (alabeos).....	26
2.6.	<i>Pinus tecunumanii</i> Eguluz y Perry	27
2.6.1.	Descripción dendrológica.....	27
2.6.2.	Características tecnológicas	29
2.7.	Antecedentes de estudio	30
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1.	Lugar de ejecución	35
3.2.	Materiales y equipos.....	36
3.2.1.	Madera.....	36
3.2.2.	Herramientas y equipos de campo	36
3.2.3.	Material de laboratorio	37
3.2.4.	Equipos de taller	37

3.3.	Metodología.....	37
3.3.1.	Ubicación y selección de la especie	37
3.3.2.	Proceso de obtención de la madera	38
3.3.3.	Acondicionamiento de las tablas o viguetas de madera.....	39
3.3.4.	Apilado.....	39
3.3.5.	Apilado de las viguetas según los métodos a trabajar.....	40
3.3.6.	Estudio de las propiedades físicas de la madera.....	40
3.3.7.	Expresión de resultados	42
3.3.8.	Evaluación de secado.....	43
3.3.9.	Evaluación de defectos y deformaciones.....	43
3.4.	Interpretación de resultados	43
3.5.	Análisis estadístico	44
3.5.1.	Prueba estadística	46
IV.	RESULTADOS.....	47
4.1.	Secado al natural de la madera de <i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz y Perry, empleando las técnicas de apilado en triángulo y apilado en caballete	47
4.1.1.	Pérdida de humedad en muestras de madera extraídas de los tres niveles del fuste	47
4.1.2.	Pérdida de humedad en muestras de madera con dos orientaciones de corte.....	49
4.1.3.	Pérdida de humedad en muestras de madera secadas bajo dos técnicas de apilado	49

4.2.	Contracción en el corte tangencial y radial en tres niveles del fuste.....	50
4.3.	Contenido de humedad de <i>Pinus tecunumanii</i> Eguluz y Perry.....	52
4.4.	Defectos y deformaciones registradas en maderas de <i>Pinus tecunumanii</i> Eguluz y Perry secadas al natural	56
4.4.1.	Defectos y deformaciones registradas durante el secado al natural en muestras de madera con dos tipos de corte	56
4.4.2.	Defectos y deformaciones durante el secado en muestras de madera extraída de los diferentes niveles del fuste	60
4.4.3.	Defectos y deformaciones durante el secado en muestras de madera secadas bajo dos técnicas de apilado	65
V.	DISCUSIÓN	71
5.1.	Secado al natural bajo las técnicas de apilado.....	71
5.2.	Contracción de la madera	73
5.3.	Contenido de humedad	74
5.4.	Defectos y deformaciones	75
VI.	CONCLUSIONES	78
VII.	RECOMENDACIONES.....	80
VIII.	ABSTRACT.....	81
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
	ANEXO	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Clasificación según la relación de contracción tangencial y radial.....	10
2. Contracción máxima de la madera de 21 especies forestales.....	11
3. Ventajas y desventajas por tipo de apilado.....	24
4. Coordenadas de los árboles extraídos.....	35
5. Esquema del análisis de varianza para un DCA con arreglo factorial.	44
6. Esquema de un Diseño Completo al Azar.	46
7. Análisis de varianza de la pérdida de humedad en los tres niveles del fuste.	47
8. Prueba Duncan para la pérdida de humedad (%) en las probetas en periodos de cada 10 días.....	48
9. Contracción y relación T/R en muestras de madera extraída de diferentes niveles del fuste y con dos tipos de corte.....	51
10. Contenido de humedad en muestras de madera de <i>P. tecunumanii</i>	53
11. ANVA para el contenido de humedad en <i>P. tecunumanii</i>	53
12. Prueba Duncan del contenido de humedad (%) en los tres niveles del fuste.	54
13. Prueba Duncan del contenido de humedad (%) en la albura y duramen de la madera de <i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz.	55
14. Defectos y deformaciones registradas en los dos tipos de corte.	57

15. Defectos y deformaciones en muestras de madera extraídas de tres niveles del fuste.	61
16. Defectos y deformaciones en muestras de madera secadas bajo dos técnicas de apilado.....	66
17. Promedio de la pérdida de peso de las probetas de pino secadas bajo dos técnicas de apilado.....	88
18. Contracciones y relación T/R en probetas de pino.....	91
19. Contenido de humedad en las probetas de pino.....	99
20. Defectos y deformaciones en las probetas de pino.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Agua en la madera.....	17
2. Secado natural apilado en triángulo.....	23
3. Secado natural apilado con caballetes.....	23
4. Tipos de defectos en el secado.....	25
5. Tipos de deformaciones en el secado.....	27
6. Pérdida de humedad en probetas de diferentes niveles del fuste.....	48
7. Pérdida de humedad en probetas con orientaciones de corte.....	49
8. Pérdida de humedad en probetas secadas bajo técnicas de apilado.	50
9. Contracción radial y tangencial en muestras de madera extraída de diferentes niveles del fuste y con dos tipos de corte.....	51
10. Relación T/R en muestras de madera extraída de diferentes niveles del fuste y con dos tipos de corte.....	52
11. Contenido de humedad en los niveles del fuste.....	54
12. Contenido de humedad en las partes de la madera.....	55
13. Interacción entre los niveles del fuste y las partes de la madera.....	56
14. Arqueadura durante el secado a causa del tipo de corte.....	57
15. Abarquillado durante el secado a causa del tipo de corte.....	58
16. Encorvadura durante el secado en madera a causa del tipo de corte.....	58

17. Torcedura durante el secado en madera a causa del tipo de corte.	59
18. Grieta durante el secado en madera a causa del tipo de corte.	59
19. Rajadura durante el secado en muestras de madera a causa del tipo de corte.	60
20. Arqueadura en el secado de madera extraída de niveles del fuste.	62
21. Abarquillado en el secado de madera extraída de niveles del fuste.	62
22. Encorvadura durante el secado en muestras de madera extraída de tres niveles del fuste.	63
23. Torcedura en el secado de madera extraída de tres niveles del fuste.	64
24. Grieta en el secado de madera extraída de tres niveles del fuste.	64
25. Rajadura durante el secado en muestras de madera extraída de tres niveles del fuste.	65
26. Arqueadura durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.	67
27. Abarquillado durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.	67
28. Encorvadura durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.	68
29. Torcedura en el secado de madera bajo dos técnicas de apilado.	69
30. Grieta en el secado de madera bajo dos técnicas de apilado.	69
31. Rajadura durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.	70

32.	Tumbado de árbol.....	102
33.	Trozado de fuste por nivel.....	102
34.	Obtención de probetas.....	103
35.	Obtención de cuartones.....	103
36.	Apilado de cuartones por tipo de corte.....	104
37.	Escuadrado de cuartones.....	104
38.	Obtención de tablas.....	105
39.	Desgrosado de tablas.....	105
40.	Peso fresco húmedo de tablas.....	106
41.	Medición de tablas.....	106
42.	Secado de probetas en estufa.....	107
43.	Peso seco de probetas.....	107

RESUMEN

La madera es un material de múltiples propiedades como la higroscopicidad, permitiendo que gane o pierda humedad según condiciones del medio que la rodea. Por consiguiente, la madera obtendrá estabilidad dimensional cuando su contenido de humedad (CH) alcance equilibrio con la humedad del ambiente. En tal sentido, la presente investigación propone los siguientes objetivos: determinar el menor tiempo de secado al natural de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguiluz y Perry, empleando las técnicas de apilado en triángulo y apilado en caballete; determinar la contracción en el corte tangencial y radial en tres niveles del fuste: basal, medio y apical; determinar el contenido de humedad; y determinar el comportamiento al secado natural referido a la presencia de defectos como grietas, rajaduras, deformaciones, arqueadura, encurvadura, abarquillado y torcedura. El estudio se desarrolló en el Laboratorio Entomopatógeno del Instituto Superior Tecnológico Público Alexander Von Humboldt, ubicado en la ciudad de Villa Rica, políticamente localizado en el distrito Villa Rica, provincia Oxapampa, región Pasco. La metodología consistió en desarrollar lo propuesto por la Norma Técnica Peruana NTP – 251.008 (selección del árbol y obtención de probetas), NTP – 251.010 (contenido de humedad) y la NTP 251.012 (cambio dimensional). Los resultados indican que hubo mayor rapidez de secado en las muestras de madera extraídas del nivel medio y apical del fuste, con la orientación de corte tangencial bajo la técnica del apilado en caballete, registrando a partir del día 45 la humedad en equilibrio con el ambiente, superando a la técnica de apilado en triángulo; la madera de *Pinus tecunumanii* Eguiluz y Perry presentó mayor valor porcentual de contracción tangencial en comparación a la contracción

radial, mientras la contracción a nivel basal, medio y apical no presentó diferencia estadísticamente significativa; la parte basal del fuste presentó menor contenido de humedad (136.07 %), seguido de la parte apical (153.65 %) y del nivel medio (157.49 %); además, el duramen registra menor contenido de humedad (138.11 %) en comparación con las muestras obtenidas de la albura (160.03 %); y las muestras de madera secadas con la técnica de apilado en caballete presentaron torcedura y grietas; en tanto las secadas con la técnica de apilado en triángulo no registraron defectos de arqueadura, abarquillado, encorvadura y rajadura.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de agua en la madera es un hecho conocido, ya que esta es indispensable para la vida de los árboles. Cuando el árbol es cosechado, su madera conserva una cierta cantidad de agua, la cual varía con la especie, el tipo de madera y la densidad de la madera.

El secado es la eliminación del agua de un material que necesita estar seco para poder utilizarlo bien. El arte consiste en secar en el menor tiempo, el menor costo y la mejor calidad posible, convirtiéndose en un proceso vital para el desarrollo del sector maderero y mueblero de cualquier país.

La madera es un material de múltiples propiedades como la higroscopicidad, la cual permite que la madera gane o pierda humedad según condiciones del medio que la rodea. Por lo tanto, la humedad relativa (HR), temperatura y contenido de humedad en equilibrio (CHE) son determinantes para que la madera adquiera un equilibrio higroscópico, que disminuirá considerablemente sus movimientos (contracciones e hinchamientos) cuando esté en servicio. La madera obtendrá estabilidad dimensional cuando su contenido de humedad (CH) alcance equilibrio con la humedad del ambiente.

En la Selva Central, en los últimos años, se han incrementado en escala considerable áreas para la producción maderera con especies exóticas en especial la especie *Pinus tecunumanii* Eguiluz y Perry, que por sus

características deseables como rápido crecimiento, resistentes a plagas y enfermedades, alto precio de venta de comercialización en el mercado nacional y local, y adicionalmente su compatibilidad al asociarse con cultivos agrícolas como el café.

La industria maderero en la Selva Central del Perú, en el proceso de secado, no se cuentan con equipos sofisticado (cámaras secadoras), lo que implica en la mayoría de los casos el traslado de madera habilitada en estado húmedo hacia la capital Lima, resultando un incremento considerable en el costo de transporte.

Las prácticas de técnicas en secado al natural tradicional como la exposición a sol directo, en algunos casos no resulta deseable para la industria de la mueblería, por lo que hace falta realizar prácticas de secado al natural con técnicas de apilado en triángulo o caballete, y con la realización del estudio, se determinará cuál de las técnicas de secado es el más adecuado para la especie en mención. En especies de mediana densidad como el *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry, la cantidad de agua puede doblar el peso de la madera seca por lo que se considera necesario determinar la curva de secado para dicha especie forestal observando así cuál de las dos técnicas de secado al natural apilado en triángulo o caballete tendrá menor tiempo de secado, la cual genera interrogantes referentes a indagar sobre ¿Cuáles serían las características de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry sometidas al secado natural bajo las técnicas de apilado en triángulo y caballete extraídas de los niveles basal, medio y apical del fuste?, considerando el comportamiento de la madera durante el secado para asignarle un tratamiento adecuado. Como respuesta se plantea la hipótesis: “existen diferencias en las características de

la madera del *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry sometidas al secado natural bajo las técnicas de apilado en triángulo y caballete extraídas de tres niveles del fuste". En tal sentido, la investigación plantea los siguientes objetivos:

1.1. General

- Determinar las características de secado al natural en dos técnicas de apilado triángulo y caballete de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry a tres niveles del fuste, en la zona de Selva Central.

1.2. Específicos

- Determinar el menor tiempo de secado al natural de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry, empleando las técnicas de apilado en triángulo y apilado en caballete.
- Determinar la contracción en el corte tangencial y radial en tres niveles del fuste: basal, medio y apical de la especie en estudio.
- Determinar el contenido de humedad de la referida especie.
- Determinar el comportamiento al secado natural en lo que se refiere a presencia de defectos tales como grietas, rajaduras, deformaciones, arqueadura, encorvadura, abarquillado y torcedura.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Secado de la madera

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

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

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

ANANÍAS (2005) manifiesta que la velocidad del secado de la madera puede ser representada por las variaciones temporales de la humedad

de la madera. Teóricamente la velocidad del secado presenta una etapa constante al inicio, hasta el contenido de humedad crítico (CHC), luego es decreciente hasta el contenido de humedad de equilibrio (CHE).

Según INTA (2001), el secado es la acción por la cual la temperatura promueve la evaporación, que es la acción del calor que evapora fácilmente el agua en la madera, por capilaridad, cuando las paredes celulares atraen el agua y la hacen subir hasta el perímetro del poro y salir de la madera, y por difusión, que es el proceso lento de pérdida de agua.

De otro lado, también se señala que en el secado se necesita el calor para evaporar el agua de la madera y estos requerimientos energéticos van en aumento a medida que progresa el secado. El aire en contacto con la madera está en movimiento para transportar tanto calor como la humedad extraída (INTA, 2001).

2.1.1. Secado natural o aire libre

Consiste en estacionar madera verde en un lugar abierto y por un determinado periodo de tiempo, durante el cual la madera entrega humedad a la atmósfera y tiende a llegar al punto de equilibrio higroscópico con el ambiente. El secado al natural es la forma más sencilla y en muchos casos la más barata entre los métodos de secado (POMACHAGUA, 1993).

Algunas veces el objetivo es bajar el contenido de humedad de la madera a su nivel de equilibrio con las condiciones climáticas, otras, es secar la madera lo suficiente como para permitir un transporte más económico, o como presecado para posteriores procesos de secado. En todos los casos, la

intención es secar la madera aserrada en el tiempo más breve posible y con el mínimo deterioro (POMACHAGUA, 1993).

Los principales factores que influyen en un buen secado al natural son: Contar con un lugar adecuado (patio o pampa). Para exponer la madera al natural y, el apilado, debe ser efectuado de tal modo, que el aire circule alrededor de cada una de las piezas de madera.

El mejor método de apilar o encastillar madera para un secado rápido, con el mínimo de agrietamiento y torcimiento, es el apilado plano. Sin embargo, maderas se secan con facilidad y no se agrietan ni tuercen mucho, se pueden apilar en forma más sencilla por el método “en caballete o V invertida”, “apilado en pie” y “apilado en triángulo o rectángulo” (UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, 2003).

VALDERRAMA (1992) afirma que el secado al aire libre; sigue siendo el método preferido en muchos países para reducir el contenido de humedad de la madera hasta su punto de equilibrio, así mismo, mencionan que si no se protege la madera contra la lluvia y el sol se producen defectos como torceduras, rajaduras o grietas; especialmente en las capas superiores de la pila, que descalifican la madera, ocasionando a menudo altas pérdidas económicas.

2.2. Aspectos físicos relativos al secado de la madera

2.2.1. Cambios dimensionales

La madera cambia sus dimensiones a partir del punto de saturación de las fibras contrayéndose hasta perder todo el agua higroscópica, cuando la

madera verde se seca, aparecen una nueva serie de fenómenos hasta llegar al punto comercial del valor de la humedad (SALAS, 2005).

Así, hasta llegar al punto de saturación de las fibras (PSF), la pérdida de agua incide solamente sobre el peso y la conservación de la madera. Pero, por debajo del PSF, se inician los defectos que afectan a las formas y medidas de las piezas que se someten al secado. La disminución de medidas en los planos de la madera, recibe el nombre de “contracción” y se expresa en porcentaje, aplicando la siguiente fórmula (JUNAC, 1984):

$$C\% = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Donde:

C% = Contracción expresada en porcentaje.

M_i = Medida inicial (madera húmeda o verde).

M_f = Medida final (madera seca o anhidra).

La contracción tangencial (Ctg), es paralela a los anillos de crecimiento y puede ser dos veces mayor que la contracción radial (Cr), que es perpendicular a los radios. Las maderas más pesadas se contraen en sentido tangencial, mientras que las livianas lo hacen en sentido radial.

No todas las partes de una pieza de madera alcanzan el PSF al mismo tiempo. Las capas superficiales al secarse, contraen hasta cierto grado y comprimen el interior de la madera, antes que ella haya llegado al PSF, produciendo defectos apreciables como el agrietamiento, endurecimiento

superficial, y otros, fáciles de apreciar en la sección transversal de las piezas de madera (GONZALES, 1996).

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 1/30. Para los fines prácticos, se puede considerar como hinchazón el reverso de la contracción, así por cada aumento de 1 % de humedad, la pieza experimentará una hinchazón igual al 1/30 parte de la totalidad que pueda ocurrir, el agua libre no tiene ninguna influencia en estos cambios.

GONZALES (1996) menciona que las maderas pesadas se contraen más que las maderas livianas, por ser más densas. Por esta misma razón la contracción puede variar entre la madera de primavera, que es menos densa, y la madera de verano que es más densa, dentro de un anillo de crecimiento (SALAS, 2005). De otro lado la reducción de dimensiones que experimentan las piezas de madera cuando pierden humedad, según la dirección que se considere es conocido como cambio dimensional o contracción longitudinal, radial o tangencial (JUNAC, 1984).

Kollmann (1959), citado por ALVAREZ (2009) señala que la variación y expansión de la madera son los cambios dimensionales, tanto en el sentido radial, tangencial y longitudinal, que sufre la madera como consecuencia de la variación de su contenido de humedad, por debajo del PSF. La relación de la contracción tangencial y radial es un índice de la estabilidad de la madera. Cuando la relación (T/R) se acerca a uno, la madera es más estable y tiene buen comportamiento al secado.

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

ANANÍAS (1992) manifiesta que los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales. La contracción tangencial es 1.5 a 3 veces mayor que la contracción radial, y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera.

Las diferencias entre contracción tangencial y radial son debidas por una parte al potencial favorecimiento de la contracción en el sentido tangencial que hacen las bandas de madera de verano, particularmente en coníferas, y por otra a la restricción a los cambios dimensionales que ejercen los radios leñosos en la dirección radial de la madera. La limitada contracción longitudinal es debida a la orientación longitudinal de los principales tejidos constituyentes de la madera.

Ciertos defectos que ocurren durante el secado de la madera son ocasionados por las diferencias de contracción tangencial y radial, particularmente el defecto denominado acanaladura. Mientras mayor es la relación C_{tg}/C_{rd} las maderas son más acanaladas. Igualmente la contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados encorvadura y arqueadura (ANANÍAS, 1992).

Cuadro 1. 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)	Moderadamente estable (M)
4	De 2.5 a 3.0	Alta (A)	Inestable (I)
5	Mayor de 3.1	Muy alta (MA)	Muy inestable(MI)

Fuente: VIZCARRA (1998).

HERMINIO (2003) describe que la contracción normal es la disminución de dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de las fibras, expresada como porcentaje de la dimensión de la madera al estado verde.

Las contracciones de la madera pueden suceder sobre el punto de saturación de las fibras cuando están referidas al colapso.

Sin embargo, su evidencia principal se da cuando el contenido de humedad está bajo el punto de saturación de las fibras. Se puede observar una deformación armónica, es decir, paralela a las caras de la pieza en secado y que permite al final del proceso, obtener piezas contraídas pero sin alteraciones o desclasificaciones.

En tanto, por defecto del corte de la madera o por tensiones de crecimiento, se puede tener madera que durante el secado evidencian deformaciones anormales sobre y bajo el punto de saturación de las fibras.

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

La magnitud de la contracción varía según las características de la especie, las secciones y la orientación anatómica del corte (JUNAC, 1984).

Cuadro 2. Contracción máxima de la madera de 21 especies forestales.

Especies	Contracción normal máxima (Cn max) (Expresada como % de la dimensión verde)		
	Dirección tangencial (%)	Dirección radial (%)	Volumétrica (%)
Álamo	8.0	3.4	11.4
Alerce	6.3	3.8	10.1
Araucaria	8.3	4.6	12.9
Avellano	8.6	3.6	12.2
Ciprés de la Cordillera	6.4	3.8	10.2
Coigue	9.3	4.8	14.1
Eucalipto	11.7	6.5	18.2
Laurel	8.0	3.8	11.8
Lenga	7.2	3.3	10.5
Lingue	9.0	4.5	13.5
Luma	9.0	5.5	15.5
Mañio macho	6.8	3.5	10.3
Olivillo	8.2	4.3	12.5

Pino insigne	7.0	4.2	11.2
Pino oregón	9.2	5.7	14.9
Raulí	7.8	4.3	12.1
Roble	8.3	4.6	12.9
Temú	9.8	5.5	15.3
Tepa	8.3	3.7	12
Tineo	11.4	4.4	15.8
Ulmo	11.2	6.4	17.6

Fuente: Fernández (s.d.), citado por RAYMUNDO (2011).

2.2.2. Higroscopicidad

Según SALAS (2005), la madera es un material higroscópico (tiene apetencia por el agua) y va perdiendo o ganando agua en función de la temperatura y humedad relativa del ambiente en que se encuentre, hasta que alcanza una situación de equilibrio en su entorno.

El equilibrio higroscópico corresponde al equilibrio entre las presiones parciales de vapor de agua del ambiente y del producto húmedo. Para la mayoría de las especies el equilibrio higroscópico está entre el 12 % y el 18 % de contenido de humedad dependiendo del lugar donde se realiza el secado. En el secado natural, solo puede alcanzarse como resultado final del contenido de humedad en equilibrio con las condiciones climáticas del lugar.

En cuanto a las curvas de equilibrio higroscópico, éstas establecen la variación de la humedad de equilibrio higroscópico (HEH) con la variación de las características higrotérmicas del medio. Se sabe que la madera es más

sensible a los cambios de humedad relativa que a los cambios de temperatura, esto es, en la variación de la humedad de equilibrio higroscópico (HEH) va a tener más peso la humedad relativa que la temperatura (MORALES, 2004).

ANANÍAS (2002) agrega que es la variación de la densidad de la madera cuando el contenido en humedad varía un 1 %. La madera va a estar en un equilibrio hidrostático con el medio ambiente, es decir, la madera va a absorber agua del medio o a cederla hasta llegar a un equilibrio dinámico con éste. La humedad para la cual la madera ya no varía su densidad es la Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH). Este equilibrio es dinámico. Desde el punto de vista comercial se admite que el HEH es la misma para todas las maderas.

2.2.3. Humedad relativa y la humedad de la madera

La humedad relativa del aire influye directamente a la humedad de la madera, si la humedad relativa del aire aumenta, entonces aumenta la humedad de la madera, de igual forma se presenta esa influencia de manera inversa. Siempre y cuando la temperatura sea constante y el proceso se lleva a cabo en un sistema cerrado.

