

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FLORENCIO TEODORO TRUJILLO CUELLAR

SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE TECA (*Tectona grandis* L. f) DE UNA
PLANTACION DE 33 AÑOS EN EL PERÚ



CURITIBA

2020

FLORENCIO TEODORO TRUJILLO CUELLAR

SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE TECA (*Tectona grandis* L. f) DE UNA
PLANTACIÓN DE 33 AÑOS EN EL PERÚ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke.

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha.

Prof. PhD. Héctor E. Gonzáles Mora.

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Trujillo Cuellar, Florencio Teodoro

Secado artificial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f) de una
plantación de 33 años en el Perú / Florencio Teodoro Trujillo Cuellar. –
Curitiba, 2020.
240 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Prof. PhD. Héctor Enrique Gonzáles Mora

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 30/10/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Secagem - Peru. 2. Teca (Árvore) - Peru. 3. Madeira -
Efeito da umidade. 4. Teses. I. Klitzke, Ricardo Jorge. II. Rocha, Márcio
Pereira da. III. Gonzáles Mora, Héctor Enrique. IV. Universidade Federal
do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.847(85)

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **FLORENCIO TEODORO TRUJILLO CUELLAR** intitulada: **SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE TECA (*Tectona grandis* L. f) DE UNA PLANTACION DE 33 AÑOS EN EL PERÚ**, sob orientação do Prof. Dr. RICARDO JORGE KLITZKE, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica

01/11/2020 08:21:04.0

RICARDO JORGE KLITZKE

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

02/11/2020 18:34:51.0

ROSILANI TRIANOSKI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

31/10/2020 18:01:39.0

GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE DAMBROZ

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO)

Assinatura Eletrônica

04/11/2020 11:20:49.0

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO)

Assinatura Eletrônica

02/11/2020 12:01:33.0

THIAGO CAMPOS MONTEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

A mis padres Anastasia y Teodoro a quienes debo la vida y el amor de mis hermanas Aida, Irene y Silvia Gilda, que hoy brindo a mis hijos David Alejandro, José Enmanuel y a su madre Rosario.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar el presente trabajo.

Al Dr. Antonio Carlos Batista Profesor de la Universidad Federal de Paraná, por su apoyo para la materialización del Convenio interinstitucional entre la Universidad Federal del Paraná (UFPR) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Al Dr. Milo Bozovich Granados Profesor de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo para la materialización y desarrollo del Convenio interinstitucional entre la Universidad Federal del Paraná (UFPR) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Al Programa de Postgrado en Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Paraná, por la oportunidad brindada para la realización de mis estudios de doctorado.

A mi Orientador Dr. Ricardo Jorge Klitzke, Profesor de la Universidad Federal de Paraná, por su soporte y guía durante el desarrollo y culminación de la investigación.

A mi Coorientador Dr. Márcio Pereira da Rocha, Profesor de la Universidad Federal de Paraná, por su guía durante el desarrollo y culminación de la investigación.

A mi Coorientador PhD. Héctor Enrique Gonzáles Mora, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo en el Laboratorio de Química Forestal y redacción del primer borrador de la tesis.

Al PhD. Enrique Flores Mariazza Rector de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo para el financiamiento del desarrollo de las clases en la UFPR y en la UNALM.

Al PhD. Jorge Alarcón Vicerrector Académico de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo para el financiamiento de la investigación.

A la Dra. Carmen Eloisa Velezmoro Sánchez Vicerrectora de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo para el financiamiento de la investigación.

Al PhD. Carlos Augusto Reynel Rodríguez, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por el apoyo invaluable para la realización de los estudios de doctorado.

A la Lic. Química Deysi Rocío Guzmán Loayza Profesora de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo en el Laboratorio de Química Forestal.

Al Dr. Manuel Chavesta Custodio Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo en el Laboratorio de Anatomía de la madera.

Al PhD. Roger Hernández Peña, profesor de la Universidad de Laval, por los artículos científicos facilitados y consejos en el desarrollo de la investigación.

A la Dra. María Isabel Manta Nolasco y al Dr. Percy Amilcar Zevallos Pollito por sus consejos y aliento para la culminación de la investigación.

Al Ing. Mg.Sc. Moisés Acevedo Mallque, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por sus comentarios y consejos en el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Mg. Sc. Rolando Montenegro Muro, Docente de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su valioso apoyo en el análisis estadístico de los datos colectados en la presente investigación.