La madera es un material higroscópico que reacciona siguiendo las leyes que rigen para los cuerpos porosos por lo tanto, en contacto con un ambiente determinado ésta absorberá o perderá humedad, hasta tanto no exista igualdad entre las presiones parciales en vapor de aire circundante y el cuerpo húmedo, de lo contrario se dará una transferencia de humedad de la madera al medio o viceversa (MORALES, 2004).

La magnitud de esta transferencia depende de la humedad relativa del aire. Para un cuerpo saturado de agua, la transformación será nula si la humedad relativa es igual al 100 % y máxima cuando la humedad relativa es 0 %, mientras que si el cuerpo poroso está seco la absorción de humedad será máxima si la humedad relativa es 100 % y nula si la humedad relativa es 0 %.

Cuando una pieza de madera se deja cierto tiempo bajo condiciones de temperatura y humedad relativa constante se establece un equilibrio entre la presión de vapor de agua, del aire y la que existe en el interior de la pieza de madera (MORALES, 2004).

2.2.4. Punto de saturación de las fibras (PSF)

Según MORALES (2004), el PSF representa el porcentaje de humedad de la madera cuando se ha alcanzado la máxima hinchazón; si disminuye la humedad también lo hará el volumen, pero si aquella aumenta, el volumen permanece prácticamente constante.

Las variaciones de volumen expuestas no son suficientes, para darse cuenta de la complejidad de los fenómenos que intervienen en el movimiento de la madera y que tienen como resultado las variaciones lineales de sus tres dimensiones: axial, tangencial y radial, con contracciones muy diferentes para cada una, como consecuencia de ser un material anisótropo.

2.2.5. Contenido de humedad

JUNAC (1984) indica respecto al contenido de humedad, que es sin duda, la propiedad que más influye sobre todas las demás propiedades, la

madera recién aserrada contiene cantidades variables de agua, que depende de la época de corta y la región que proceda.

En general, las maderas livianas contienen mayor agua que las maderas pesadas. La albura, formada por células cuya función es la conducción de sustancias nutritivas en soluciones acuosas, presenta un contenido de humedad mayor que en el duramen, tejido compuesto por células con acumulación de sustancias infiltradas en las cavidades celulares.

KOLLMAN (1959) especifica que el conocimiento del contenido de humedad es importante para la utilización de la madera ya que influye en el peso y afecta otras propiedades. El contenido de humedad, según ANANÍAS (2002), es la cantidad de agua presente en la madera; se expresa como porcentaje del peso de la madera seca o anhidra y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$CH\% = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%).

P_i = Peso inicial (g).

P_f = Peso en estado anhidro (g).

INTA (2001) indica que el agua en la madera está presente en varias formas; agua libre que se ubica en los lúmenes o espacios de las células, agua higroscópica que está en la pared celular, agua de constitución

que forma parte de la estructura química y agua en forma de vapor. Es la cantidad de agua con respecto a la cantidad de sustancia leñosa (exclusivamente pared celular).

El contenido de humedad, generalmente, es referido como porcentaje del peso seco o anhidro, pero en algunos casos se refiere a la base húmeda. El contenido de humedad depende de la relación albura duramen, madera juvenil madera adulta, relación madera primavera verano y densidad. La albura tiene más humedad que el duramen. Si la humedad inicial es de 100 %, significa que de 100 kg de madera 50 kg son de agua y 50 kg son de leño. Si la humedad inicial es de 150 %, significa que de 100 kg de madera es 60 kg de agua y 40 kg son de leño.

2.2.6. Contenido de humedad en equilibrio

INTA (2001) indica que la madera, al ser un material higroscópico tiene la capacidad de absorber o ceder humedad del ambiente que la rodea, hasta que la cantidad de agua en la madera esté en equilibrio con las condiciones ambientales. Cuando una pieza de madera se deja suficiente tiempo en un ambiente cuya característica de temperatura y humedad relativa permanecen constante, se establece un equilibrio entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la que existe en el interior de la pieza de madera.

Cuando este equilibrio es alcanzado, la humedad de la madera no varía más y se dice que ha llegado al “contenido de humedad de equilibrio” (CHE) o humedad límite. Este contenido de humedad permanecerá constante

mientras las características del aire que rodean a la madera no cambian (Figura 1).

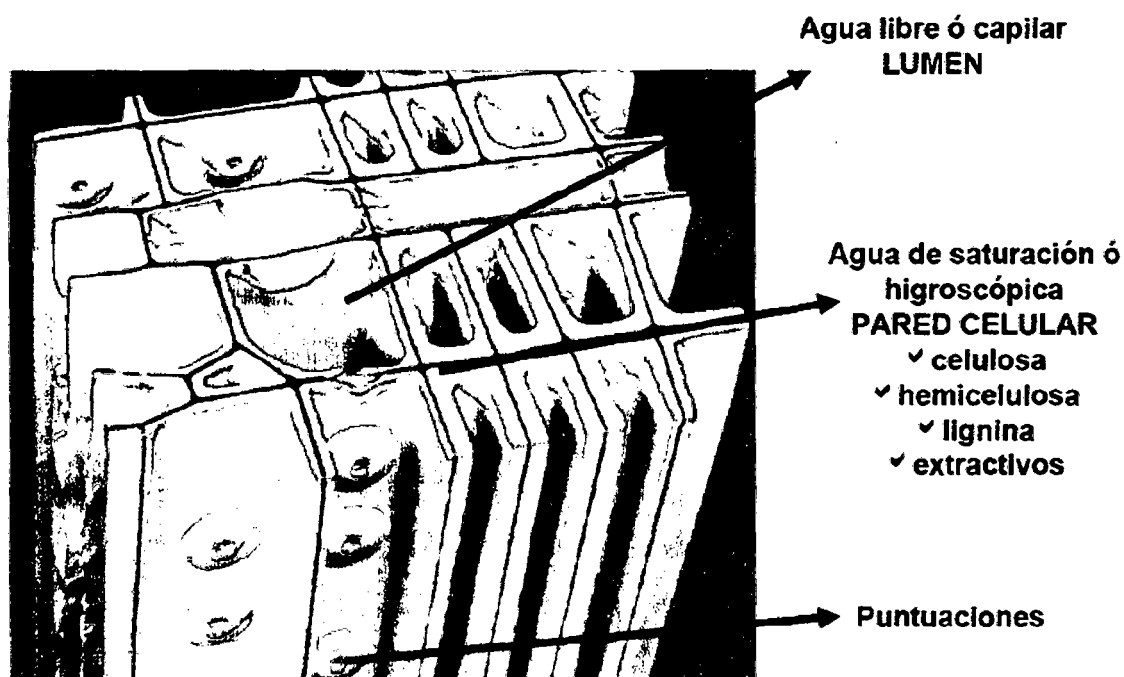


Figura 1. Agua en la madera.

Es importante señalar que este equilibrio se alcanza instantáneamente y el tiempo implicado depende de varios factores, tales como la densidad de la madera, el espesor, cantidad y calidad de las sustancias extractivas presentes, la humedad inicial, etc. Los valores de la humedad de equilibrio de la madera se han determinado en función de las características del aire que la rodean, a presión atmosférica constante se pueden hacer variar los parámetros humedad relativa y temperatura del aire y a partir de ellos establecer los valores de la humedad de equilibrio de la madera correspondiente a cada condición dada (MORALES, 2004).

La relación entre el contenido de humedad de equilibrio de la humedad de la madera y la humedad relativa del aire a un temperatura

constante, puede expresarse por medio de una curva llamada Isoterma de Sorción (ANANÍAS, 2002).

2.2.7. Contenido de humedad en base seca

Es la cantidad de agua presente en la madera; se expresa como porcentaje del peso de la madera seca o anhidra.

En la práctica, la cantidad de agua existente en la madera se determina según métodos principales: directo, por diferencias de peso, e indirecto, con ayuda de xilohigrómetros eléctricos (UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, 2003).

2.2.8. Densidad

Es la relación entre la masa (m) de una pieza de madera con su volumen (v) y se la expresa en gramos por centímetro cúbico (UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, 2003).

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

m = Masa (g) ; v = Volumen (cm³).

2.2.9. Curvas de secado

Según ANANÍAS (2002), las curvas de secado representan la variación de la humedad de la madera con el tiempo de secado o la velocidad

de evaporación con el tiempo de secado. En ambos casos se observan dos fases o etapas características del proceso de secado: la fase de velocidad de secado constante, y la fase de velocidad de secado decreciente.

La etapa de velocidad de secado constante, se presenta al inicio del secado cuando la superficie de la madera se encuentra completamente húmeda.

En el secado a partir del estado verde, la superficie de la madera está cubierta de una delgada película de agua líquida y la evaporación se mantiene a una velocidad constante, esta etapa es más larga en maderas de menor espesor y de mayor permeabilidad y es muy corta en maderas de mayor grosor y es casi imperceptible en maderas previamente secada o presecada.

En la fase de velocidad de secado decreciente se observan dos sub – etapas: etapa de secado con la superficie parcialmente cubierta de agua líquida, periodo que se produce cuando aparecen los primeros sectores de la superficie seca, está sub – etapa puede ser también bastante corta o prolongarse hasta alrededor del punto de saturación de las fibras; y la etapa de secado por debajo del punto de saturación de las fibras, este periodo es gobernado por el movimiento interno de humedad, y en maderas refractarias de difícil secado puede representar prácticamente toda la curva de secado.

2.2.10. Curvas de equilibrio higroscópico

Estas curvas establecen la variación de la humedad de equilibrio higroscópico (HEH) con la variación de las características higrotérmicas del medio. La madera es más sensible a los cambios de humedad relativa que a

los cambios de temperatura. Esto es, en la variación de la humedad de equilibrio higroscópicas (HEH) va a tener más peso la humedad que la temperatura (ANANÍAS, 2002).

2.3. Factores que inciden en el secado de la madera

2.3.1. Influencia de la estructura anatómica

SOLANO (1998) menciona que, considerando que las células son alargadas y en su mayoría dispuestas en el sentido paralelo al eje del árbol, comunicadas entre sí por punteaduras y perforaciones, deduce que el movimiento del agua dentro de la madera y de allí a la superficie se efectúa con mayor facilidad en dirección longitudinal.

Teniendo en cuenta los tres diferentes planos, determinados por el eje del árbol, los radios leñosos y los anillos de crecimiento, se ha establecido que la madera en el sentido longitudinal se seca en promedio tres veces más rápido que en el sentido radial y dos veces más que en el sentido tangencial. El tamaño de las células, los contenidos que posean y la proporción de cada una de ellas en el leño tienen también influencia en el secado (SOLANO, 1998).

2.3.2. La higroscopicidad

SOLANO (1998) manifiesta que la higroscopicidad es la característica que tienen los cuerpos porosos, entre ellos la madera, de perder o ganar humedad de acuerdo al medio ambiente donde se encuentra. Esta propiedad tiene gran influencia en el secado ya que mediante ella se logra que la madera pierda humedad, cambiando las condiciones climáticas del sitio

donde se encuentre (horno de secado). En un clima cualquiera la madera adquiere un contenido de humedad determinado que se conoce como contenido de humedad en equilibrio (CHE).

2.3.3. La anisotropía

De acuerdo a SOLANO (1998), la anisotropía es la característica que hace que la madera al perder humedad varíe sus dimensiones en diferentes proporciones en cada una de las tres direcciones (longitudinal, tangencial y radial). Esta propiedad tiene que ver con los defectos que se presentan en la madera durante el proceso de secado, ya que la mayoría de ellos son producidos por efectos de las contracciones o disminuciones de dimensiones diferentes de cada uno de los tres planos y se presentan después que la madera ha perdido el agua libre y empieza a perder el agua fija.

La contracción tangencial es mayor que la radial y esta mayor que la longitudinal pudiendo decirse que la tangencial fluctúa entre 3.5 % a 15 %, la radial varía entre 2.4 % a 11 % y la longitudinal varía entre 0.1 % a 0.9 %. La relación entre la contracción tangencial y la contracción radial es el coeficiente de estabilidad dimensional (CED).

Si esta relación fuera igual a 1 las deformaciones por efectos del secado serían despreciables, pero lo normal es que ese coeficiente sea mayor de 1.5, entonces la disminución desigual de dimensiones tiende a producir deformaciones que en muchos casos aumentan las pérdidas de madera durante el proceso de secado.

El valor del CED incide directamente sobre la duración del secado porque no se podrá aplicar un secado forzado a una especie que tenga un alto CED. La contracción volumétrica tiene mucha influencia durante el proceso de secado ya que si la disminución de volumen supera la resistencia de cohesión entre las células, se presentan grietas, rajaduras y deformaciones si el secado es muy rápido.

2.4. Apilado de madera aserrada

En cuanto al apilado de la madera RUEDA (2007), menciona que mejor método de apilar o encastillar madera para un secado rápido, con el mínimo de agrietamiento y torcimiento, es el apilado plano.

Sin embargo, el autor añade que las maderas que secan con facilidad y no se agrietan ni tuercen mucho, se pueden apilar en forma más sencilla por el método “en caballete o V invertida”, “apilado en pie” y “apilado en triángulo o rectángulo”.

2.4.1. Apilado en triángulo

RUEDA (2007) menciona que se utiliza especialmente para tablonés y no requiere de viguetas o separadores para permitir la circulación del aire ya que es el espacio se logra a través del entrecruzamiento de los extremos de las tablas. Es conveniente protegerlos de la lluvia y de la incidencia directa del sol a través de una cubierta o techo (Figura 2).

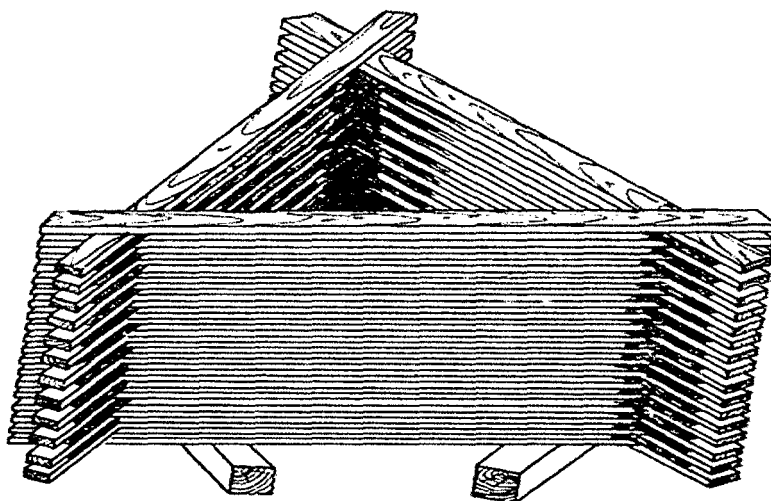


Figura 2. Secado natural apilado en triángulo.

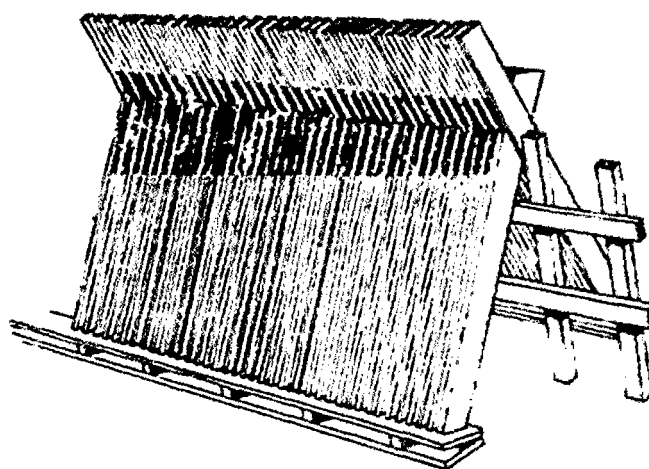


Figura 3. Secado natural apilado con caballetes.

2.4.2. Apilado con caballetes

RUEDA (2007) señala que es utilizado en especies que tienen alto contenido de humedad inicial y que no son susceptibles a sufrir deformaciones inmediatamente después del aserrado. Las piezas de madera se colocan de canto sobre un travesaño o caballete y se apoya sobre uno de los extremos, permitiendo una velocidad de secado rápida en la parte superior de las viguetas (Figura 3).

Cuadro 3. Ventajas y desventajas por tipo de apilado.

Apilado	Ventajas	Desventajas
Triangular	– Secado rápido	– Punto de encuentro entre maderas que quedan húmedos.
		– Mayor posibilidad de defectos: alabeos y grietas.
		– Riesgo mayor de ataque de hongos.
Caballete	– Requiere menor espacio.	– No se puede secar maderas con tendencia a torceduras porque hay mayor riesgo de alabeo.
	– Secado rápido porque las piezas están expuestas, casi totalmente, al medio ambiente.	– La parte inferior seca más lentamente.

Fuente: RAYMUNDO (2011).

2.4.3. Preparación de la madera

Durante el secado natural es conveniente tener en cuenta los siguientes aspectos a fin de contrarrestar los agentes biodegradantes como insectos, hongos, sol, la lluvia entre otros que son agresivos, y la posible formación de grietas, rajaduras y deformaciones (POMACHAGUA, 1993).

Aplicar, por aspersión o inmersión, sustancias inmunizantes (insecticidas y fungicidas) para evitar el ataque de hongos e insectos (UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, 2003).

2.4.4. Techado de los apilados

Es necesario en casi todos los casos, techar las pilas de madera, para no retrasar el secado y evitar la pérdida de madera por desclasificación. Para una mejor eficacia, el techo debe sobresalir en los costados y extremos de las pilas. El techo debe sobresalir unos 30 cm. en el frente, unos 80 cm. en la parte posterior y unos 20 cm por los costados. El techo debe seguir un declive que permita el fácil escurrimiento del agua hacia su parte posterior (pendiente de 10 – 25 %) (POMACHAGUA, 1993).

2.5. Defectos y deformaciones de la madera en el secado

2.5.1. Defectos (grietas y rajaduras)

Se originan en general debido a un secado muy rápido, especialmente durante las primeras etapas o como consecuencia de un secado irregular a lo largo de una pieza de madera. Las grietas pueden ser superficiales, terminales o internas, pueden reducirse con un secado gradual, ya sea disminuyendo la velocidad del viento entre las pilas o manteniendo una alta humedad relativa (SOLANO, 1998).

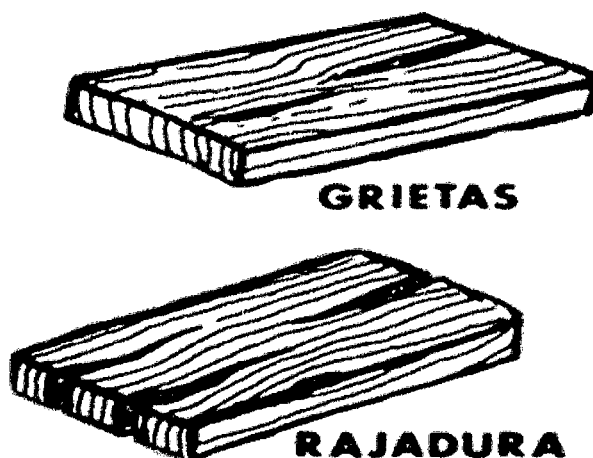


Figura 4. Tipos de defectos en el secado.

2.5.2. Deformaciones (alabeos)

Estas deformaciones se deben a tensiones internas que presenta el árbol, a un secado irregular o a un deficiente sistema de apilado. En este último caso, la deformación es causada por la contracción diferenciada de corte de la madera en las tres direcciones (SOLANO, 1998).

2.5.2.1. Abarquillado

Es la distancia o curvatura del eje transversal de una pieza de madera aserrada. Aquellas tablas aserradas en sentido tangencial a los anillos, se deforman más que en sentido radial.

Las cortadas en la periferia de la trozas tienen menos distorsión que las obtenidas cerca de la medula. Entre mayor es el espesor, mayor es la tendencia al abarquillado. Si se hace un presecado al aire y se evitan los programas severos de secado, se puede reducir el abarquillado, pero la mejor forma de controlarlo es mediante un correcto apilado (SOLANO, 1998).

2.5.2.2. Arqueadura

Es el alabeo o curvatura a lo largo de la cara de la pieza. Se asocia con una contracción longitudinal excesiva en la madera cercana a la medula juvenil, o madera de reacción, tanto por compresión en coníferas como de tracción en latifoliadas cuando los árboles han crecido en pendientes o torcidos. También cuando en la pieza aserrada existe grano inclinado. Se puede controlar en forma semejante que el abarquillado (SOLANO, 1998).

2.5.2.3. Encorvadura

Es el alabeo o curvatura a lo largo del canto de la pieza de madera, se forma por las mismas causas que la arqueadura, pero es más difícil de controlar que está (SOLANO, 1998).

2.5.2.4. Torcedura

Es el alabeo que se presenta cuando la esquina de la pieza de madera no se encuentra en el mismo plano. Se presenta en madera con grano espiralado, ondulado, entrecruzado, distorsionado por nudos (SOLANO, 1998).

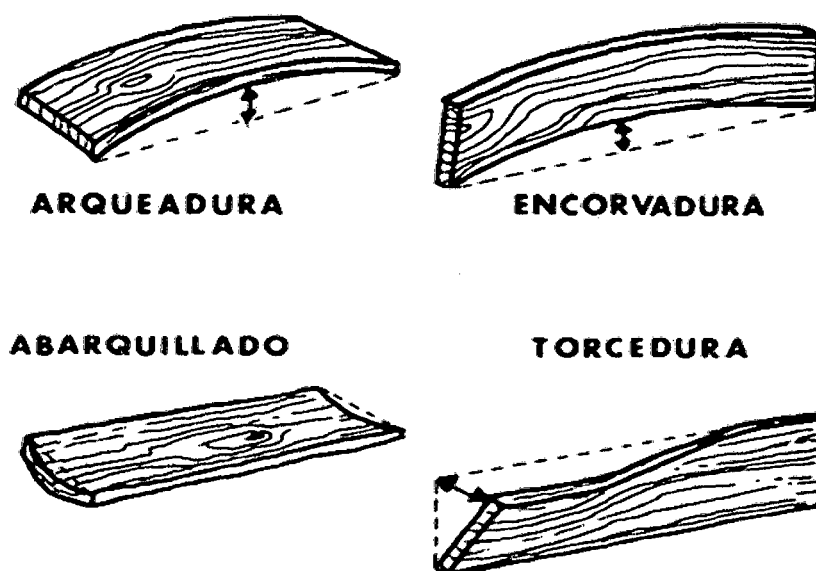


Figura 5. Tipos de deformaciones en el secado.

2.6. *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry

2.6.1. Descripción dendrológica

Clasificación taxonómica de la especie *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry según CATIE (2000):

Reino	: Plantae.
Sub – reino	: Embryobionta.
División	: Pinophyta.
Sub – división	: Pinicae.

Clase	: Pinopsida.
Orden	: Pinales.
Familia	: PINACEAE.
Género	: Pinus.
Especie	: <i>Pinus tecunumanii</i> Eguliz y Perry.
Nombre común	: Pino.

Sobre esta especie STYLES y HUGHES (1983) dice lo siguiente: árbol originario de Centro América, de fuste generalmente recto con alturas de 40 a 55 metros y diámetros de 50 a 120 centímetros, libre de ramas hasta un 40 a 60 % de su altura; ramas verticiladas, normalmente delgadas, cortas, extendidas y con escamas decurrentes de color café rojiza en la base, con placas pequeñas separadas por fisuras poco profundas, de 2 a 5 centímetros de espesor a la altura del pecho, tornándose lisa, decidua y de tonalidad rojo naranja.

Las hojas son acículas de color verde brillante, a veces amarillas verdosas.; en fascículos de 4 acículas, algunas veces de 3 a 5, de 14 a 21 centímetros de largo y de 0.5 a 0.8 mm de grueso, flexible, triangulares, con vaina persistente, de 12 a 23 mm de largo, con estomas en los tres lados. Canales resiníferos de dos a tres, usualmente medios. Los estróbilos masculinos estaminados, al final de las ramitas; Los estróbilos femeninos pequeños color café, de forma conoidal, ápice puntiagudo, base redondeada, con pedúnculos largos y delgados, escasos y dispersos en el árbol.

Follaje de color verde claro. Usualmente presenta de 3 a 5 acículas por fascículo de 12 a 25 cm de longitud. Conos pequeños, duros

estrechamente conoidales de 4 a 9 centímetros de largo por 3 a 6 centímetros de ancho de color café claro con un pedúnculo que llega a medir hasta 2 cm de largo. La cantidad de conos por árbol es usualmente pequeña.

2.6.2. Características tecnológicas

GONZALES (1970) indica las propiedades de *Pinus tecunumanii*:

2.6.2.1. Propiedades Físicas

- Densidad básica 0.42 g/cm³.
- Contracción tangencial 6.35 %.
- Contracción radial 3.16 %.
- Contracción longitudinal 0.29 %.
- Contracción volumétrica 9.21 %.

2.6.2.2. Propiedades Mecánicas

- Módulo de elasticidad en flexión 117,5476 kg/cm².
- Módulo de rotura en flexión 1.172,3153 kg/cm².
- Compresión paralela (RM) 231,5117 kg/cm².
- Compresión perpendicular (ELP) 66,6957 kg/cm².
- Dureza en los lados 253,5602 kg.
- Tenacidad (resistencia al choque) 0.4823 kg-m.

2.7. Antecedentes de estudio

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)), utilizó cinco árboles de acuerdo a la norma técnica peruana (NTP)-PR-251.008, para la de terminación de contenido de humedad empleó la Norma técnica peruana (NTP) 251.010, donde encontró que esta especie presenta alta diferencias significativas para el contenido de humedad entre los bloques (árboles) presentes en los niveles base, medio y ápice del fuste de capirona.

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) analizaron 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. Seleccionaron 20 árboles en cuatro sitios de muestreo. Determinó 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.

Con el objetivo de determinar la variación de la densidad de la madera (peso seco/volumen verde) de tres poblaciones de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., México, GUTIÉRREZ *et al.* (2010) obtuvieron las muestras de madera de árboles de tres poblaciones (Las Margaritas, Motozintla y Cintalapa) de distribución natural de la especie, con tamaños de muestra de 5 a 17 árboles; de la muestra sacaron un cilindro de madera a 1.30 m de altura.

Los resultados mostraron diferencias ($p \leq 0.05$) en la densidad de la madera, con un promedio de 0.56 g/cm^3 que corresponde a madera pesada, y una desviación estándar de 0.078 g/cm^3 . La población de Cintalapa presentó mayor densidad de la madera (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. Además, correlacionaron la densidad básica promedio del fuste, con la densidad básica obtenida a distintos niveles de altura. Muestrearon 9 árboles entre dominantes y codominantes.

De cada árbol obtuvieron rodelas cada 10 % de la altura total, hasta una altura del 70 %. De las rodelas extrajeron cubos de 1 cm de arista, de médula a corteza en las direcciones norte y sur, y en ellos determinaron la densidad básica. 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) determinó 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*). El material de estudio fue recolectado de dos árboles de la zona de Becerra Belén del caserío de la Angostura de dos diferentes tipos de bosque según fisiografía, se tomó un árbol de cada tipo de relieve, dicho material fue trasladado al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se realizaron los ensayos establecidos según normas técnicas peruanas INDECOPI.

Los resultados demuestran que existen 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 , sobre pasando el límite de $>0.75 \text{ g/cm}^3$, como lo menciona (ARÓSTEGUI, 1982), 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. Utilizó el DBCR con unidades de muestreo. 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 presentaron el 2.71 %, 8.29 %, 10.17 % y 0.28 % respectivamente; además no se encontraron variaciones en el fuste para la contracción volumétrica y tangencial.

ÁLVAREZ (2009) realizó un estudio utilizando madera de la especie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D Don., huamanzamana, a tres niveles del fuste del árbol: base, medio y ápice; dos tipos de cortes tangencial y radial, se evaluó el comportamiento dos técnicas de secado, apilado en triángulo y caballete. Los resultados mostraron que la especie apilándose indistintamente en forma triangular o caballete, no presenta diferencias estadísticas; encontrándose mayor rapidez de secado natural en el corte tangencial en los

primeros 20 días con un contenido de humedad de 29.25 % en comparación al 32.15 % del corte radial.

Sin embargo; con respecto a los niveles del fuste si hubo diferencias significativas, mostrando mayor rapidez de secado el ápice con 23.33 % de contenido de humedad. Asimismo, el contenido de humedad es mayor en el nivel medio con un 96.97 %, siendo menores en el ápice y base del fuste. Por otro lado la contracción tangencial fue mayor que la radial, la relación T/R igual a 1.33. Finalmente con relación a la presencia de defectos y deformaciones se encontró que la especie presenta mayor defectos en el corte tangencial y en el apilado en triángulo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en los ambientes del Laboratorio Entomopatógeno del Instituto Superior Tecnológico Público Alexander Von Humboldt, ubicado en la ciudad de Villa Rica; así como en el aserradero del señor Rubén Quispe, ubicado en el centro poblado San Miguel de Eneñas; ambos políticamente localizados en el distrito Villa Rica, provincia Oxapampa, región Pasco.

Cuadro 4. Coordenadas de los árboles extraídos.

Id	Árbol	X (Este)	Y (Norte)	Z (Altitud)	DAP (cm)	HC (m)	Edad (años)
1	1	475091	8814112	1727	38	10	12
2	2	475099	8814120	1727	37	10	12
3	3	475039	8814085	1728	32	9	12
4	4	475028	8814056	1728	43	13	12
5	5	475016	8814056	1729	41	12	12

En la Estación Meteorológica Villa Rica, el mes que registró mayor precipitación fue enero con 344.5 mm y el de menor precipitación fue agosto, con 27 mm.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Madera

Se emplearon maderas de corte radial y corte tangencial de la especie forestal *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry extraídos de un sistema de plantación agroforestal ubicado en el Sector de Alto Eneñas, jurisdicción del distrito Villa Rica, provincia Oxapampa; posteriormente el material vegetal fue trasladado a un aserradero para la obtención de las tablas y se realizó las mediciones de peso y contracción, paralelamente en el Laboratorio Entomopatógeno del Instituto Superior Tecnológico Publico Alexander Von Humboldt se realizó el secado a estufa de las probetas, para realizar las evaluaciones de contenido de humedad correspondientes.

3.2.2. Herramientas y equipos de campo

- Cinta métrica de 30 m.
- Wincha de 5 metros.
- Machete.
- GPS GARMIN 12XL.
- Libreta de campo.
- Motosierra marca STIHL, modelo 250.
- Cámara fotográfica.
- Soga de 50 metros.
- Prensa botánica.
- Tijera telescópica.

3.2.3. Material de laboratorio

- 01 balanza digital con precisión de 0.01 g SF-400 A, con capacidad de 5 kg.
- 01 calibrador digital de 0.01 mm de precisión de 8" INSIZE.
- 01 estufa eléctrica provista de un termostato para mantener la temperatura entre 101 y 105 °C.
- Desecador de laboratorio, provisto de sustancia higroscópica.

3.2.4. Equipos de taller

- Sierra circular, con motor de 15 hp marca SIEMENS 1600 rpm.
- Garlopa SIEMENS 320 rpm.
- Calibradora marca Diamonick motor SIEMENS en alta.

3.3. Metodología

3.3.1. Ubicación y selección de la especie

Se realizó la ubicación e identificación de la especie en estudio por los especialistas del Jardín Botánico Missouri de la ciudad de Oxapampa, para luego seleccionar los árboles de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP – 251.008. En total se seleccionó cinco árboles, georreferenciándose cada uno de ellos mediante un GPS. Posteriormente, de cada árbol se tomaron medidas de diámetro, altura, entre otros.

3.3.2. Proceso de obtención de la madera

Luego de ubicar y seleccionar los árboles en estudio, se procedió a la colección de muestras, la misma que se realizó mediante la Norma Técnica Peruana NTP – 251.008. Los fustes de cada árbol se cortaron en tres niveles: bajo, medio y superior. Para la obtención de muestras se realizaron las siguientes actividades.

3.3.2.1. Apeo, corte o talado

En este proceso se cortaron mediante una motosierra los árboles en estudio, aplicándose la técnica de tala dirigida.

3.3.2.2. Trozado de los árboles

Se procedió a trozar los árboles apeados por niveles de fuste, obteniéndose trozas con una longitud de 1.3 m. Cada troza fue codificada para diferenciar el árbol y nivel de fuste correspondiente.

3.3.2.3. Aserrado primario

Una vez trozado el fuste del árbol, se procedió a la transformación primaria que consistió en la obtención mediante una motosierra, de bloques o cuartones con orientaciones radiales y tangenciales.

3.3.2.4. Transporte de cuartones o bloques

Es la fase en la que los cuartones o bloques obtenidos fueron llevados a un aserradero con apoyo de una camioneta.

3.3.2.5. Aserrado secundario

En esta fase se procedió a usar la garlopa y la sierra circular para reaserrar los cuartones o bloques, con la finalidad de obtener tablas o probetas con dimensiones de 1" x 4" x 4' (espesor, ancho y longitud, respectivamente), con sus respectivas orientaciones de corte (tangencial y radial); dichas muestras fueron obtenidas de cada nivel del fuste, para su posterior proceso de secado al aire libre.

3.3.3. Acondicionamiento de las tablas o viguetas de madera

Luego de obtener las tablas o viguetas, se colocaron éstas en un ambiente teniendo en cuenta una buena disposición entre ellas y se secaron teniendo en cuenta el tiempo.

3.3.4. Apilado

Es indispensable realizar un buen apilamiento de la madera verde para permitir la circulación del aire y evitar defectos en la madera tales como grietas, rajaduras, torceduras, entre otros; obteniéndose así un correcto secado al natural. La madera se colocó sobre una base de pilones entre 40 a 45 cm del piso como mínimo, a fin de facilitar la circulación del aire y evitar el contacto directo con el suelo que favorecería la infestación de hongos e insectos. La altura de apilado no superó los 2 metros.

3.3.5. Apilado de las viguetas según los métodos a trabajar

La distribución de las tablas en cada método de apilado: triángulo y caballete, fue completamente al azar.

3.3.6. Estudio de las propiedades físicas de la madera

Para determinar el comportamiento del secado de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry, se empleó una estufa a temperatura de 103 ± 2.5 °C.

Esta actividad se desarrolló aplicando la norma ASTM D2017 – 71, que establece los siguientes pasos:

3.3.6.1. Preparación de probetas de madera

Los ensayos de laboratorio se realizaron usando partes adicionales de las trozas tanto de la albura y duramen, por niveles del fuste de los 5 árboles en estudio. Las probetas obtenidas fueron de los siguientes niveles:

- Nivel inferior del fuste.
- Nivel medio del fuste.
- Nivel superior del fuste.

3.3.6.2. Cálculo del contenido de humedad

Una vez obtenida las probetas, se pesaron para obtener el peso húmedo y luego se colocaron en una estufa a temperatura de 103 ± 2.5 °C, hasta obtener un peso constante, es decir, el peso seco al horno.

El contenido de humedad se determinó siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP – 251.010, mediante la siguiente fórmula:

$$CH (\%) = \left(\frac{PH - PSH}{PSH} \right) \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%).

PH = Peso húmedo de la muestra (g).

PSH = Peso seco al horno (g).

100 = Factor de conversión de porcentaje.

La determinación del contenido de humedad en equilibrio se realizó empleando las probetas que se sometieron al secado anhidro, las cuales se dejaron a la intemperie por 30 días hasta alcanzar el equilibrio de humedad.

3.3.6.3. Cálculo del peso seco de la muestra (PS)

Se procedió a calcular el peso seco (PS) de las muestras mediante la siguiente fórmula:

$$PS = \left(\frac{PH}{100 + CH} \right) \times 100$$

Donde:

PH = Peso húmedo de la muestra (g)

3.3.6.4. Determinación del cambio dimensional

Para determinar la contracción radial y tangencial de la madera, se procedió según los criterios basados a la Norma Técnica Peruana NTP 251.012 que consistió en medir las tablas o viguetas en sus dos extremos, obteniéndose el promedio para cada una de ellas, a fin de obtener un resultado más exacto; esta actividad se realizó en tablas con peso fresco inicial y el último día de evaluación, después de haber alcanzado el CHE.

3.3.7. Expresión de resultados

La contracción total de la madera (desde húmeda a seca al aire libre), se calculó con las fórmulas siguientes expresadas en porcentaje (%):

Cálculo de la contracción tangencial total (CTt)

$$CTt = \left(\frac{D_{th} - D_{tsh}}{D_{th}} \right) \times 100$$

Cálculo de la contracción radial total (CRt)

$$CRt = \left(\frac{D_{rh} - D_{rsh}}{D_{rh}} \right) \times 100$$

Donde:

D_{th}, D_{rh} = Dimensión tangencial, radial de la probeta húmeda.

D_{tsh}, D_{rsh} = Dimensión tangencial, radial de la probeta seca al natural.

3.3.8. Evaluación de secado

Desde la tumba del primer árbol se pesó en forma diaria las probetas y con los valores del peso seco se diseñó la curva de secado al natural hasta que llegue a peso constante.

3.3.9. Evaluación de defectos y deformaciones

Mediante inspección visual y con medición directa se evaluaron defectos de secado, básicamente grietas, rajaduras y deformaciones como: arqueadura, abarquillado, encorvadura y torcedura.

3.4. Interpretación de resultados

Según el procedimiento propuesto por ARÓSTEGUI (1974) y en base a la velocidad de secado, las maderas se clasificaron en tres grupos:

- Secado rápido, aquellas maderas que alcanzan un contenido de humedad de 20 % en 120 días.
- Secado moderado, si llegan al 20 % entre 121 – 240 días.
- Secado lento, cuando llegan al 20 % en más de 240 días.

En función a la presencia y magnitud de defectos y deformaciones, las maderas se clasificaron en tres grupos:

- Grupo A. Maderas que secan sin defectos ni deformaciones, se admite rajadura en los extremos, siempre que no pase 1 % de longitud de la pieza.
- Grupo B. Maderas que secan con ligeros defectos y deformaciones. Puede admitirse rajaduras de hasta 5 % de la longitud total en ambos extremos.

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

3.5. Análisis estadístico

Se consideró el análisis estadístico para determinar el contenido de humedad. Para el análisis de la humedad en los diferentes niveles del fuste de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry, se aplicó el Diseño Completo al Azar (DCA) con arreglo factorial de la forma 3A x 2B x 2C, donde el factor A estuvo constituido por los niveles del fuste, el factor B por partes de la madera (albura y duramen) y el factor C por tipos de corte.

Debido a que el registro de los datos para determinar el contenido de humedad se realizó en probetas de 10 cm x 10 cm x 10 cm, la unidad experimental fue 1 probeta con 5 repeticiones.

El análisis de varianza se realizó mediante el siguiente esquema:

Cuadro 5. Esquema del análisis de varianza para un DCA con arreglo factorial.

FV	GL	SC	CM	Fc
Combinación	$r - 1$	$(\sum Y_{i..}^2 / ab) - FC$	$SM_{comb} / r - 1$	CM_{comb} / CM_{error}
Factor A	$a - 1$	$(\sum Y_{.j.}^2 / rb) - FC$	$SC_A / a - 1$	CM_A / CM_{error}
Factor B	$b - 1$	$(\sum Y_{..k}^2 / ra) - FC$	$SC_B / b - 1$	CM_B / CM_{error}
Interacción	$(a-1)(b-1)$	$(\sum \sum Y_{ij.}^2 / r) - SC_A - SC_B - FC$	$SC_{AXB} / (a-1)(b-1)$	CM_{AXB} / CM_{error}
Error	$ab(r-1)$	Diferencia	$SC_{error} / ab(r-1)$	
Total	$abr - 1$	$\sum \sum \sum Y_{ij.}^2 - FC$		

$FC = (\sum \sum \sum Y_{ij.}^2) / abr$; r = número de repeticiones; a = niveles del factor A; b = niveles del factor B.

De acuerdo al diseño empleado, el modelo matemático que representa el efecto de los factores sobre la variable, estuvo constituido por la ecuación de la forma:

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + T_j + \alpha T_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta.

u = es la media general.

α_i = es el efecto del j-ésimo nivel del factor A.

T_j = es el efecto del k-esimo nivel del factor B.

αT_{ij} = es la interacción del j-esimo nivel del factor A con el k-esimo nivel del factor B.

ε_{ij} = es el error aleatorio NID $(0, \delta^2)$.

Para comparar el comportamiento de la pérdida de humedad en los diferentes niveles del fuste, se ha asumido los datos bajo la distribución de un Diseño Completo al Azar (DCA). Debido a que los registros de humedad se realizaron diariamente y el análisis de varianza a realizar generaría resultados innumerables, fue necesario realizarlos en periodos de cada 10 días hasta la culminación de la investigación.

Cuadro 6. Esquema de un Diseño Completo al Azar.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Tratamiento (niveles)	$(t - 1)$	$(\sum Y_i^2 / ab) - FC$	SC_{trat} / GL_t	CM_{trat} / CM_e	
Error	$t(r - 1)$	Diferencia	SC_e / GL_e		
Total	$tr - 1$	$\sum \sum Y_{ij}^2 - FC$			

t: tratamiento o niveles y r: repeticiones

3.5.1. Prueba estadística

Consistió en la Prueba de Duncan debido a que los árboles se encontraron en plantaciones asociadas y donde cada árbol ha sido influenciado durante su crecimiento por factores como tipo de suelo, pendiente, clima, viento y la genética.

IV. RESULTADOS

4.1. Secado al natural de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguiluz y Perry, empleando las técnicas de apilado en triángulo y apilado en caballete

4.1.1. Pérdida de humedad en muestras de madera extraídas de los tres niveles del fuste

Estadísticamente no se ha encontrado diferencias en la cantidad de humedad que perdieron las muestras de madera extraídas de los diferentes niveles del fuste (Cuadro 7). Numéricamente se registró mayor rapidez de pérdida de la humedad en las muestras de madera extraídas del nivel medio y apical del fuste, registrando la humedad en equilibrio a partir de 45 días de iniciado el periodo de secado (Figura 6).

Cuadro 7. Análisis de varianza de la pérdida de humedad en los tres niveles del fuste.

FV	GL	CM ₁₀	Sig. ₁₀	CM ₂₀	Sig. ₂₀	CM ₃₀	Sig. ₃₀	CM ₄₀	Sig. ₄₀	CM ₅₀	Sig. ₅₀
Trat.	2	71.52	0.50 ns	33.36	0.23 ns	60.67	0.29 ns	25.75	0.77 ns	0.31	0.77 ns
EE	12	98.52		20.28		43.46		94.16		1.16	
Total	14										

ns: no existe diferencias estadísticas (p >0.05).

Numéricamente, las muestras extraídas de la parte apical del fuste fueron las que perdieron mayor humedad durante los primeros 10 días de secado, tiempo a partir del cual hasta los 30 días, las muestras de la parte media del fuste experimentaron mayor pérdida de humedad; por otra parte, entre los 60 as 70 días, las muestras ganaron humedad, lo cual es repercusión del incremento de la humedad ambiental de la zona en estudio.

Cuadro 8. Prueba Duncan para la pérdida de humedad (%) en las probetas en periodos de cada 10 días.

Niveles	Prom. 10	Prom. 20	Prom. 30	Prom. 40	Prom. 50	Prom. 60	Prom. 70
Base	29.10 ^a	33.65 ^a	24.07 ^a	15.67 ^a	0.97 ^a	0.04 ^a	-0.30 ^a
Medio	34.85 ^a	38.73 ^a	30.32 ^a	17.81 ^a	0.49 ^a	0.08 ^a	-0.46 ^a
Ápice	36.23 ^a	35.36 ^a	29.87 ^a	20.21 ^a	0.63 ^a	0.07 ^a	-0.42 ^a

Letras diferentes demuestran significancia estadística ($p < 0.05$).

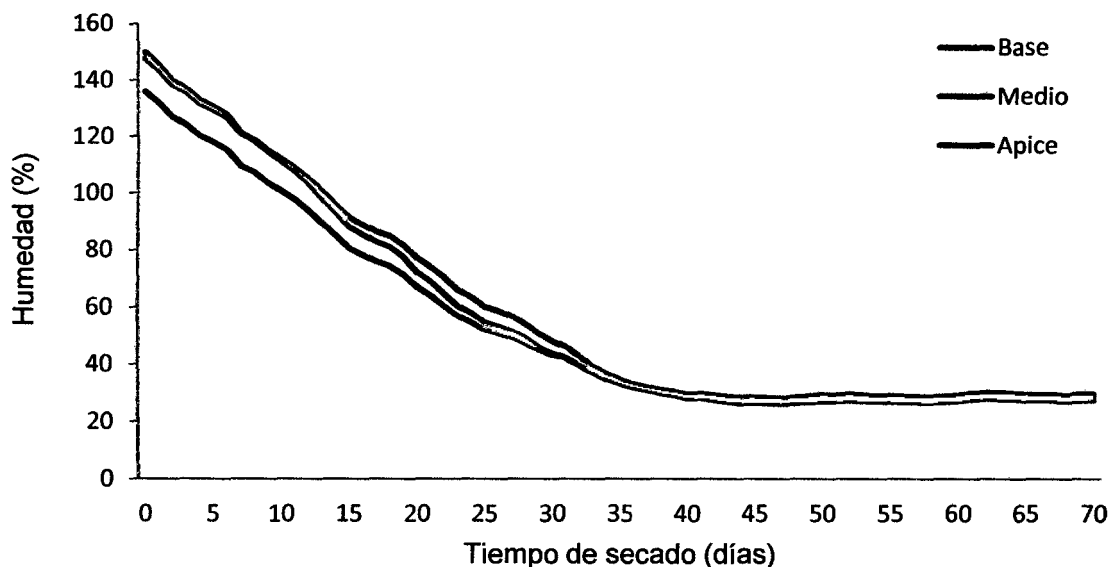


Figura 6. Pérdida de humedad en probetas de diferentes niveles del fuste.

4.1.2. Pérdida de humedad en muestras de madera con dos orientaciones de corte

Las probetas extraídas con la orientación de corte tangencial, registraron mayor rapidez en la pérdida de humedad, lo cual sucedió entre los días 35 al 40 de iniciado el secado; además la humedad en equilibrio se registró a 45 días del secado (Figura 7).