Al Ing. Martín Araujo Flores, Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por cubrir mi carga académica durante el ciclo 2018-I durante mi licencia por capacitación.

Al Ing. Álvaro Guerra Miranda, por su apoyo invaluable en el mejoramiento del horno de secado y monitoreo del proceso de secado.

Al Ing. Douglas Alejandro Farge Morote, por su apoyo invaluable en el monitoreo de los procesos de secado y análisis de los resultados de la investigación.

A los Señores Enrique Cabrera Vaquerizo, David Huamán Cabrera, Vicente Cuba Huamán y Ulises Quispe Callo, por su apoyo en la investigación.

A mis amigos y hoy promoción de Doctores del Programa de Postgrado en Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Paraná

A los amigos del Fundo Génova de la UNALM en la ciudad de la Merced y de la Maderera Hammer en el distrito de San Ramón, por su apoyo para la realización de la presente investigación.

A todas las personas que contribuyeron para la realización de la presente investigación en el transporte de la madera. En forma muy especial a "Tito", por su amistad y lamentable pérdida en el tercer viaje a la ciudad de Lima.

RESUMO

Diante do aumento crescente das plantações de teca (*Tectona grandis* LF) no Peru, o estudo foi realizado com o objetivo de gerar informações técnicas sobre as características da secagem artificial da madeira de teca de 33 anos, a partir da secagem de oito cargas de madeira (consistindo de 60 tábuas de madeira de 25 mm de espessura x 150 mm de largura e 1000 mm de comprimento) em uma câmara piloto de secagem convencional, utilizando o programa moderado (potencial de secagem de 3,5) do Quadro de Convênios de Cartagena. Foram avaliadas a variação na altura da árvore da porcentagem de cerne, excentricidade da medula, características microscópicas, densidade, contração e teor de extrativos da madeira, para estabelecer as diferenças da madeira em dois níveis de altura da árvore, < a 3,5 m (base) e > 3,5 m (topo), analisando o efeito de dois níveis iniciais de umidade no tempo e na velocidade de secagem, bem como o efeito da velocidade do ar no consumo de eletricidade da secagem convencional o comportamento de secagem da madeira serrada de teca . Foi determinado que a excentricidade, densidade, contração e a porcentagem de extrativos apresentaram em geral uma tendência a diminuir significativamente do nível b (próximo à base) em direção à altura média da árvore (m) e aumentar na altura ou topo (t) sem ultrapassar a base. La madera de teca procedente de la base (B < 3,5 m), y la madera procedente de topo (T > 3,5 m) de la altura del árbol, no influyeron significativamente en el tiempo, tasa y calidad de secado de a Madeira. Na secagem do ar desde a umidade inicial em verde até 36% de umidade, a correlação de Pearson foi linear positiva entre a taxa de secagem da água livre com a temperatura e a velocidade do ar, e linear negativa com a umidade relativa do ar, precipitação e tempo de secagem. O tempo de secagem artificial da madeira apresentou relação direta significativa com o nível de umidade inicial (madeira verde e no PSF) e inversa com a velocidade do ar (2,5 m.s⁻¹ e 3,5 m.s⁻¹). A taxa de secagem apresentou relação direta significativa com a presença de água livre e maior velocidade do ar. O consumo de energia para a evaporação da água livre foi significativamente menor do que para a evaporação da água higroscópica, aumentando na maior umidade inicial e na menor velocidade do ar. A madeira de teca apresentou incidência de defeitos de empenamento, o que não compromete seu uso para a elaboração de produtos de madeira maciça.

Palavras-chave: Folhosa. Pré-seco ao ar. Secagem convencional. Velocidade do ar. Consumo de energia.