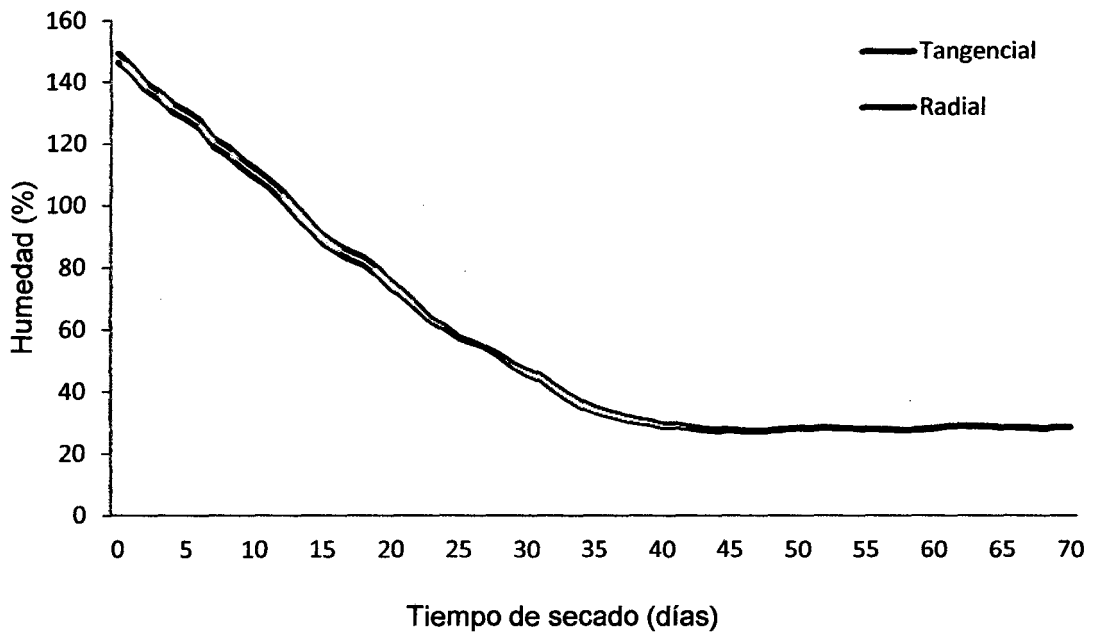


Figura 7. Pérdida de humedad en probetas con orientaciones de corte.

4.1.3. Pérdida de humedad en muestras de madera secadas bajo dos técnicas de apilado

La mayor rapidez en la pérdida de humedad, se registró en las muestras de madera colocadas bajo la técnica del apilado en caballete, valor porcentual que fue superior hasta los 40 días de iniciado el secado. A partir del

día 45 se registró humedad en equilibrio al ambiente, la cual ha repercutido de manera similar tanto en las probetas secadas bajo la técnica en caballete y el de triángulo (Figura 8).

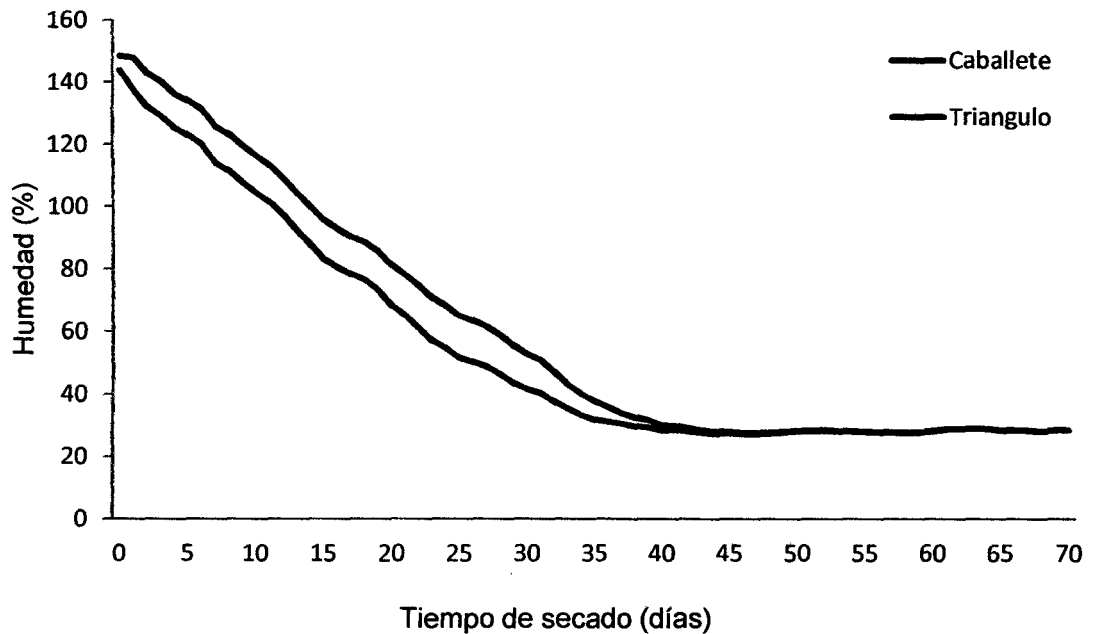


Figura 8. Pérdida de humedad en probetas secadas bajo técnicas de apilado.

4.2. Contracción en el corte tangencial y radial en tres niveles del fuste

La contracción tangencial en las muestras de madera presentó mayor valor porcentual en comparación a la contracción radial, registrándose relaciones de contracción similares en los diferentes niveles del fuste (Cuadro 8).

Las muestras de madera extraídas con corte tangencial presentaron menor contracción del tipo tangencial que las maderas extraídas con corte radial, variable que presentó similar comportamiento en la contracción radial (Figura 9).

Cuadro 9. Contracción y relación T/R en muestras de madera extraída de diferentes niveles del fuste y con dos tipos de corte.

Tipo de corte	Nivel de fuste	Contracción (%)		Relación T/R
		Tangencial	Radial	
Tangencial	Base	1.57	0.75	2.09
	Medio	1.47	0.77	1.90
	Ápice	1.42	0.77	1.83
	Promedio	1.49	0.77	1.94
Radial	Base	1.58	0.82	1.94
	Medio	1.70	0.83	2.04
	Ápice	1.59	0.79	2.00
	Promedio	1.62	0.81	1.99

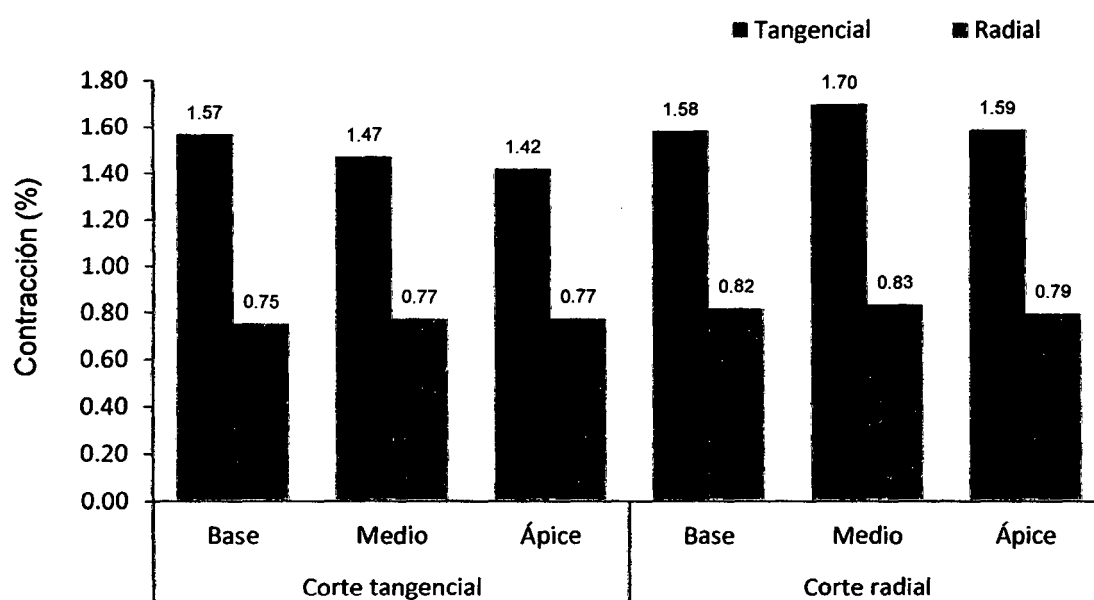


Figura 9. Contracción radial y tangencial en muestras de madera extraída de diferentes niveles del fuste y con dos tipos de corte.

La relación T/R en las muestras de madera extraídas del nivel basal del fuste registró mayor valor en comparación a los valores del nivel medio y apical, observándose un claro descenso del valor de la variable desde la base hasta el ápice (Figura 10).

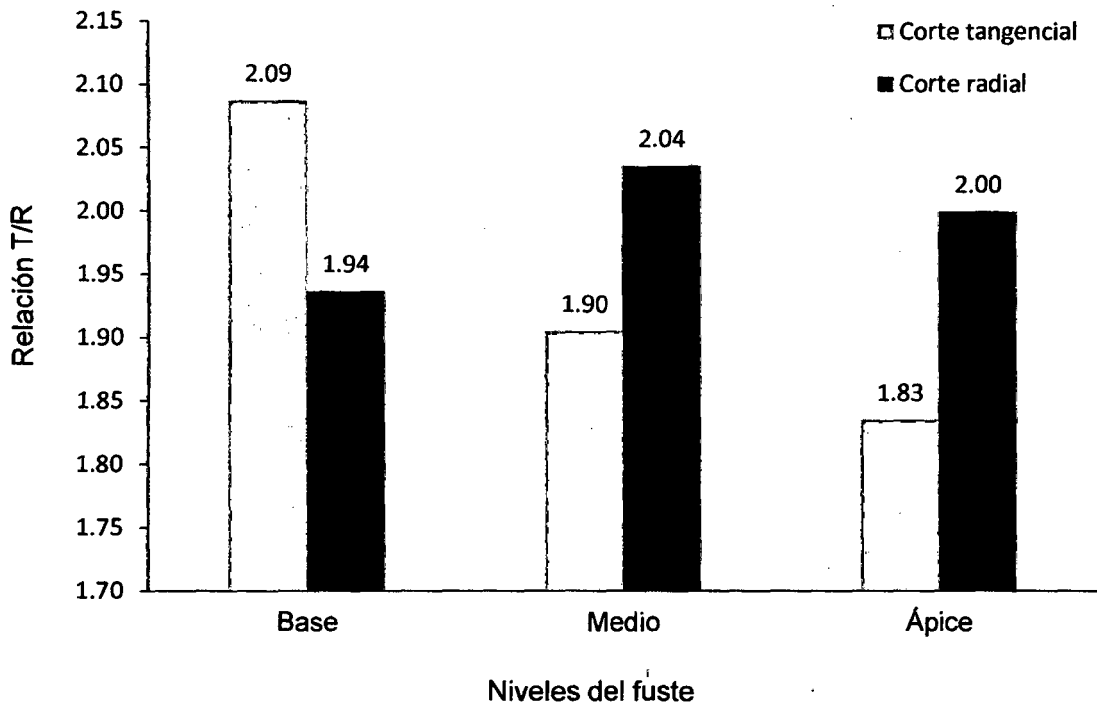


Figura 10. Relación T/R en muestras de madera extraída de diferentes niveles del fuste y con dos tipos de corte.

4.3. Contenido de humedad de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry

La parte basal del fuste presentó menor contenido de humedad, seguido de la parte apical y del nivel medio; además en los diferentes niveles del fuste, las muestras extraídas de la parte de la albura presentaron mayor contenido de humedad en comparación a las muestras extraídas de la madera proveniente del duramen (Cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido de humedad en muestras de madera de *P. tecunumanii*.

Niveles del fuste	Partes de la madera	Humedad (%)	Humedad en equilibrio (%)
Base	Duramen	126.24	25.91
	Albura	145.90	29.16
Medio	Duramen	143.30	26.93
	Albura	171.68	32.55
Ápice	Duramen	144.79	27.75
	Albura	162.52	29.51

El análisis de varianza realizado para el factor niveles del fuste no presentó diferencias estadísticas, al igual que el factor partes de la madera (albura y duramen); así también, no se encontraron diferencias estadísticas en la prueba de interacción, con lo cual se acepta la hipótesis alternante de que no existe interacción entre los factores.

Cuadro 11. ANVA para el contenido de humedad en *P. tecunumanii*.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Combinaciones	5	6374.91	1274.98	1.477	0.234 ^{ns}
Niveles del fuste	2	2609.42	1304.71	1.511	0.241 ^{ns}
Partes de la madera	1	3604.52	3604.52	4.174	0.052 ^{ns}
Niveles * Madera	2	160.97	80.49	0.093	0.911 ^{ns}
Error	24	20723.99	863.50		
Total	29	27098.90			

CV (%): 20.51 %. ns: No presenta diferencias estadísticas.

Se encontró diferencias numéricas en el contenido de humedad en base seca de las probetas extraídas de los diferentes niveles del fuste, registrando mayor contenido de humedad en el nivel medio, seguido de la parte apical y en menor proporción la parte basal (Cuadro 12 y Figura 11).

Cuadro 12. Prueba Duncan del contenido de humedad (%) en los tres niveles del fuste.

Mérito	Niveles	Promedio (%)	Significancia
1	Medio	157.49	a
2	Ápice	153.65	a
3	Base	136.07	a

Letras diferentes muestran significancia estadística ($p < 0.05$).

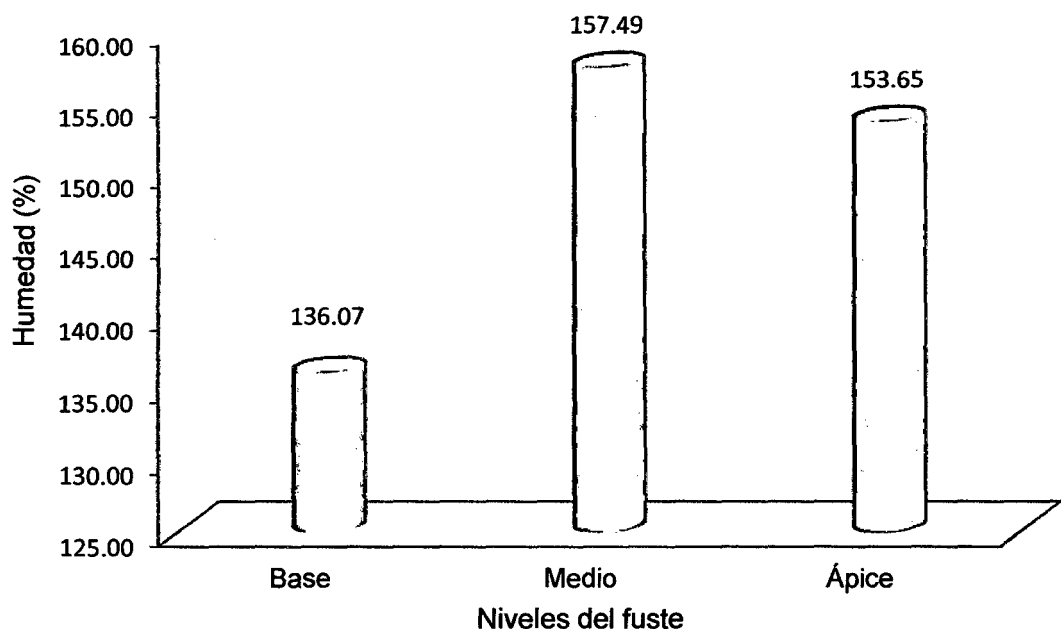


Figura 11. Contenido de humedad en los niveles del fuste.

Referente al factor partes de la madera, se ha encontrado diferencias numéricas entre el contenido de humedad de la albura y duramen, siendo menor la humedad en el duramen (Cuadro 13 y Figura 12).

Cuadro 13. Prueba Duncan del contenido de humedad (%) en la albura y duramen de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz.

Mérito	Niveles	Promedio (%)	Significancia
1	Albura	160.03	a
3	Duramen	138.11	a

Letras diferentes muestran significancia estadística ($p < 0.05$).

No se ha encontrado interacción estadística entre los factores considerados para el análisis de la variable contenido de humedad en madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz; la humedad de la madera del duramen alcanzó menores valores respecto a la madera de albura, resultados registrados en los tres niveles del fuste (Figura 13).

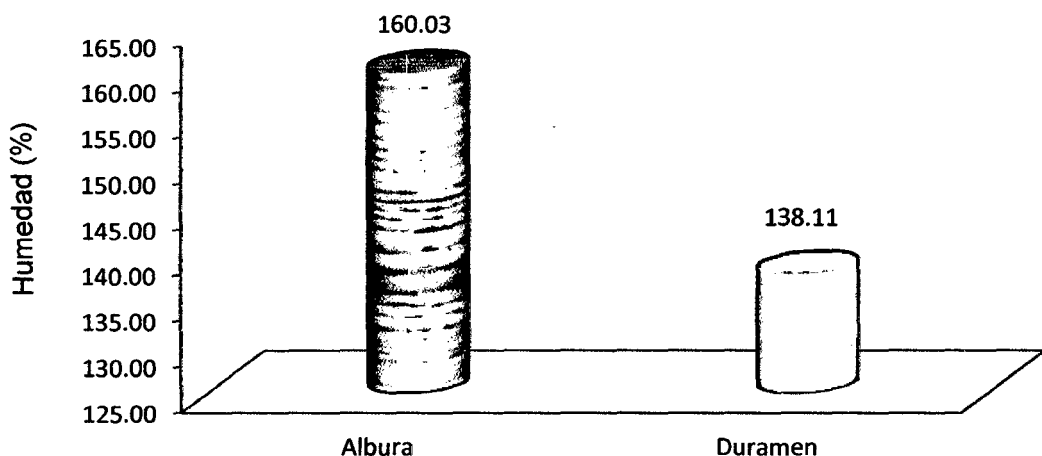


Figura 12. Contenido de humedad en las partes de la madera.

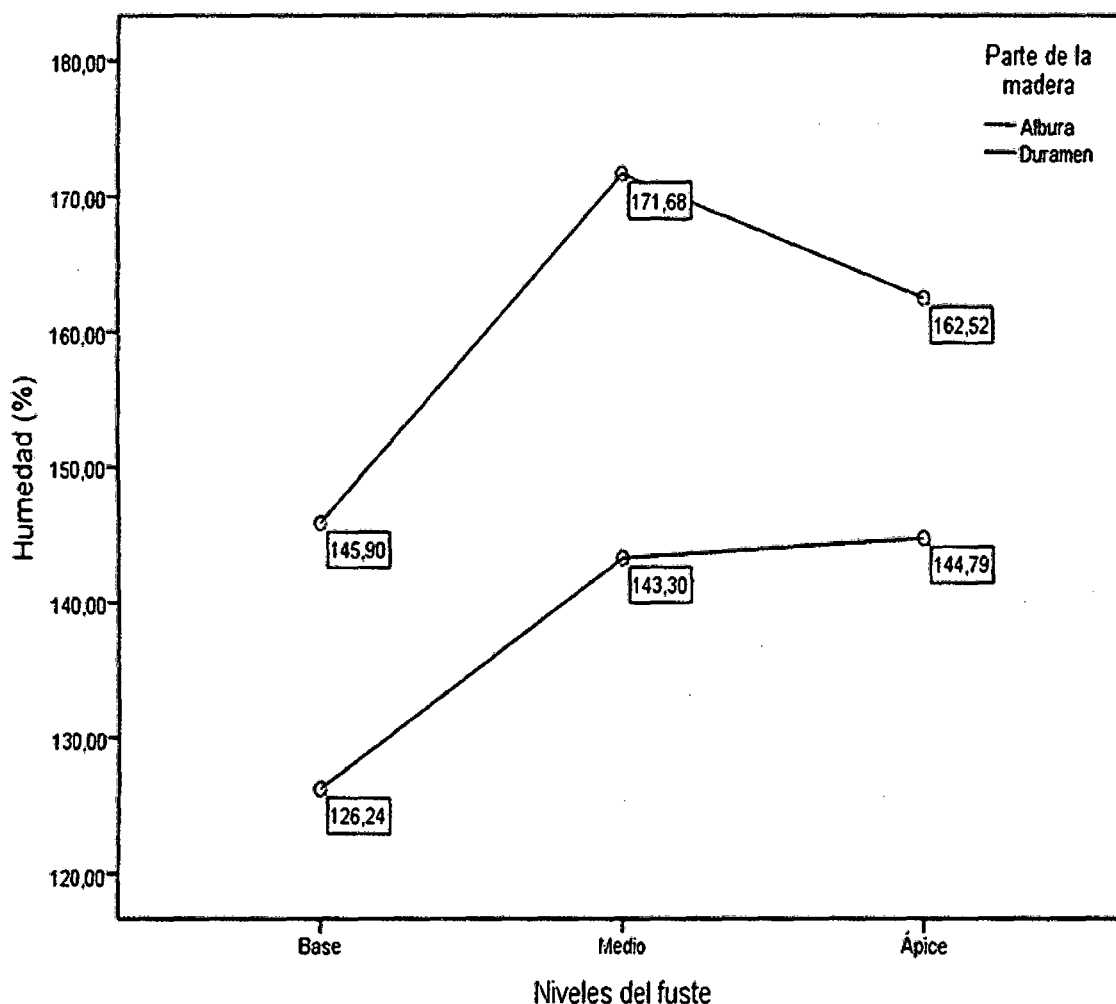


Figura 13. Interacción entre los niveles del fuste y las partes de la madera.

4.4. Defectos y deformaciones registradas en maderas de *Pinus tecunumanii* Eguliz y Perry secadas al natural

4.4.1. Defectos y deformaciones registradas durante el secado al natural en muestras de madera con dos tipos de corte

En las muestras de madera con corte radial o tangencial, se encontraron datos variables de muestras sin defectos ni deformaciones y para un mayor análisis, las alteraciones se han expresado en porcentajes del total.

Cuadro 14. Defectos y deformaciones registradas en los dos tipos de corte.

Corte	Grupo	Arqueadura	Abarquillado	Encorvadura	Torcedura	Grieta	Rajadura
Radial	A	20	32	16	28	24	31
	B	11	1	17	5	8	2
	C	2	0	0	0	1	0
Tangencial	A	26	51	32	38	52	59
	B	31	9	24	20	8	1
	C	3	0	4	2	0	0

Grupo A: Maderas que secan sin defectos ni deformaciones.

Grupo B: Maderas que secan con ligeros defectos y deformaciones.

Grupo C: Presentando deformaciones de 1 – 3 % y rajaduras hasta 10 % en cada uno de sus extremos.

Se registró mayor cantidad de muestras de madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry con orientación de corte tangencial que presentaron arqueaduras, las cuales fueron adquiridas durante el proceso de secado al natural (Figura 14).

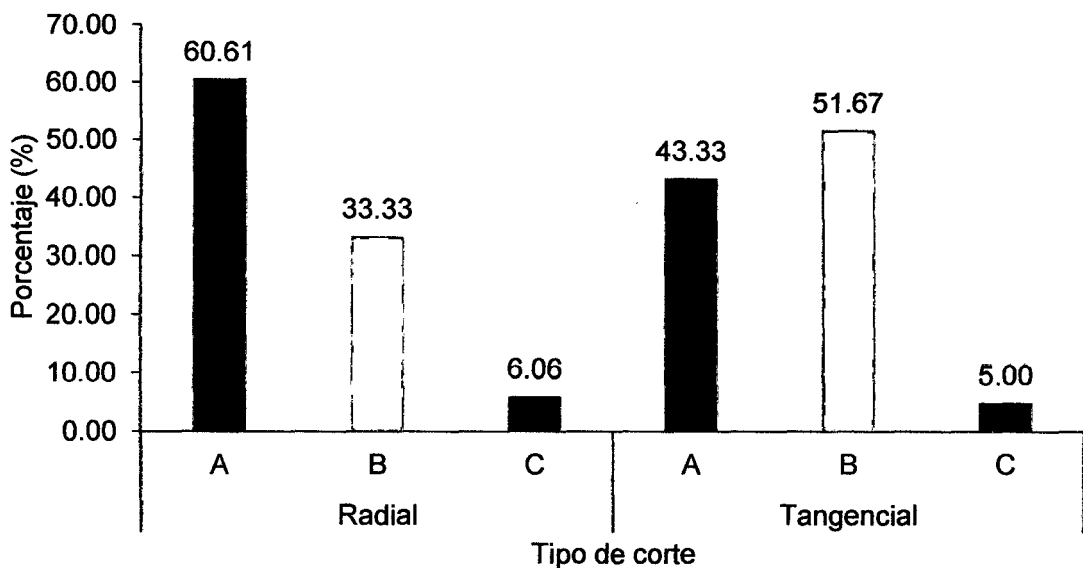


Figura 14. Arqueadura durante el secado a causa del tipo de corte.

Se tuvo mayor cantidad de muestras de madera del tipo corte tangencial con abarquillado, adquiridas durante el proceso de secado al natural.

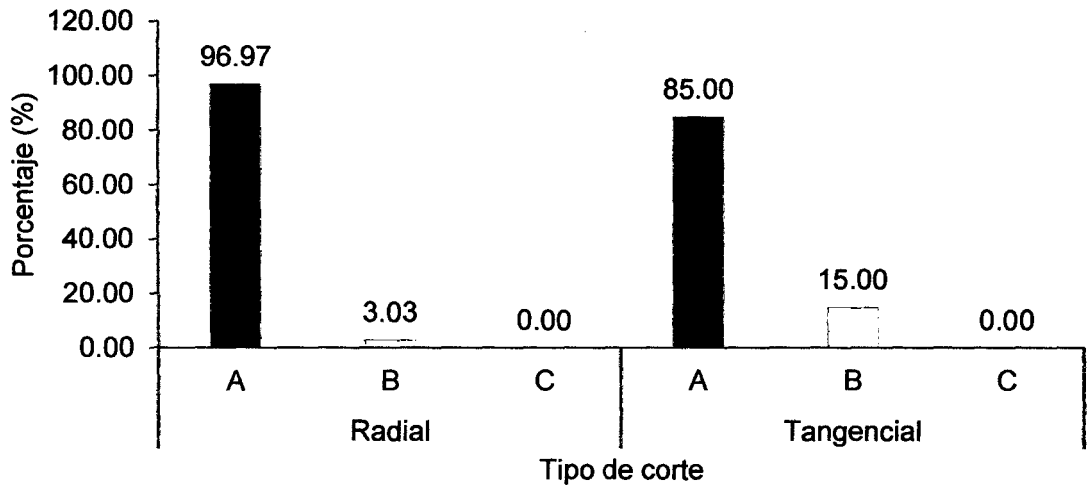


Figura 15. Abarquillado durante el secado a causa del tipo de corte.

Se registró mayor valor porcentual de muestras de madera con tipo de corte radial respecto a la encorvadura, adquirida durante el proceso de secado al natural (Figura 16).

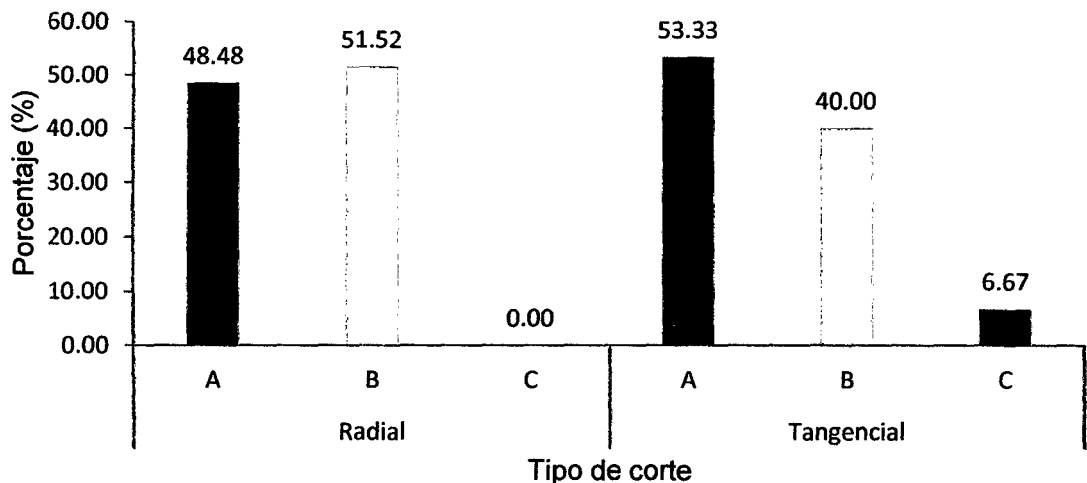


Figura 16. Encorvadura durante el secado en madera a causa del tipo de corte.

Se generó mayor valor porcentual de muestras de madera con tipo de corte tangencial respecto a la torcedura, adquirida durante el proceso de secado al natural (Figura 17).

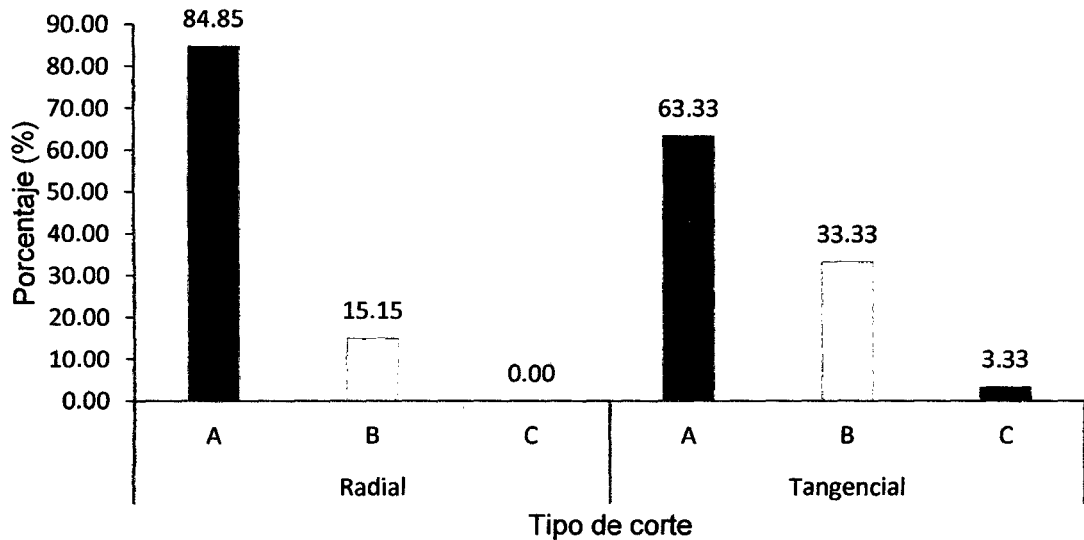


Figura 17. Torcedura durante el secado en madera a causa del tipo de corte.

Hubo mayor porcentaje de muestras de madera con tipo de corte radial respecto a la grieta adquirida durante el proceso de secado (Figura 18).

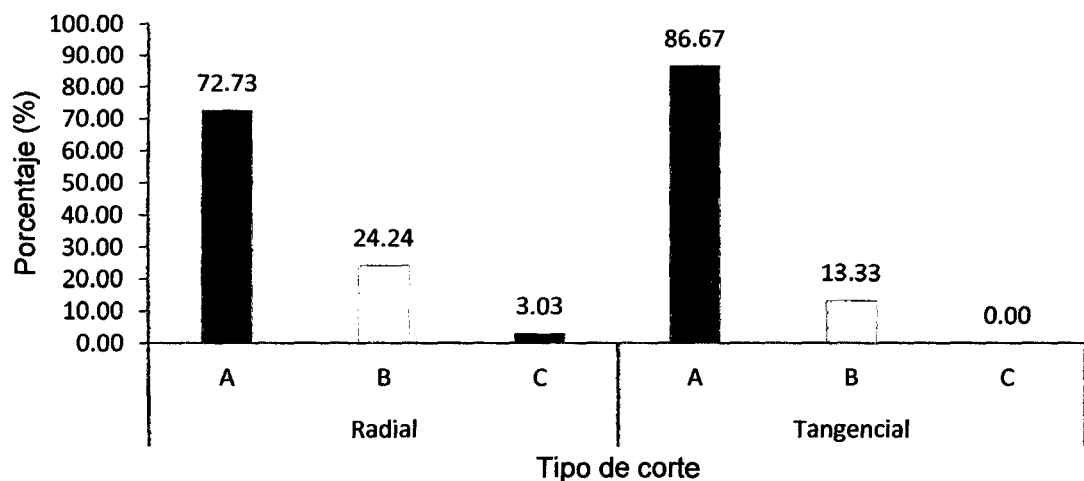


Figura 18. Grieta durante el secado en madera a causa del tipo de corte.

Se tuvo mayor valor porcentual de muestras de madera con tipo de corte radial respecto a la rajadura, adquirida durante el proceso de secado al natural (Figura 19).

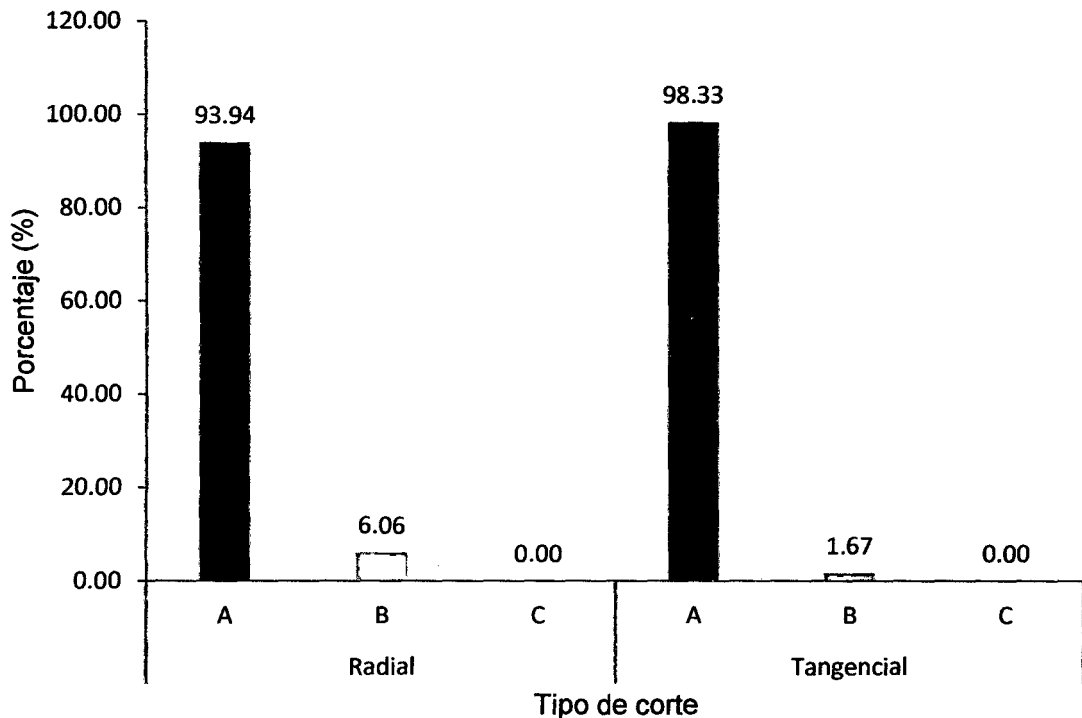


Figura 19. Rajadura durante el secado en muestras de madera a causa del tipo de corte.

4.4.2. Defectos y deformaciones durante el secado en muestras de madera extraída de los diferentes niveles del fuste

De los diferentes niveles del fuste, se encontró mayor cantidad de muestras de madera sin defectos ni deformaciones durante el proceso de secado, seguido de las maderas que secan con ligeros defectos y deformaciones, y en menor cantidad las muestras de madera con defectos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Defectos y deformaciones en muestras de madera extraídas de tres niveles del fuste.

Nivel	Código	Arqueadura	Abarquillado	Encorvadura	Torcedura	Grieta	Rajadura
Base	A	16	32	19	25	31	33
	B	18	3	15	9	4	2
	C	1	0	1	1	0	0
Medio	A	13	29	16	22	27	33
	B	18	4	15	11	6	0
	C	2	0	2	0	0	0
Ápice	A	17	22	13	19	18	24
	B	6	3	11	5	6	1
	C	2	0	1	1	1	0

Grupo A: Maderas que secan sin defectos ni deformaciones.

Grupo B: Maderas que secan con ligeros defectos y deformaciones.

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

Se observa la presencia de mayor valor porcentual de muestras de madera extraídas de la parte apical del fuste que no presentan defectos de arqueadura durante el proceso de secado al natural; de las cuales la mayor cantidad corresponde a muestras extraídas de la parte media y basal del fuste (Figura 20).

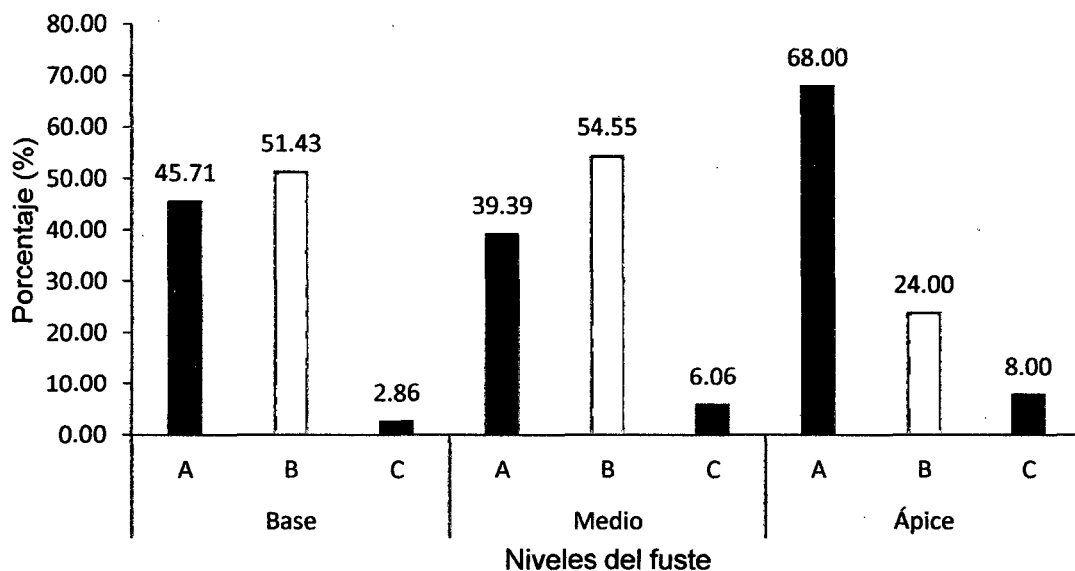


Figura 20. Arqueadura en el secado de madera extraída de niveles del fuste.

Hubo mayor número en muestras de madera extraídas de la parte basal del fuste que no presentaron defectos de abarquillado durante el proceso de secado al natural, encontrándose mayores valores de madera abarquillada en las muestras extraídas de la parte media y apical del fuste.

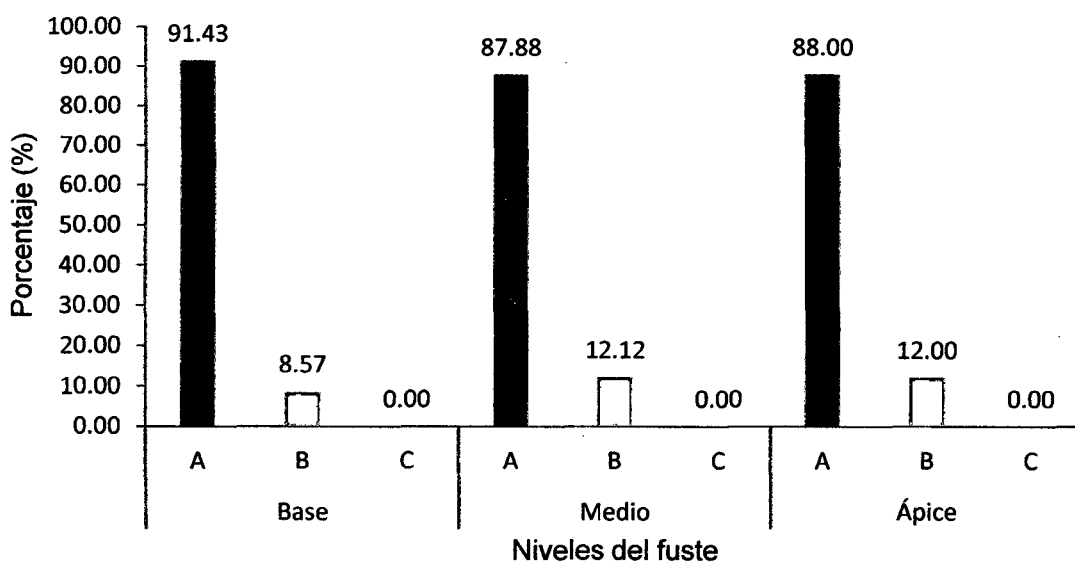


Figura 21. Abarquillado en el secado de madera extraída de niveles del fuste.

Se encontró mayor valor porcentual de muestras de madera extraídas de la parte basal del fuste que no presentan el defecto de encorvadura adquirido durante el proceso de secado al natural; observándose mayor cantidad de madera encorvada en las muestras extraídas de la parte media y apical del fuste (Figura 22).

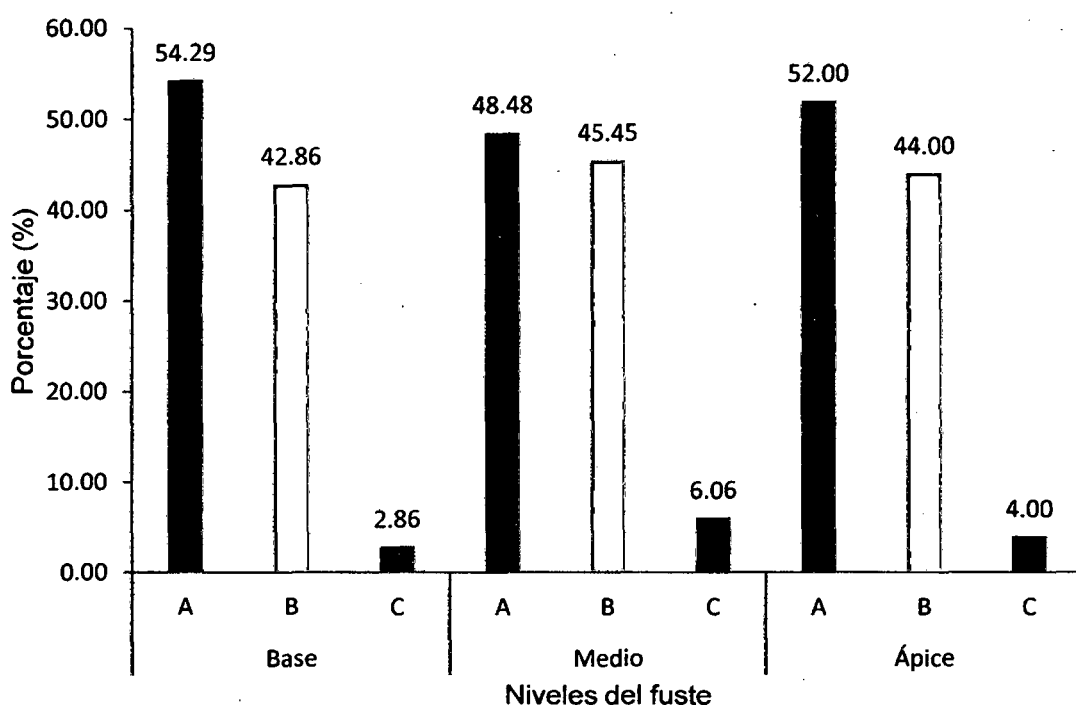


Figura 22. Encorvadura durante el secado en muestras de madera extraída de tres niveles del fuste.

Se observa que la mayor cantidad de muestras de madera extraídas de la parte apical del fuste no presentan defectos de torcedura durante el proceso de secado al natural, sin embargo, la mayor proporción de madera con este defecto se presenta en las muestras obtenidas de la parte media y basal del fuste (Figura 23).

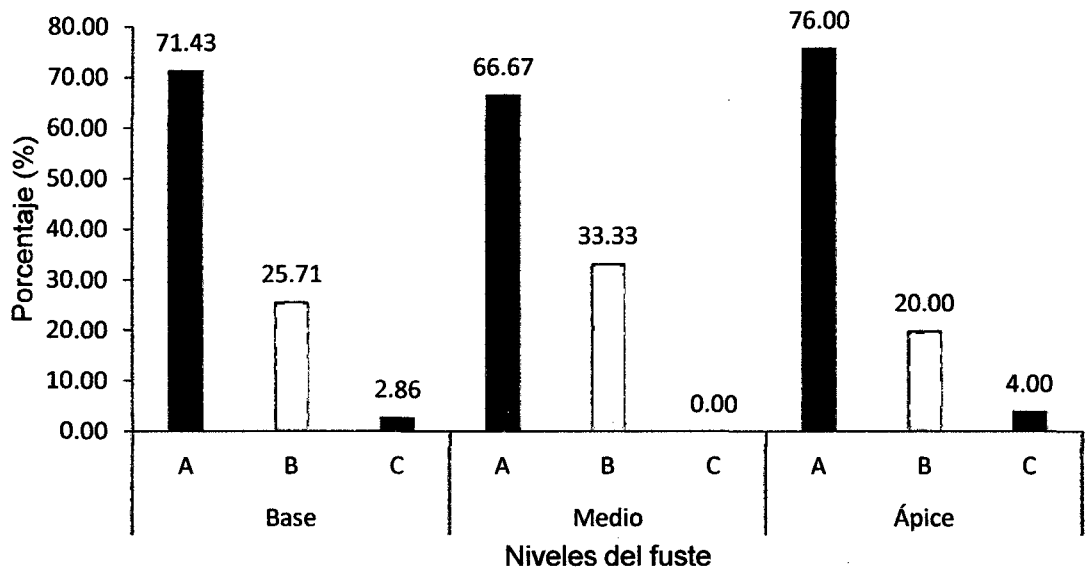


Figura 23. Torcedura en el secado de madera extraída de tres niveles del fuste.

El mayor porcentaje de muestras de madera extraídas de la parte basal del fuste no presentó defectos de grietas durante el proceso de secado al natural, siendo las muestras extraídas de la parte media y apical las que alcanzaron mayor cantidad de madera agrietada.