ABSTRACT

Given the growing increase in teak plantations (*Tectona grandis* LF) in Peru, the study was carried out with the objective of generating technical information on the characteristics of the artificial drying of 33-year-old teak wood, based on the drying of eight loads of wood (consisting of 60 boards 25 mm thick x 150 mm wide and 1000 mm long) in a pilot conventional drying chamber, using the moderate program (drying potential of 3.5) of the Agreement Board from Cartagena. The variation in the height of the tree of the percentage of heartwood, eccentricity of the medulla, microscopic characteristics, density, contraction and content of extractives of the wood were evaluated, to establish the differences of the wood in two levels of tree height, <3.5 m (base) and > 3.5 m (top), analyzing the effect of two initial moisture levels on drying time and speed, as well as the effect of air speed on electricity consumption of conventional drying, and the drying behavior of teak wood. It was determined that the eccentricity, density, contraction and the percentage of extractives showed in general a tendency to decrease significantly from level b (close to the base) towards the middle height of the tree (m) and increase to higher height or topo (t) without to overcome the base. The teak wood from the base (B <3.5 m), and the wood from the mole (T > 3.5 m) of the height of the tree, did not significantly influence the time, rate, and quality of drying of timber. In the air drying from the initial moisture in green to 36% moisture, the Pearson correlation was positive linear between the drying rate of the free water with the temperature and the air speed, and negative linear with the relative moisture of the air, precipitation, and drying time. The artificial drying time of the wood showed a significant direct relationship with the initial moisture level (green wood and in the PSF) and inverse with the air speed (2.5 m s⁻¹ and 3.5 m s⁻¹). The drying rate showed a significant direct relationship with the presence of free water and higher air speed. The energy consumption for the evaporation of free water was significantly lower than for the evaporation of hygroscopic water, increasing at higher initial moisture and at lower air velocity. Teak wood presented incidence of warping defects, which do not compromise its use for the elaboration of solid wood products.

Keywords: Hardwood. Pre air dried. Conventional drying. Airspeed. Energy consumption.

RESUMEN

Dado el creciente incremento de las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. F.) en el Perú, se realizó el estudio con el objetivo de generar información técnica de las características en el secado artificial de la madera de teca de 33 años, en base al secado de ocho cargas de madera (constituidas por 60 tablas de 25 mm espesor x 150 mm ancho y 1000 mm de longitud) en una cámara de secado convencional piloto, empleándose el programa tipo moderado (potencial de secado de 3,5) de la Junta del Acuerdo de Cartagena. Fueron evaluadas la variación en la altura del árbol del porcentaje de duramen, excentricidad de la medula, características microscópicas, densidad, contracción y contenido de extractivos de la madera, para establecer las diferencias de la madera en dos niveles de altura del árbol, < a 3,5 m (base) y > a 3,5 m (topo), analizándose el efecto de dos niveles de humedad inicial en el tiempo y velocidad de secado, así como el efecto de la velocidad del aire en el consumo de energía eléctrica del secado convencional y el comportamiento de secado de la madera de teca. Se determinó que la excentricidad, la densidad, la contracción y el porcentaje de extractivos mostraron en general tendencia a disminuir significativamente del nivel b (cercana a la base) hacia la media altura del árbol (m) e incrementar a mayor altura o topo (t) sin llegar a superar al de la base. La madera de teca procedente de la base ($B \leq 3,5$ m), y la madera procedente de topo ($T \geq 3,5$ m) de la altura del árbol, no influyeron significativamente en el tiempo, tasa y calidad de secado de la madera. En el secado al aire de la humedad inicial en verde al 36% de humedad, la correlación de Pearson fue lineal positiva entre la tasa de secado del agua libre con la temperatura y la velocidad del aire, y lineal negativa con la Humedad relativa del aire, precipitación y tiempo de secado. El tiempo de secado artificial de la madera mostro una relacion directa significativa con el nivel humedad inicial (madera verde y en el PSF) e inversa con la velocidad del aire ($2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y de $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). La tasa de secado mostró una relación directa significativa con la presencia del agua libre y mayor velocidad del aire. El consumo energía para la evaporación del agua libre fue significativamente menor que para la evaporación del agua higroscópica, incrementándose a mayor humedad inicial y a menor velocidad de aire. La madera de teca presento incidencia de defectos de alabeo, los cuales no comprometen su uso para la elaboración de productos solidos de madera.

Palabras clave: Madera dura. Pre secado al aire. Secado convencional. Velocidad del aire. Consumo de energía.