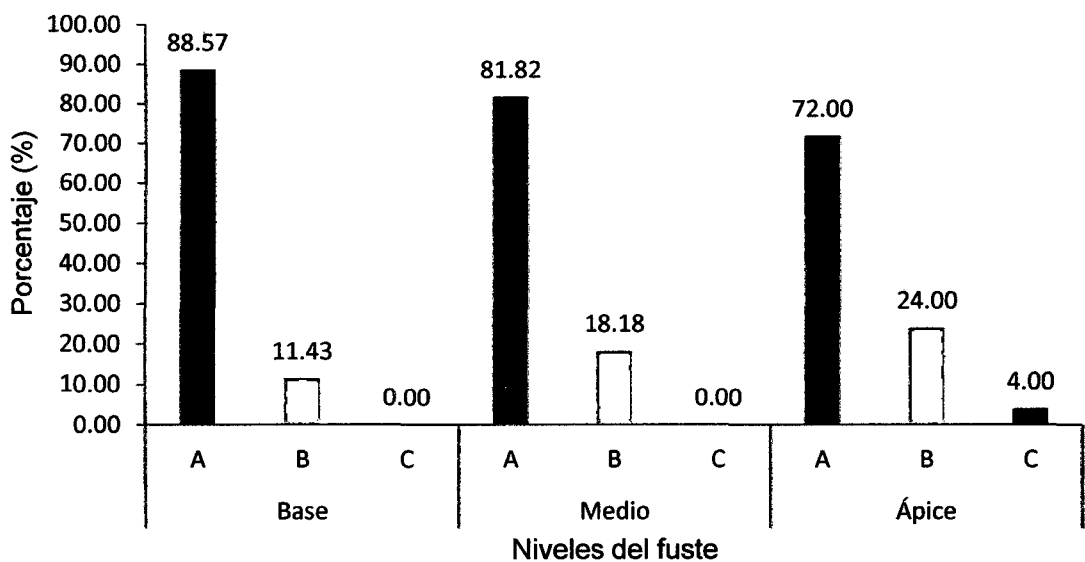


Figura 24. Grieta en el secado de madera extraída de tres niveles del fuste.

Se observa que la mayor proporción de muestras de madera extraídas de la parte media del fuste que no presentan defectos de rajadura durante el proceso de secado al natural, encontrándose mayores valores de madera con rajadura en las muestras obtenidas de la parte basal y apical del fuste (Figura 25).

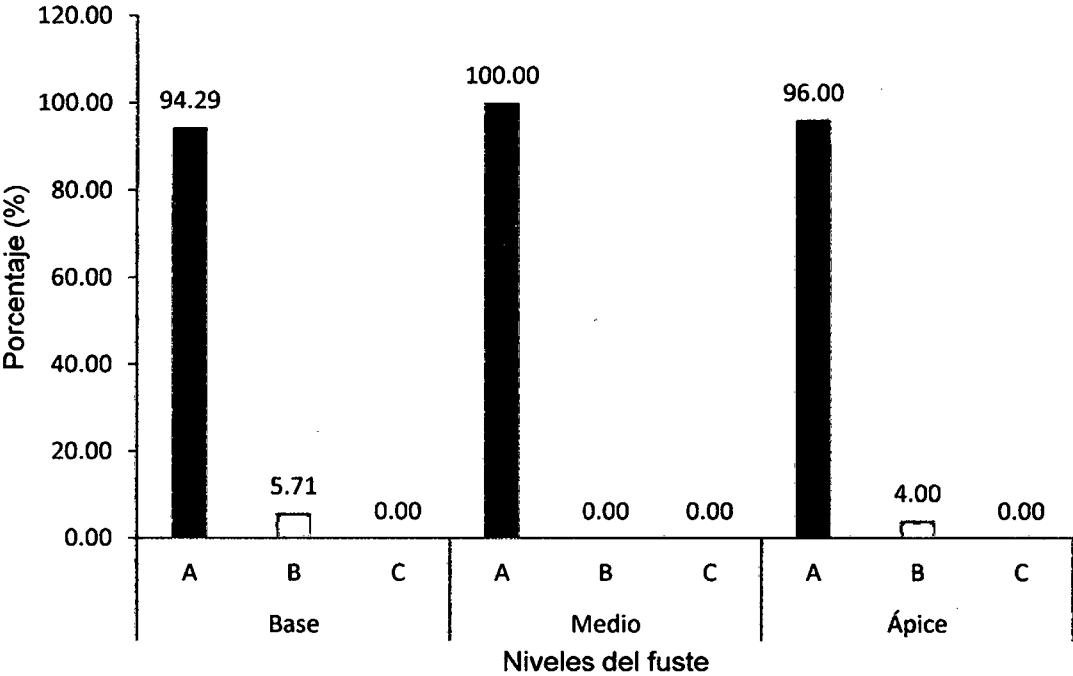


Figura 25. Rajadura durante el secado en muestras de madera extraída de tres niveles del fuste.

4.4.3. Defectos y deformaciones durante el secado en muestras de madera secadas bajo dos técnicas de apilado

Los defectos y deformaciones en las muestras de madera secadas bajo las técnicas de apilado en caballete y en triángulo, fueron muy variables (Cuadro 16).

Cuadro 16. Defectos y deformaciones en muestras de madera secadas bajo dos técnicas de apilado.

Técnica	Grupo	Arqueadura	Abarquillado	Encorvadura	Torcedura	Grieta	Rajadura
Caballete	A	31	52	31	40	44	56
	B	24	5	24	15	13	1
	C	2	0	2	2	0	0
Triángulo	A	15	31	17	26	32	34
	B	18	5	17	10	3	2
	C	3	0	2	0	1	0

Grupo A: Maderas que secan sin defectos ni deformaciones.

Grupo B: Maderas que secan con ligeros defectos y deformaciones.

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

La mayor cantidad de muestras de madera secadas con la técnica de apilado en caballete no presentan defectos de arqueadura durante el proceso de secado al natural; sin embargo, se encontró mayor proporción de madera arqueada en el secado con la técnica de apilado en triángulo (Figura 26).

Se observa que la mayor cantidad de muestras de madera secada con la técnica de apilado en caballete no presentan defectos de abarquillado durante el proceso de secado al natural; contrariamente, se obtuvo mayor proporción de madera abarquillada en el apilado en triángulo (Figura 27).

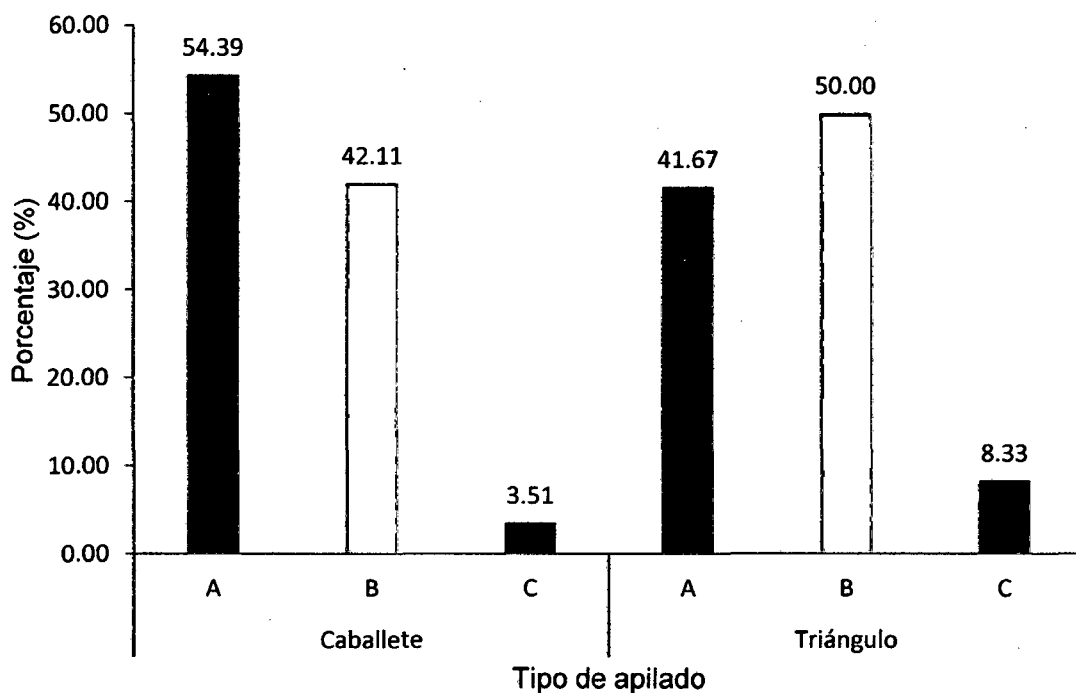


Figura 26. Arqueadura durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.

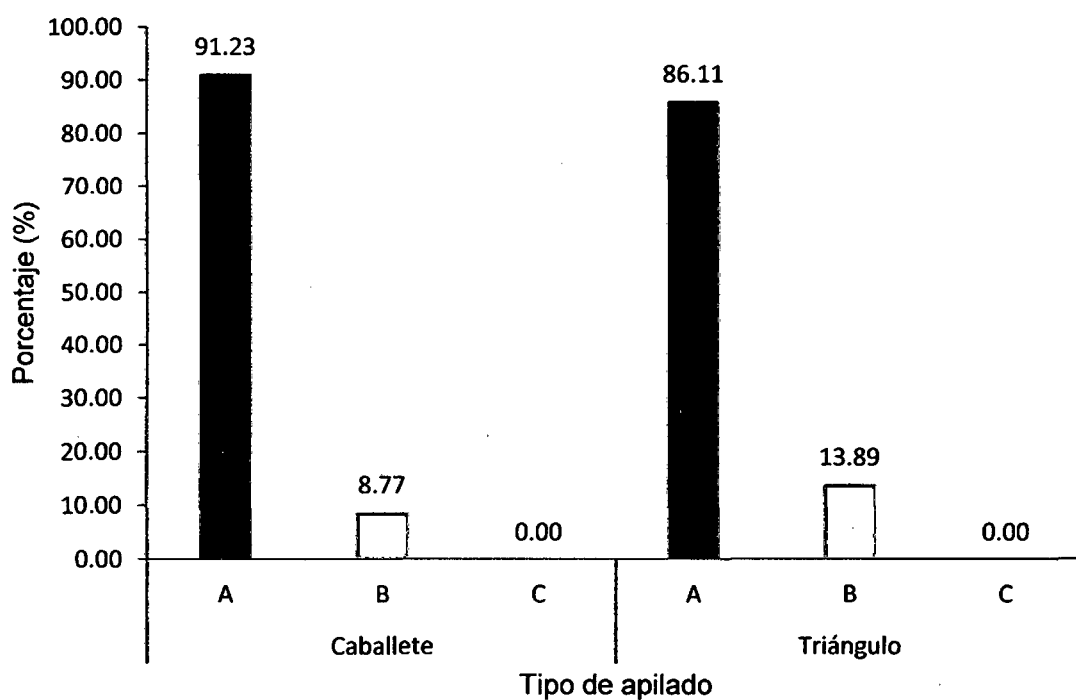


Figura 27. Abarquillado durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.

El mayor porcentaje de muestras de madera secada con la técnica de apilado en caballete, no presentan defectos de encorvadura durante el proceso de secado al natural; sin embargo, la mayor cantidad de madera encorvada se registró en el secado con la técnica de apilado en triángulo (Figura 28).

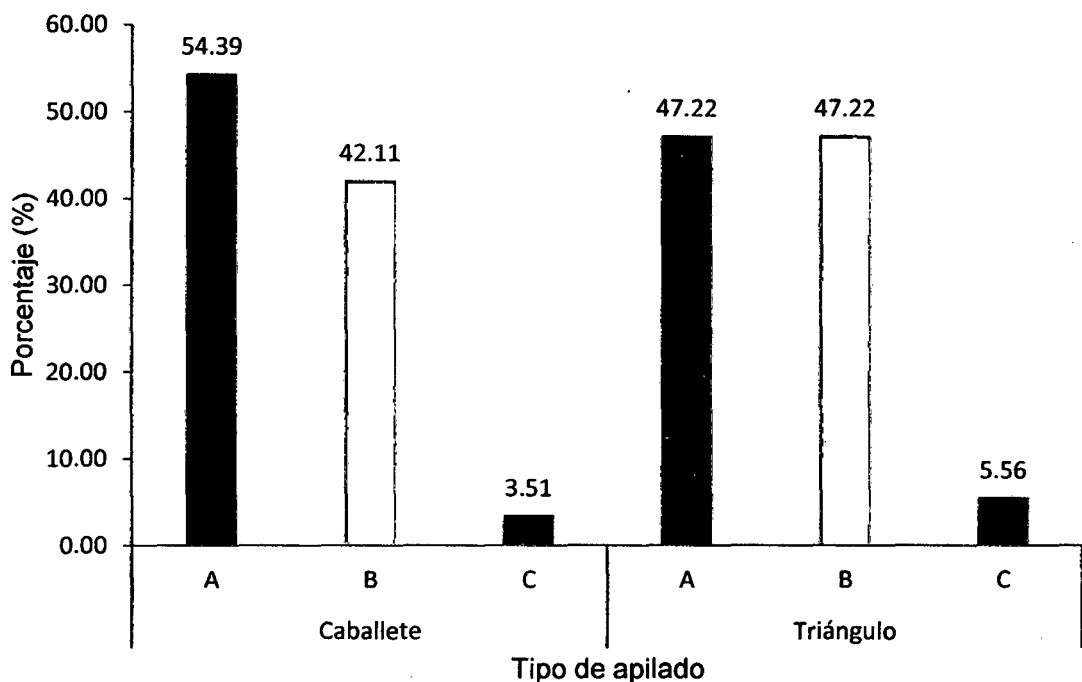


Figura 28. Encorvadura durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.

Se observa que la mayor proporción de muestras de madera secadas con la técnica de apilado en triángulo, no presentan defectos de torcedura durante el proceso de secado al natural; contrariamente, la mayor cantidad de madera con este defecto encontró en el secado con le técnica de apilado en caballote (Figura 29).

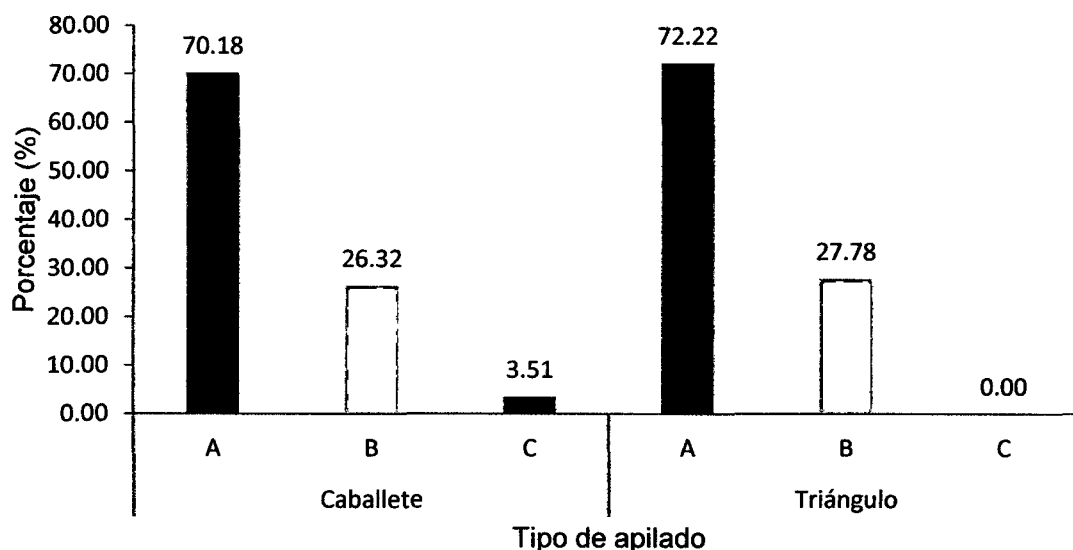


Figura 29. Torcedura en el secado de madera bajo dos técnicas de apilado.

La mayor cantidad de muestras de madera secadas con la técnica de apilado en triángulo, no presentan defectos de grietas durante el proceso de secado al natural; tendencia contraria se observa en las muestras de madera secadas con la técnica de apilado en caballete, donde se encontró mayor porcentaje de madera agrietada (Figura 30).

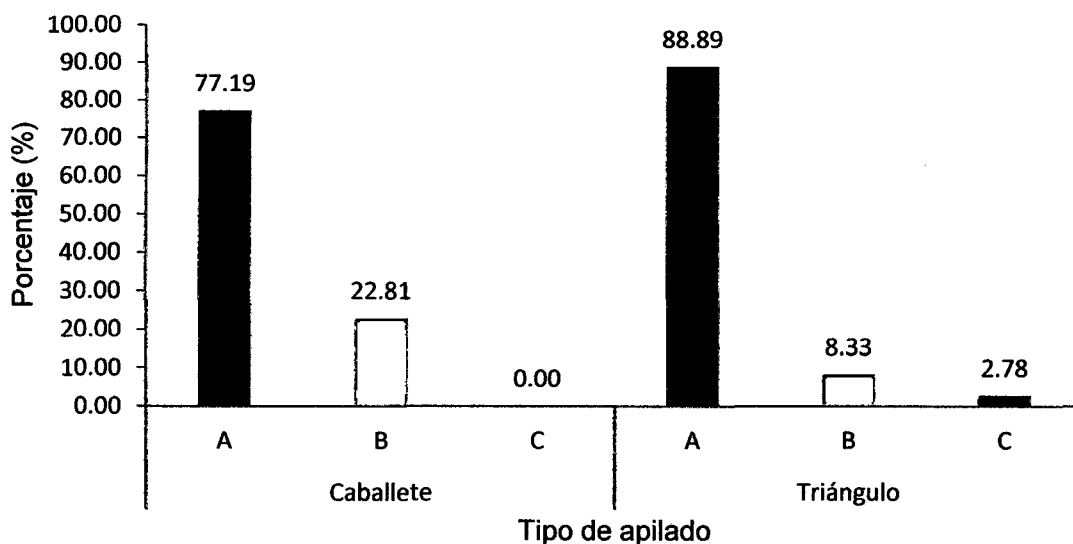


Figura 30. Grieta en el secado de madera bajo dos técnicas de apilado.

Se observa que la mayor proporción de muestras de madera secadas con la técnica de apilado en caballete, no presentan defectos de rajadura durante el proceso de secado al natural; sin embargo, se registra que el mayor porcentaje de madera con este defecto corresponde a la madera secada con la técnica de apilado en triángulo (Figura 31).

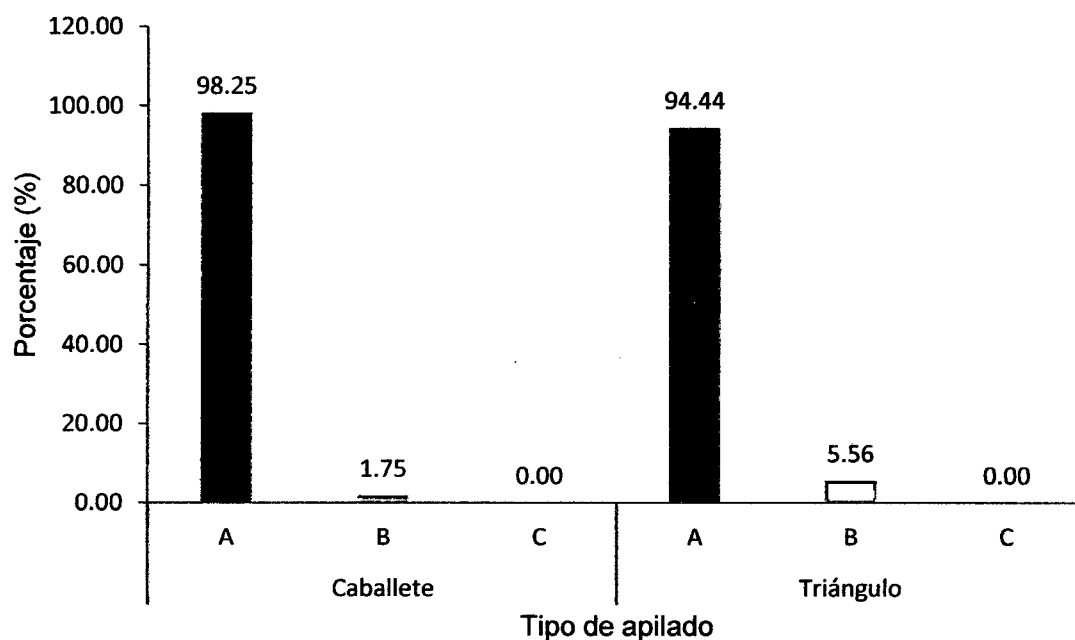


Figura 31. Rajadura durante el secado de muestras de madera bajo dos técnicas de apilado.

V. DISCUSIÓN

5.1. Secado al natural bajo las técnicas de apilado

Una de las razones por la que hubo mayor rapidez en la pérdida de humedad de las probetas secadas con la técnica de apilado en caballete, probablemente haya sido la posición de la madera y que por la fuerza de gravedad el agua se haya perdido por difusión, tal como lo corrobora POMACHAGUA (1993); otra razón es que cada método de apilado posee características propias de circulación del aire a través de las pilas y en consecuencia diferencias en la migración del agua en la madera (VALDERRAMA, 1992).

La pérdida de humedad en el apilado tipo caballete se vio favorecida debido a que el aire en contacto con la madera estuvo en movimiento para transportar tanto el calor como la humedad extraída, según lo refiere INTA (2001); después de los 45 días, esta actividad se mantuvo con pequeñas variaciones respecto al equilibrio con la humedad ambiental. VALDERRAMA (1992) menciona que en el método de secado al aire libre, el apilado horizontal con cubierta utiliza mayor tiempo en relación al apilado en caballete, esto debido que cuando la madera es apilada en caballete la migración del agua retenida es más acelerada, ocasionado por la gravedad y por efecto de la temperatura y humedad relativa circundante del medio; en este caso existe mayor pérdida de humedad por los extremos de cada tabla.

A partir de los 45 días de colocadas las probetas para el secado, la humedad se mantuvo casi constante, registrando variaciones en base a la humedad ambiental del momento por la presencia o ausencia de precipitación en la zona de estudio; al respecto, VALDERRAMA (1992) y MORALES (2004) afirman que el contenido de humedad final está íntimamente relacionado con los valores climáticos del medio (temperatura, humedad relativa y precipitación).

Para ANANÍAS (2002), las curvas de secado representan la variación de la humedad de la madera con el tiempo de secado o la velocidad de evaporación con el tiempo de secado. En ambos casos, se observan dos etapas características del proceso de secado: la fase de velocidad de secado constante que generalmente se registró durante los 40 días iniciales, y la fase de velocidad de secado decreciente, posterior a los 40 días.

Se encontró mayor rapidez en la pérdida de humedad en las probetas extraídas de la parte media y apical del fuste, esto debido al tipo de células que presenta la madera; sobre el tema, SOLANO (1998) menciona que, considerando que las células son alargadas y en su mayoría dispuestas en el sentido paralelo al eje del árbol, comunicadas entre sí por punteaduras y perforaciones, se deduce que el movimiento del agua dentro de la madera y de allí a la superficie se efectúa con mayor facilidad en dirección longitudinal.

Uno de los aspectos que influye sobre la pérdida de humedad ha sido la densidad de la madera, OMONTE y VALENZUELA (2011) mencionan al respecto, que existe variación radial y longitudinal de la densidad básica de la madera a lo largo del fuste de *Eucalyptus regnans*, aspecto que pudo haber

influenciado sobre la mayor rapidez en la pérdida de humedad de las probetas extraídas de la parte apical del fuste.

En otras especies se registró menores tiempos de secado, esto debido a las características anatómicas de cada especie y a las condiciones climáticas donde se desarrolló la investigación; al respecto, ALVAREZ (2009) registró en la especie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D Don, mayor rapidez de secado natural en el corte tangencial (similar a la investigación) en los primeros 20 días, mientras que en el pino se registró a los 45 días, además hubo mayor rapidez de secado en probetas extraídas de la parte apical.

5.2. Contracción de la madera

Fernández (s.d.), citado por RAYMUNDO (2011) menciona que el pino insigne presenta contracción tangencial de 7.0 % y radial de 4.2 %, mientras que en pino oregón los valores fueron 9.2 % y 5.7 %, respectivamente; asimismo, GONZALES (1970) menciona que la contracción tangencial en pino tecunumani es de 6.35 %, mientras que la radial es de 3.16 %, valores no registrados en la presente investigación, dado que los valores obtenidos fueron 1.55 % para el corte tangencial y 0.79 % para la radial (ambos registrados en la madera con contenido de humedad en equilibrio).

La madera cambia sus dimensiones a partir del punto de saturación de las fibras, contrayéndose hasta perder todo el agua higroscópica; cuando la madera verde se seca, aparece una nueva serie de fenómenos hasta llegar al punto comercial del valor de la humedad (SALAS, 2005).

Se encontró que la contracción tangencial es mayor que la radial, lo cual es corroborado por SOLANO (1998) al mencionar que considerando los tres diferentes planos determinados por el eje del árbol, los radios leñosos y los anillos de crecimiento, se ha establecido que la madera en el sentido longitudinal se seca en promedio tres veces más rápido que en el sentido radial y dos veces más que en el sentido tangencial; esta rapidez de secado ha influido en la contracción respectiva.

Asimismo, GONZALES (1996) indica que la contracción tangencial (Ctg) es paralela a los anillos de crecimiento y puede ser dos veces mayor que la contracción radial (Cr), que es perpendicular a los radios. Las maderas más pesadas se contraen en sentido tangencial, mientras que las livianas lo hacen en sentido radial.

Según la clasificación de VIZCARRA (1998), la relación T/R obtenida en muestras de pino corresponden a madera estable (1.51 a 2.0) y moderadamente estable (2.0 a 2.5). Para Kollmann (1959), citado por ALVAREZ (2009) la relación es un índice de estabilidad de la madera, cuando la relación (T/R) se acerca a uno, la madera es más estable y tiene buen comportamiento al secado; al respecto, VIGNOTE (2000) indica que maderas con relación entre coeficientes $R_{tr} > 2$ presentan elevada tendencia a deformarse, lo cual constituye un problema para su uso en carpintería, alcanzando menor valor en *P. tecunumanii* Eguluz y Perry.

5.3. Contenido de humedad

No se han encontrado diferencias estadísticas del contenido de humedad entre los niveles del fuste, sin embargo, existen diferencias

numéricas (mayor humedad en la parte media del fuste); frente a esto se ha registrado comportamientos similares del periodo de tiempo de secado. Al respecto, para la JUNAC (1984) el contenido de humedad es la propiedad que más influye sobre todas las demás propiedades. Es conocido que la madera recién aserrada contiene cantidades variables de agua, que dependen de la época de corta y la región de procedencia.

La variación de los valores de contenido de humedad depende de las especies; al respecto, GALLO (2009) registró en la capirona que el contenido de humedad es ascendente desde la parte basal hasta el ápice, tendencia que no fue muy notoria para el pino debido que la mayor humedad se registró en la parte media del fuste. Por otra parte, IGARTÚA y MONTEOLIVA (2009) analizaron las variaciones en la densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br., registrando que dentro del fuste hubo 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, aspecto que influye en la humedad.

5.4. Defectos y deformaciones

Las muestras de madera que fueron secadas bajo la técnica de apilado en caballete, mostraron menor cantidad de defectos y deformaciones; sobre el tema, la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA (2003) refiere que el mejor método de apilar o encastillar madera para un secado rápido, con el mínimo de agrietamiento y torcimiento, es el apilado plano. Sin embargo, las maderas se secan con facilidad y no se agrietan ni tuercen mucho, apilándose en forma más sencilla por el método en caballete o V invertida.

Sobre la técnica de apilado antes mencionada, RUEDA (2007) señala que es utilizada en especies que tienen alto contenido de humedad inicial y que no son susceptibles a sufrir deformaciones inmediatamente después del aserrado, tendencia observada en los resultados de la investigación (*Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry).

Pese a que la técnica de apilado en caballete presentó rapidez durante el secado, la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry sufrió pocos defectos y deformaciones; lo cual difiere con lo mencionado por SOLANO (1998), que indica que los defectos se originan en general debido a un secado muy rápido, especialmente durante las primeras etapas o como consecuencia de un secado irregular a lo largo de una pieza de madera.

VALDERRAMA (1992) afirma que el secado al aire libre sigue siendo el método preferido en muchos países para reducir el contenido de humedad de la madera hasta su punto de equilibrio, asimismo, menciona que si no se protege la madera contra la lluvia y el sol se producen defectos como torceduras, rajaduras o grietas; especialmente en las capas superiores de la pila, que descalifican la madera, ocasionando a menudo pérdidas económicas.

Por su parte, GONZALES (1996) sostiene que no todas las partes de una pieza de madera alcanzan el punto de saturación de las fibras (PSF) al mismo tiempo. Las capas superficiales al secarse, se contraen hasta cierto grado y comprimen el interior de la madera, antes que ella haya llegado al PSF, produciendo defectos apreciables como el agrietamiento, endurecimiento superficial, y otros, fáciles de apreciar en la sección transversal de las piezas de madera.

Ciertos defectos que ocurren durante el secado de la madera son ocasionados por las diferencias de contracción tangencial y radial, particularmente el defecto denominado acanaladura. Mientras mayor es la relación Ctg/Crd las maderas son más acanaladas. Igualmente, según ANANÍAS (1992), la contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados encorvadura y arqueadura, característica poco notoria de la madera de pino.

VI. CONCLUSIONES

1. Hubo mayor rapidez de secado en las muestras de madera extraídas del nivel medio y apical del fuste, con la orientación de corte tangencial bajo la técnica del apilado en caballete, registrando a partir del día 45 la humedad en equilibrio con el ambiente, superando a la técnica de apilado en triángulo.
2. La madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry presentó mayor valor porcentual de contracción tangencial en comparación a la contracción radial, relaciones de contracción similares se registraron en los diferentes niveles del fuste (base, medio y apical). Las muestras de madera registraron un descenso de la relación T/R desde la base hacia el ápice.
3. La parte basal del fuste presentó menor contenido de humedad (136.07 %), seguido de la parte apical (153.65 %) y del nivel medio (157.49 %); además, el duramen registra menor contenido de humedad (138.11 %) en comparación con las muestras obtenidas de la albura (160.03 %).
4. La mayor cantidad de muestras de madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry con orientación de corte tangencial presentaron arqueaduras, abarquillado, torcedura; mientras que muestras con orientación radial presentaron encorvadura, grieta y rajadura adquirida durante el proceso de secado al natural.

5. Las muestras de madera extraídas de la parte basal presentaron arqueadura, torcedura y rajadura; de la parte media arqueadura, abarquillado, encorvadura, torcedura y grietas; y de la parte apical abarquillado, grietas, encorvadura y rajadura.
6. Las muestras de madera secadas con la técnica de apilado en caballete presentaron torcedura y grietas; en tanto las secadas con la técnica de apilado en triángulo no registraron defectos de arqueadura, abarquillado, encorvadura y rajadura.

VII. RECOMENDACIONES

- En el proceso de secado natural de madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry, emplear la técnica de apilado en caballete debido a que acelera la pérdida de humedad.
- Realizar ensayos de la anatomía y propiedades físicas de la madera de *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry, y correlacionar con el comportamiento del secado.
- Utilizar el *Pinus tecunumanii* Eguluz en asociaciones con cultivos agrícolas (sistemas agroforestales), debido a que presenta diversos usos de la madera y es de rápido crecimiento.

**COMPARATIVE STUDY OF TWO NATURAL DRYING TECHNIQUES OF THE
SPECIE *Pinus tecunumanii* EGUILUZ AND PERRY IN THE CITY OF
VILLA RICA**

VIII. ABSTRACT

Wood is a multiple material properties such as hygroscopicity, allowing you win or lose moisture as conditions of the surrounding environment. Therefore, dimensional stability of the timber obtained when the moisture content (MC) reaches equilibrium with the ambient humidity. In this sense, this research proposes the following objectives: to determine the shortest naturally dried wood of *Pinus tecunumanii* Eguiluz and Perry, using the techniques of triangle stacking and stacking on trestle; determine the contraction in the tangential and radial cutting the stem at three levels: basal, middle and apical; determine the moisture content; and determine the natural drying behavior based on the presence of defects such as cracking, warping, arqueadura, bending, curl and twist. The study was conducted in the Laboratory of Entomopathogenic Alexander Von Humboldt Public Higher Technological Institute, located in the city of Villa Rica, politically located in Villa Rica district, Oxapampa province, Pasco region. The methodology was to develop proposed by the Peruvian Technical Standar PTS - 251.008 (Tree Selection and preparation of samples), PTS - 251 010 (moisture content) and PTS - 251 012 (dimensional change). The results indicate that there were faster drying wood samples taken from the middle and apical stem, oriented tangential cutting low

stacking technique trestle, recording from day 45 moisture equilibrium with the environment, surpassing the art of stacking triangle; the wood of *Pinus tecunumanii* Eguiluz and Perry presented higher percentage value of tangential contraction compared to radial contraction, while contraction to baseline, middle and apical did not present statistically significant difference; the basal part of the stem presented lower moisture content (136.07 %), followed by the apical part (153.65 %) and the average (157.49 %); additionally, heartwood registers lower moisture content (138.11 %) in comparison with samples from the sapwood (160.03 %); and samples of wood dried with the technique of stacking in trestle presented twisting and cracks; as the dried with the technique of stacking in triangle not recorded defects in arqueadura, curled up, curvature and cracks.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. Bio – Bio, Chile. 41 p.
- ANANÍAS, R. 2002. Física de la madera. Departamento Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio – Bio, Chile. 41 p.
- ANANÍAS, R. 2005. Estudio de la cinética del secado convencional y bajo vacío del *Pinus radiata*. Maderas. Ciencia y Tecnología. 42 p.
- ARÓSTEGUI, A. 1974. Estudios tecnológicos de maderas del Perú. Características y uso de las madera de 145 especies del país. Documento de trabajo. Lima. Perú. 57 p.
- ARÓSTEGUI, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de madera peruanas. Documento de trabajo N° 2. Proyecto PNUD/FAO7PER/81/002. Lima, Perú. 57 p.
- ASTM D2017 – 71. 1990. Accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods Book of Standards. 11 p.
- CATIE. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, Costa Rica. 204 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.
- GONZALES, F.R. 1996. Secado de la madera, documento de trabajo N° 2. Lima, Perú. 164 p.
- GONZALES, R. 1970. Durabilidad natural de 53 especies forestales de Yurimaguas. Revista Forestal del Perú. 4(1):1-2.
- GUTIÉRREZ, B.N., GÓMEZ, M., VALENCIA, S., CORNEJO, E.H., PRIETO, J.A., GUTIÉRREZ, M.H. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schltdl. del estado de Chiapas, México. Rev. Fitotec. Mex. 33(4):75-78.
- HERMINIO, J. 2003. Producto regular según conceptos de contracciones, contenido de humedad, alabeos y grietas. Valdivia, Chile. 85 p.
- 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. 18(1):101-110.
- INTA. 2001. Contenido adecuado de humedad para madera. Estación experimental Balcarce EE INTA. Buenos Aires, Argentina. 16 p.
- JUNAC (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA). 1984. Manual de secado de las maderas del grupo andino. Lima, Perú. 549 p.

- MORALES, E. 2004 Madera al exterior: Humedad de equilibrio higroscópico y sus valores característicos. Boletín de Información Técnica N° 226. Universidad de Sevilla, España. p 44-48.
- NTP 251.008. 1980. Maderas. Selección y colección de muestras.
- NTP 251.010. 2004. Maderas. Método para determinar el contenido de humedad. 2 ed.
- NTP 251.012. 2004. Maderas. Método de determinación de contracción. 2 ed.
- 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.
- POMACHAGUA, J. 1993. Industria de la madera. Huancayo, Perú. 42 p.
- RAYMUNDO, C. 2011. Tipos de apilado en el secado al aire libre. Manual de secado de la madera. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. 25 p.
- RUEDA, R. 2007. Norma Técnica Colombiana NTC 947-1: [En línea]: Footword, (<http://www.footword.edu.co/mpp/html>, artículo 15 Dic. 2012).
- SALAS, M. 2005. Tecnología de la madera, documento técnico N° 1, Talca, Chile. 51 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.
- STYLES, B.T., HUGHES, C.E. 1983. Studies of variation in Central American pines III: notes on the taxonomy and nomenclature of the pines and related gymnosperms in Honduras and adjacent Latin American Republic. Oxford, Reino Unido, Instituto de Forestaría de la Commonwealth, Departamento de Forestaría. 23 p
- TORRES, P. 2009. Determinación de las propiedades físicas a tres niveles del fuste del "cetico" *Cecropia sciadophylla* Mert. en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. 65 p.
- UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. 2003. Programas y secado de la madera. [En línea]: Ut, (<http://www.ut.edu.co/fif/0941/mpp/mpp1.html>), documento, 20 Mar. 2013).
- VALDERRAMA, H. 1992. Evaluación durante el secado natural de la madera aserrada de las especies *Licaria triundra*, *Simarouba amara* e *Iryanthera grandis* – Iquitos. Folia Amazónica Vol. 4(2). IIAP 63. 23 p.
- VIGNOTE, S. 2000. Tecnología de la madera en construcción arquitectónica. Mundi – prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 277 p.
- 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.

ANEXO

Anexo 1. Datos registrados

Cuadro 17. Promedio de la pérdida de peso de las probetas de pino secadas bajo dos técnicas de apilado.

Días	Nivel de Fuste			Orientación de corte		Técnica de secado	
	Base	Medio	Ápice	Tangencial	Radial	Triángulo	Caballote
0	3471.00	3605.29	3620.54	3633.28	3616.23	3624.79	3589.98
1	3406.99	3533.97	3553.35	3564.59	3553.38	3517.55	3581.06
2	3323.28	3443.70	3466.83	3477.07	3465.93	3427.62	3499.47
3	3275.95	3392.93	3420.81	3427.91	3415.61	3376.59	3455.58
4	3210.60	3328.56	3354.63	3362.29	3346.68	3310.04	3389.50
5	3174.55	3290.66	3319.17	3323.55	3308.69	3271.70	3354.19
6	3128.29	3243.82	3275.12	3276.20	3260.96	3223.41	3311.59
7	3032.90	3141.78	3177.75	3177.31	3159.84	3120.47	3217.88
8	2996.75	3089.18	3142.86	3136.71	3116.11	3078.46	3178.40
9	2934.48	3030.41	3080.84	3074.03	3052.90	3014.60	3118.68
10	2884.75	2972.30	3028.92	3020.08	2998.73	2960.76	3066.17
11	2834.85	2913.97	2976.80	2965.98	2944.52	2906.86	3013.25
12	2772.93	2845.76	2916.16	2901.34	2876.81	2843.18	2948.85
13	2700.08	2760.85	2841.80	2823.07	2797.34	2763.06	2875.09
14	2626.29	2680.92	2763.45	2741.80	2719.85	2682.79	2801.11
15	2552.16	2596.58	2691.38	2662.98	2643.53	2602.91	2729.15
16	2511.78	2551.97	2648.22	2617.05	2598.68	2559.84	2684.35
17	2474.36	2509.92	2609.20	2576.65	2555.58	2521.99	2640.48

18	2446.57	2479.33	2582.65	2548.08	2526.42	2493.08	2612.33
19	2398.73	2422.66	2529.38	2494.12	2475.81	2437.10	2564.85
20	2325.11	2333.53	2454.96	2415.04	2402.25	2353.82	2494.68
21	2274.32	2281.11	2401.92	2358.76	2348.65	2299.66	2442.74
22	2214.08	2210.01	2341.14	2290.71	2288.21	2231.09	2385.35
23	2157.25	2140.41	2271.45	2220.50	2223.67	2163.40	2322.82
24	2119.31	2100.03	2228.75	2176.80	2184.11	2123.40	2279.39
25	2074.96	2047.46	2173.61	2121.68	2134.29	2072.04	2227.91
26	2055.57	2024.04	2149.42	2095.89	2112.52	2049.74	2203.15
27	2032.78	1994.86	2118.67	2064.11	2085.09	2022.41	2172.98
28	1999.02	1954.40	2073.38	2018.27	2045.88	1983.32	2128.57
29	1958.44	1903.91	2016.73	1962.13	1997.99	1935.78	2072.93
30	1929.41	1868.33	1973.88	1921.57	1962.28	1902.43	2028.84
31	1910.25	1845.02	1942.08	1893.40	1937.21	1881.03	1995.46
32	1864.15	1797.38	1883.73	1839.10	1884.51	1834.56	1933.48
33	1823.77	1758.55	1826.61	1790.82	1835.68	1796.90	1869.27
34	1786.53	1724.55	1782.59	1750.67	1796.91	1762.70	1820.64
35	1759.73	1694.46	1750.08	1722.16	1764.62	1738.21	1781.10
36	1742.17	1685.02	1728.83	1705.13	1744.36	1728.13	1750.47
37	1724.39	1675.13	1706.97	1687.51	1723.74	1717.58	1719.40
38	1707.24	1659.47	1687.98	1671.48	1704.75	1702.41	1697.67
39	1696.48	1652.72	1676.64	1663.88	1693.61	1695.85	1681.76
40	1676.81	1634.27	1656.05	1644.40	1673.03	1678.53	1657.08
41	1676.67	1637.23	1657.23	1646.71	1672.48	1681.78	1654.11
42	1666.33	1629.29	1647.75	1637.74	1662.06	1674.01	1641.08

43	1656.71	1620.79	1639.58	1629.45	1652.37	1666.13	1629.59
44	1650.92	1617.30	1634.69	1624.63	1646.39	1661.99	1623.06
45	1652.04	1620.31	1636.93	1627.16	1647.10	1664.91	1622.94
46	1647.52	1615.66	1632.29	1622.56	1642.73	1660.56	1617.69
47	1646.57	1614.62	1631.25	1621.95	1641.08	1659.84	1616.03
48	1649.27	1618.48	1634.67	1625.60	1644.47	1663.84	1618.10
49	1655.34	1624.72	1640.53	1631.92	1650.33	1670.06	1623.83
50	1661.63	1631.42	1646.60	1638.78	1656.66	1676.38	1630.38
51	1659.89	1628.75	1644.89	1636.63	1654.50	1674.31	1628.37
52	1664.85	1634.17	1649.57	1641.83	1659.33	1679.51	1632.97
53	1661.10	1630.37	1645.48	1637.86	1655.48	1675.54	1629.01
54	1660.43	1627.01	1644.99	1636.97	1652.84	1673.70	1627.72
55	1657.16	1626.09	1641.40	1633.45	1650.93	1671.67	1624.04
56	1655.78	1624.93	1639.80	1632.18	1649.43	1670.24	1622.61
57	1654.32	1623.43	1637.96	1630.75	1647.73	1668.64	1620.77
58	1651.75	1620.93	1635.79	1628.08	1645.41	1666.30	1617.99
59	1655.14	1624.51	1638.99	1631.70	1649.08	1669.51	1621.80
60	1661.10	1630.65	1645.56	1638.12	1655.11	1675.88	1628.00
61	1671.84	1641.68	1656.23	1648.98	1666.41	1686.46	1639.40
62	1673.66	1643.52	1657.40	1649.61	1666.87	1688.36	1639.28
63	1675.13	1644.89	1658.83	1650.20	1667.16	1689.80	1639.48
64	1672.60	1641.31	1659.94	1648.65	1666.07	1688.41	1639.55
65	1666.68	1635.76	1649.86	1642.76	1659.80	1680.87	1632.54
66	1665.97	1634.92	1649.19	1642.04	1659.21	1680.15	1631.78
67	1665.19	1633.66	1648.31	1641.11	1658.48	1679.20	1630.75

68	1660.31	1629.14	1643.81	1636.25	1653.48	1674.48	1625.66
69	1665.99	1638.21	1652.04	1645.15	1660.05	1682.98	1632.51
70	1666.25	1638.26	1652.46	1645.47	1660.38	1683.16	1632.81

La unidad empleada es en porcentajes.

Cuadro 18. Contracciones y relación T/R en probetas de pino.

Códigos	Medida inicial		Medida final		Contracción		Relación T/R
	Ancho	Espesor	Ancho	Espesor	Tangencial	Radial	
1BT1a	102.45	27.30	100.57	27.05	1.84	0.92	2.00
1BT1b	103.57	26.60	101.99	26.42	1.53	0.68	2.25
1BT2a	103.59	27.10	101.92	26.89	1.61	0.77	2.08
1BT2b	102.96	26.65	101.22	26.43	1.69	0.83	2.05
1BT3a	101.98	27.20	100.25	26.98	1.70	0.81	2.10
1BT3b	103.36	27.10	101.40	26.88	1.90	0.81	2.34
1BT4a	103.27	27.36	101.59	27.15	1.63	0.77	2.12
1BT4b	103.03	26.64	101.25	26.45	1.73	0.71	2.42
1BT5a	103.69	27.53	101.67	27.30	1.95	0.84	2.33
1BT5b	102.64	27.38	100.45	27.05	2.13	1.21	1.77
2BT1a	103.75	26.90	101.69	26.69	1.99	0.78	2.54
2BT1b	103.30	27.27	101.45	27.05	1.79	0.81	2.22
2BT2a	104.01	27.18	102.89	27.01	1.08	0.63	1.72
2BT2b	103.21	27.22	101.62	27.03	1.54	0.70	2.21
2BT3a	103.82	27.00	102.23	26.82	1.53	0.67	2.30
2BT3b	102.79	26.48	100.79	26.26	1.95	0.83	2.34
3BTg1a	103.36	27.47	101.25	27.24	2.04	0.84	2.44

3BTg1b	103.49	24.75	101.51	24.54	1.91	0.85	2.25
3BTg2a	102.60	27.62	100.96	27.42	1.60	0.72	2.21
3BTg2b	102.89	27.28	101.44	27.11	1.41	0.62	2.26
3BTg3a	103.68	26.30	101.69	26.10	1.92	0.76	2.52
3BTg3b	101.65	27.33	100.71	27.15	0.92	0.66	1.40
4BTg1a	102.39	27.58	101.16	27.35	1.20	0.83	1.44
4BTg1b	102.56	26.33	100.65	26.12	1.86	0.80	2.34
4BTg2a	103.68	27.10	102.25	26.92	1.38	0.66	2.08
4BTg2b	103.30	26.44	101.39	26.21	1.85	0.87	2.13
4BTg3a	103.55	27.62	101.75	27.39	1.74	0.83	2.09
4BTg3b	103.36	26.81	102.12	26.65	1.20	0.60	2.01
4BTg4a	103.52	27.28	102.07	27.04	1.40	0.88	1.59
4BTg4b	102.42	27.10	101.37	26.91	1.03	0.70	1.46
4BTg5a	103.63	27.31	102.45	27.15	1.14	0.59	1.94
4BTg5b	101.00	27.29	99.89	27.15	1.10	0.51	2.14
5BTg1a	103.04	27.07	101.73	26.90	1.27	0.63	2.02
5BTg1b	101.70	27.30	99.90	27.05	1.77	0.92	1.93
5BTg2a	103.60	27.16	101.91	26.96	1.63	0.74	2.22
5BTg2b	102.85	27.41	100.85	27.17	1.94	0.88	2.22
5BTg3a	102.46	26.93	101.04	26.77	1.39	0.59	2.33
5BTg3b	102.15	26.67	101.05	26.49	1.08	0.67	1.60
5BTg4a	103.32	27.25	102.08	27.05	1.20	0.73	1.64
5BTg4b	102.49	27.21	101.17	27.01	1.29	0.74	1.75
5BTg5a	102.79	27.74	101.50	27.55	1.25	0.68	1.83
5BTg5b	102.52	26.88	101.25	26.71	1.24	0.63	1.96

1BR1a	102.76	27.01	101.75	26.48	1.96	0.98	2.00
1BR1b	103.46	27.01	102.82	26.68	1.22	0.62	1.98
1BR2a	103.50	26.57	102.48	25.98	2.22	0.99	2.25
1BR2b	103.01	27.05	101.91	26.49	2.07	1.07	1.94
2BRd1a	103.02	27.26	101.84	26.69	2.09	1.15	1.83
2BRd1b	100.26	27.05	99.39	26.48	2.11	0.87	2.43
2BRd2a	102.82	26.91	102.48	26.72	0.71	0.33	2.14
2BRd2b	100.91	27.29	100.56	27.05	0.88	0.35	2.54
2BRd3a	101.26	26.72	99.58	26.20	1.95	1.66	1.17
2BRd3b	102.56	26.24	101.37	25.68	2.13	1.16	1.84
2BRd4a	102.21	26.87	101.84	26.72	0.56	0.36	1.54
2BRd4b	101.71	26.99	101.15	26.79	0.74	0.55	1.35
3BRd1a	103.41	27.12	102.72	26.81	1.14	0.67	1.71
3BRd1b	101.56	27.25	100.77	26.84	1.50	0.78	1.93
3BRd2a	102.78	27.17	101.92	26.87	1.10	0.84	1.32
3BRd2b	103.75	27.57	102.95	27.01	2.03	0.77	2.63
4BRd1a	103.69	27.27	103.10	26.82	1.65	0.57	2.90
4BRd1b	102.41	26.78	101.59	26.33	1.68	0.80	2.10
4BRd2a	103.81	27.10	103.18	26.82	1.03	0.61	1.70
4BRd2b	102.89	27.09	101.98	26.61	1.77	0.88	2.00
4BRd3a	103.65	27.52	103.12	27.21	1.13	0.51	2.20
4BRd3b	102.81	27.38	101.89	26.86	1.90	0.89	2.12
4BRd4a	104.36	27.69	103.46	27.20	1.77	0.86	2.05
4BRd4b	103.26	26.83	102.30	26.45	1.42	0.93	1.52
5BRd1a	102.79	27.98	101.80	27.44	1.93	0.96	2.00

5BRd1b	103.12	27.34	102.25	26.86	1.76	0.84	2.08
5BRd2a	103.70	27.29	103.01	26.90	1.43	0.67	2.15
5BRd2b	101.63	27.62	100.71	27.21	1.48	0.91	1.64
1MT1a	102.49	27.08	101.00	26.88	1.45	0.74	1.97
1MT1b	103.15	27.19	101.39	26.95	1.71	0.88	1.93
1MT2a	103.20	27.08	101.35	26.80	1.79	1.03	1.73
1MT2b	101.16	27.27	99.02	27.00	2.12	0.99	2.14
1MT3a	103.30	27.03	101.21	26.75	2.02	1.04	1.95
1MT3b	102.42	27.06	100.89	26.76	1.49	1.11	1.35
1MT4a	103.86	26.72	101.91	26.45	1.88	1.01	1.86
1MT4b	101.73	27.23	100.40	27.02	1.31	0.77	1.70
2MTg1a	103.20	27.52	101.97	27.29	1.19	0.84	1.43
2MTg1b	102.74	27.44	101.68	27.28	1.03	0.58	1.77
2MTg2a	100.71	27.23	99.04	26.98	1.66	0.92	1.81
2MTg2b	102.84	26.58	100.98	26.35	1.81	0.87	2.09
2MTg3a	102.65	26.95	101.08	26.75	1.53	0.74	2.06
2MTg3b	103.83	27.14	102.30	26.95	1.47	0.70	2.10
3MTg1a	102.48	27.51	101.28	27.31	1.17	0.73	1.61
3MTg1b	103.55	27.07	102.38	26.90	1.13	0.63	1.80
3MTg2a	103.72	27.48	102.48	27.27	1.20	0.76	1.56
3MTg2b	99.68	26.01	97.83	25.79	1.86	0.85	2.19
3MTg3a	103.60	27.36	101.77	27.14	1.77	0.80	2.20
3MTg3b	102.63	26.98	100.42	26.72	2.15	0.96	2.23
4MTg1a	96.63	26.98	95.25	26.79	1.43	0.70	2.03
4MTg1b	103.33	27.03	102.14	26.92	1.15	0.41	2.83

4MTg2a	103.73	27.21	101.80	27.01	1.86	0.74	2.53
4MTg2b	102.11	27.56	99.95	27.34	2.12	0.80	2.65
4MTg3a	102.84	27.11	101.02	26.88	1.77	0.85	2.09
4MTg3b	103.03	27.18	101.95	26.95	1.05	0.85	1.24
4MTg4a	103.59	27.19	102.54	26.99	1.01	0.74	1.38
4MTg4b	103.34	27.26	102.35	27.11	0.96	0.55	1.74
4MTg5a	103.76	26.16	102.72	25.98	1.00	0.69	1.46
4MTg5b	103.25	27.67	101.86	27.40	1.35	0.98	1.38
4MTg6a	103.11	27.22	101.95	27.01	1.13	0.77	1.46
4MTg6b	103.79	27.41	102.49	27.20	1.25	0.77	1.63
4MTg7a	100.12	27.56	99.02	27.35	1.10	0.76	1.44
4MTg7b	103.63	26.82	102.32	26.65	1.26	0.63	1.99
4MTg8a	103.95	27.67	102.62	27.49	1.28	0.65	1.97
4MTg8b	103.13	27.53	101.87	27.37	1.22	0.58	2.10
5MTg1a	103.25	27.23	102.01	27.09	1.20	0.51	2.34
5MTg1b	102.21	27.56	100.96	27.39	1.22	0.62	1.98
5MTg2a	103.14	26.14	102.21	26.01	0.90	0.50	1.81
5MTg2b	102.96	26.97	101.63	26.80	1.29	0.63	2.05
5MTg3a	104.17	27.81	103.21	27.66	0.92	0.54	1.71
5MTg3b	102.45	26.90	100.15	26.59	2.24	1.15	1.95
5MTg4a	102.95	27.66	101.68	27.52	1.23	0.51	2.44
5MTg4b	103.31	26.96	102.34	26.85	0.94	0.41	2.30
5MTg5a	100.47	27.36	99.00	27.19	1.46	0.62	2.35
5MTg5b	103.82	27.29	101.85	27.05	1.90	0.88	2.16
1MR1a	102.29	27.18	101.32	26.41	2.83	0.95	2.99

1MR1b	103.80	27.14	103.05	26.78	1.33	0.72	1.84
1MR2a	104.10	27.03	102.97	26.53	1.85	1.09	1.70
1MR2b	102.78	27.23	102.09	26.77	1.69	0.67	2.52
2MRd1a	102.27	27.14	101.18	26.67	1.73	1.07	1.62
2MRd1b	103.50	26.99	102.59	26.53	1.70	0.88	1.94
2MRd2a	101.28	26.87	100.75	26.55	1.19	0.52	2.28
2MRd2b	103.09	27.45	102.22	26.85	2.19	0.84	2.59
3MRd1a	102.29	27.12	101.50	26.63	1.81	0.77	2.34
3MRd1b	102.34	27.03	101.05	26.42	2.26	1.26	1.79
3MRd2a	101.92	26.50	100.80	25.95	2.08	1.10	1.89
3MRd2b	103.45	26.96	102.26	26.27	2.56	1.15	2.22
4MRd1a	103.66	26.84	103.02	26.50	1.27	0.62	2.05
4MRd1b	100.74	26.50	100.05	26.22	1.06	0.68	1.54
4MRd2a	103.05	27.11	102.34	26.65	1.70	0.69	2.46
4MRd2b	103.59	27.09	102.70	26.74	1.29	0.86	1.50
5MRd1a	100.41	27.17	99.80	26.80	1.36	0.61	2.24
5MRd1b	103.57	27.47	102.85	27.14	1.20	0.70	1.73
5MRd2a	103.71	27.67	103.10	27.26	1.48	0.59	2.52
5MRd2b	102.63	27.27	101.70	26.90	1.36	0.91	1.50
1AT1a	102.14	26.56	100.12	26.32	1.98	0.90	2.19
1AT1b	103.04	26.75	101.90	26.55	1.11	0.75	1.48
1AT2a	103.98	27.25	102.58	27.05	1.35	0.73	1.83
1AT2b	103.83	27.31	102.31	27.10	1.46	0.77	1.90
1AT3a	101.16	27.06	99.39	26.86	1.75	0.74	2.37
1AT3b	101.91	26.96	100.39	26.76	1.49	0.74	2.01

1AT4a	103.92	27.08	102.00	26.84	1.85	0.89	2.08
1AT4b	102.76	27.32	101.27	27.10	1.45	0.81	1.80
2ATg1a	103.70	26.24	101.85	26.03	1.78	0.80	2.23
2ATg1b	104.08	27.24	102.15	26.99	1.85	0.92	2.02
2ATg2a	102.20	27.03	100.87	26.79	1.30	0.89	1.47
2ATg2b	104.18	27.13	103.18	26.95	0.96	0.66	1.45
3ATg1a	103.22	26.03	101.60	25.86	1.57	0.65	2.40
3ATg1b	102.43	26.92	101.12	26.75	1.28	0.63	2.03
3ATg2a	103.88	27.27	102.65	27.06	1.18	0.77	1.54
3ATg2b	103.26	27.60	102.15	27.35	1.07	0.91	1.19
4ATg1a	103.92	26.77	102.62	26.55	1.25	0.82	1.52
4ATg1b	103.44	27.04	102.26	26.87	1.14	0.63	1.81
4ATg2a	103.50	26.06	101.70	25.85	1.74	0.81	2.16
4ATg2b	103.49	27.05	101.97	26.80	1.47	0.92	1.59
5ATg1a	103.50	26.91	102.13	26.70	1.32	0.78	1.70
5ATg1b	102.46	27.09	100.96	26.89	1.46	0.74	1.98
5ATg2a	99.80	26.86	98.76	26.68	1.04	0.67	1.56
5ATg2b	103.73	26.37	102.50	26.15	1.19	0.83	1.42
5ATg3a	103.73	26.97	102.25	26.75	1.43	0.82	1.75
5ATg3b	102.24	26.41	100.90	26.28	1.31	0.49	2.66
5ATg4a	103.32	27.11	102.21	26.97	1.07	0.52	2.08
5ATg4b	103.11	27.68	101.57	27.46	1.49	0.79	1.88
5ATg5a	102.99	27.55	101.45	27.31	1.50	0.87	1.72
5ATg5b	103.80	27.80	101.85	27.61	1.88	0.68	2.75
5ATg6a	103.03	26.98	101.65	26.78	1.34	0.74	1.81

5ATg6b	103.71	27.90	102.07	27.70	1.58	0.72	2.21
1AR1a	103.11	26.20	102.20	25.76	1.68	0.88	1.90
1AR1b	102.21	27.37	101.35	26.85	1.90	0.84	2.26
1AR2a	103.97	26.64	103.15	26.34	1.13	0.79	1.43
1AR2b	98.38	27.28	97.77	26.92	1.32	0.62	2.13
2ARd1a	102.80	27.19	101.85	26.68	1.88	0.92	2.03
2ARd1b	103.41	27.39	102.36	26.87	1.90	1.02	1.87
3ARd1a	103.84	28.00	103.02	27.45	1.96	0.79	2.49
3ARd1b	103.01	26.84	102.28	26.45	1.45	0.71	2.05
3ARd2a	103.66	26.98	102.70	26.51	1.74	0.93	1.88
3ARd2b	100.44	27.44	99.58	26.87	2.08	0.86	2.43
4ARd1a	104.32	27.37	103.45	26.96	1.50	0.83	1.80
4ARd1b	104.14	27.11	103.51	26.83	1.03	0.60	1.71
4ARd2a	101.61	26.99	101.01	26.65	1.26	0.59	2.13
4ARd2b	102.72	26.81	101.91	26.41	1.49	0.79	1.89
5ARd1a	103.26	27.17	102.52	26.80	1.36	0.72	1.90
5ARd1b	103.18	26.97	102.35	26.52	1.67	0.80	2.07
5ARd2a	102.38	27.31	101.75	26.95	1.32	0.62	2.14
5ARd2b	101.43	27.40	100.80	27.05	1.28	0.62	2.06

Medida inicial y final en centímetros y contracción en porcentajes.

Cuadro 19. Contenido de humedad en las probetas de pino.

Códigos	Árbol	Niveles	Ph (g)	Psh (g)	CH %	Peh	Ch - eq (%)
1BD	1	Base	112.00	47.00	138.30	54.00	30.89
1MD	1	Medio	124.00	39.00	217.95	45.00	42.39
1AD	1	Ápice	123.00	42.00	192.86	47.00	31.16
1BA	1	Base	150.00	74.00	102.70	83.00	21.98
1MA	1	Medio	137.00	63.00	117.46	72.00	27.18
1AA	1	Ápice	107.00	45.00	137.78	51.00	27.97
2BD	2	Base	161.00	65.00	147.69	74.00	30.12
2MD	2	Medio	105.00	41.00	156.10	47.00	32.69
2AD	2	Ápice	88.00	32.00	175.00	36.00	30.56
2BA	2	Base	177.00	83.00	113.25	95.00	26.94
2MA	2	Medio	112.00	43.00	160.47	49.00	31.89
2AA	2	Ápice	103.00	46.00	123.91	52.00	25.84
3BD	3	Base	93.00	41.00	126.83	45.00	20.16
3MD	3	Medio	159.00	64.00	148.44	72.00	27.60
3AD	3	Ápice	108.00	54.00	100.00	59.00	16.95
3BA	3	Base	125.00	67.00	86.57	76.00	22.09
3MA	3	Medio	182.00	80.00	127.50	90.00	25.28
3AA	3	Ápice	99.00	45.00	120.00	50.00	22.00
4BD	4	Base	103.00	42.00	145.24	49.00	35.03
4MD	4	Medio	151.00	59.00	155.93	66.00	27.14
4AD	4	Ápice	131.00	51.00	156.86	58.00	31.00
4BA	4	Base	104.00	43.00	141.86	48.00	25.19

4MA	4	Medio	95.00	35.00	171.43	39.00	27.84
4AA	4	Ápice	155.00	58.00	167.24	66.00	32.39
5BD	5	Base	133.00	49.00	171.43	55.00	29.61
5MD	5	Medio	126.00	45.00	180.00	51.00	32.94
5AD	5	Ápice	95.00	33.00	187.88	38.00	37.88
5BA	5	Base	109.00	38.00	186.84	43.00	33.35
5MA	5	Medio	139.00	58.00	139.66	64.00	22.47
5AA	5	Ápice	110.00	40.00	175.00	45.00	30.56

Cuadro 20. Defectos y deformaciones en las probetas de pino.

Tec.	Nivel	Corte	Cod	Arqueadura	Abarq.	Encorv.	Torced.	Grieta	Rajadura
Caballote	Base	Tang.	A	4	12	8	7	11	12
			B	8	1	4	5	2	1
			C	1		1	1		
		Radial	A	8	10	4	9	8	10
			B	2		6	1	2	
			C						
	Medio	Tang.	A	7	13	9	9	11	15
			B	7	2	6	6	4	
			C	1					
		Radial	A	2	6	4	5	5	6
			B	4		2	1	1	
			C						

Triángulo	Apical	Tang.	A	5	7	3	6	6	8
			B	3	1	4	1	2	
			C			1	1		
		Radial	A	5	4	3	4	3	5
			B		1	2	1	2	
			C						
	Base	Tang.	A	2	6	4	6	8	8
			B	6	2	4	2		
			C						
		Radial	A	2	4	3	3	4	3
			B	2		1	1		1
			C						
	Medio	Tang.	A	3	6	2	4	8	8
			B	5	2	4	4		
			C			2			
		Radial	A	1	4	1	4	3	4
			B	2		3		1	
			C	1					
	Apical	Tang.	A	5	7	6	6	8	8
			B	2	1	2	2		
			C	1					
		Radial	A	2	4	1	3	1	3
			B	1		3	1	2	1
			C	1				1	

Anexo 2. Panel fotográfico

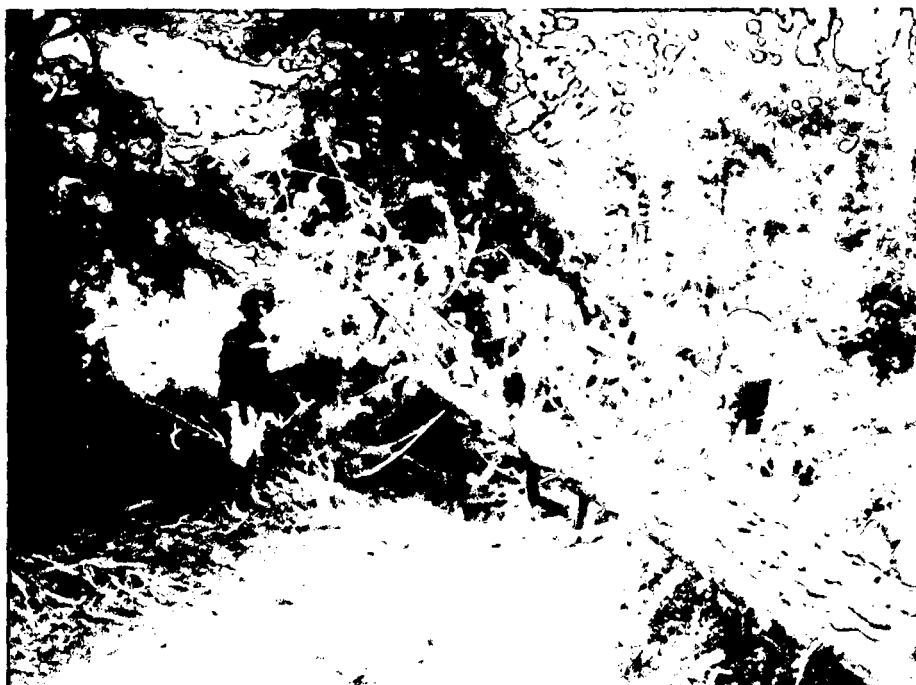


Figura 32. Tumbado de árbol.



Figura 33. Trozado de fuste por nivel.



Figura 34. Obtención de probetas.

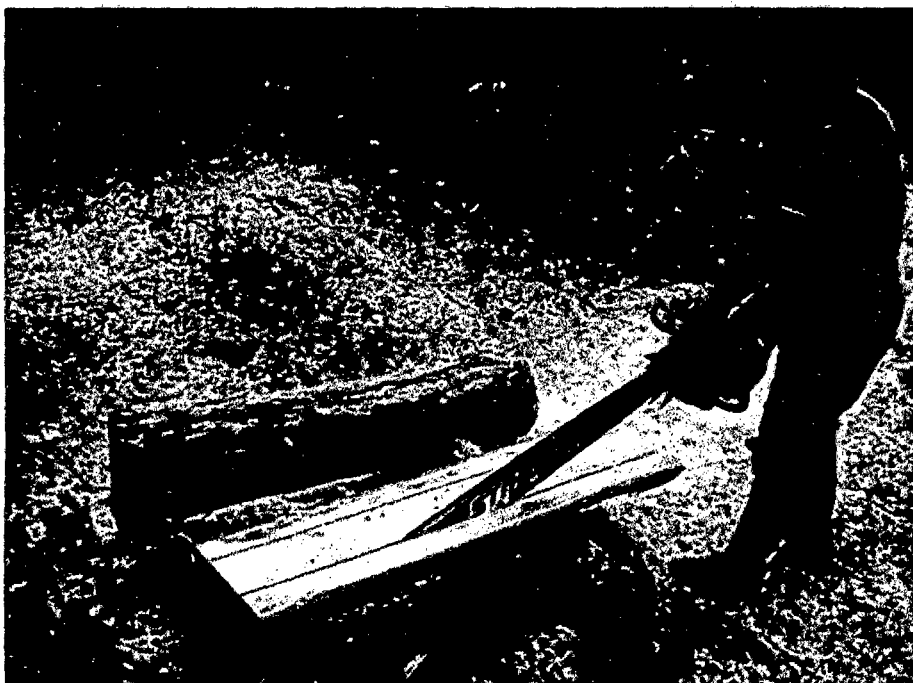


Figura 35. Obtención de cuartones.

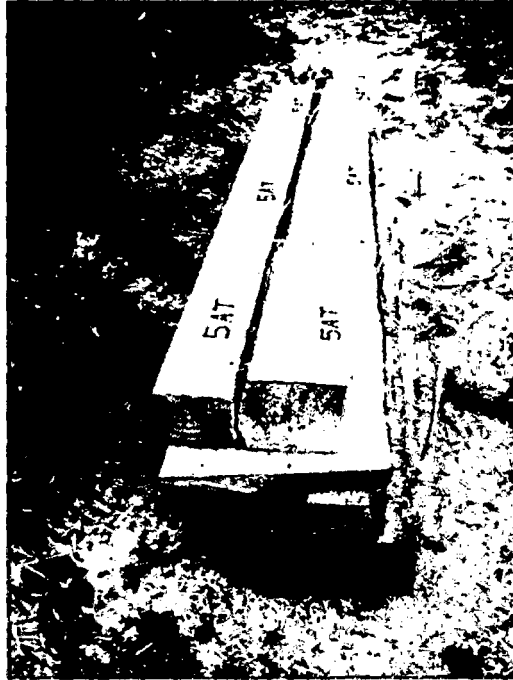


Figura 36. Apilado de cuartones por tipo de corte.



Figura 37. Escuadrado de cuartones.



Figura 38. Obtención de tablas.



Figura 39. Desgrosado de tablas.



Figura 40. Peso fresco húmedo de tablas.



Figura 41. Medición de tablas.



Figura 42. Secado de probetas en estufa.



Figura 43. Peso seco de probetas.

Anexo 3. Mapas o planos