LISTA DE FIGURA

FIGURA 1 - CALIDAD DE TROZAS PARA USO INDUSTRIAL EN ARBOL PLUS DE TECA (A) Y EN ARBOL DE TECA SIN MEJORAMIENTO GENETICO (B).....	40
FIGURA 2 - SECUENCIA PARA EL DESARROLLO DEL SECADO AL AIRE Y ARTIFICIAL Y DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERISTICAS INHERENTES A LA MADERA DE TECA.....	58
FIGURA 3 - SELECCION, TUMBADO, TROZADO Y TRANSPORTE DE TROZAS DE TECA.	60
FIGURA 4 - VOLUMEN PROMEDIO DE TROZAS DE B Y T DE CINCO ARBOLES DE TECA (<i>Tectona grandis</i>) DE 33 AÑOS DE PERU POR POSICIÓN LONGITUDINAL Y EXTRACCIÓN.	61
FIGURA 5 - TOCONES DE TRES NIVELES DE ALTURA DE CINCO ARBOLES DE TECA	62
FIGURA 6 - CARACTERISTICAS DE LA CARGA DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> PARA EL SECADO AL AIRE LIBRE Y CONVENCIONAL.....	66
FIGURA 7 - MUESTRAS DE HUMEDAD INICIAL Y CONTROL DE PROCESO....	67
FIGURA 8 - SECADO AL AIRE LIBRE DE CARGAS DE MADERA DE TECA.	68
FIGURA 9 - CAMARA DE SECADO Y SISTEMAS DE CONTROL UTILIZADA PARA SECADO DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	69
FIGURA 10 -UBICACION DE LA CARGA DE MADERA EN CAMARA PARA EL SECADO DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	71
FIGURA 11 -PROBETAS PARA DETERMINAR HUMEDAD FINAL (A), GRADIENTE DE HUMEDAD (B) Y TENSION DE SECADO (C) DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	76
FIGURA 12 - TENDENCIA DEL PORCENTAJE PROMEDIO DE CORTEZA, ALBURA Y DURAMEN EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL FUSTE de <i>Tectona grandis</i> de 33 años.....	79
FIGURA 13 -FIBRA, LUMEN Y POROSIDAD DE LA MADERA DE TECA DE 33 AÑOS.....	82

FIGURA 14 - TENDENCIA DE LA DENSIDAD BASICA, ANHIDRA Y SATURADA DE LA <i>Tectona grandis</i> de 33 años del Perú.....	87
FIGURA 15 - TENDENCIA DE LAS CONTRACCIONES TOTALES DE LA MADERA DE LA <i>Tectona grandis</i> de 33 años del Perú.....	90
FIGURA 16 - CURVA DEL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS POR POSICION RADIAL Y EN TRES NIVELES DE ALTURA.....	94
FIGURA 17 - CURVAS DEL SECADO AL AIRE DE CUATRO CARGAS DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> de 33 años DEL PERÚ	97
FIGURA 18 - CARGA DE MADERA N° 7 DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ AL TERMINO DEL PERIODO DE SECADO AIRE.....	98
FIGURA 19 - ANOVA DE LA HUMEDAD INICIAL EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LAS MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ.	100
FIGURA 20 - TENDENCIA Y SIGNIFICACION DEL TIEMPO DE SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ POR EFECTO DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.	102
FIGURA 21 - CURVAS DEL SECADO ARTIFICIAL DE MADERA VERDE AL 10% DE HUMEDAD DE CUATRO CARGAS DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> de 33 años DEL PERÚ.....	105
FIGURA 22 - CURVAS DEL SECADO ARTIFICIAL DESDE EL 35% AL 10% DE HUMEDAD DE CUATRO CARGAS DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> de 33 años DEL PERÚ.....	106
FIGURA 23 - EFECTO DEL TIPO DE AGUA Y LA VELOCIDAD DEL AIRE EN LA TASA DE SECADO DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> de 33 años DEL PERÚ.....	107
FIGURA 24 - CONSUMO DE ENERGIA POR EFECTO DEL TIPO DE AGUA EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS - PERÚ.....	111
FIGURA 25 - CONSUMO DE ENERGIA DEL AGUA LIBRE POR EFECTO DE DOS VELOCIDADES DE AIRE EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS - PERÚ.....	112
FIGURA 26 - CONSUMO DE ENERGIA TOTAL POR PORCENTAJE DE AGUA EXTRAIDA EN DOS CONDICIONES DE HUMEDAD INICIAL EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS - PERÚ.....	115

FIGURA 27 -MEDICIÓN DE LA HUMEDAD FINAL CON DETECTORES PORTATILES DE PINES Y CONTACTO EN MADERA SECA ARTIFICIALMENTE DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS - PERÚ.	117
FIGURA 28 -PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL DE MUESTRAS DE CONTROL Y DE MADERAS SECAS DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA DE 33 AÑOS DEL PERÚ.....	118
FIGURA 29 - TENSIONES DE SECADO EN MADERA DE TECA DE OCHO CARGAS DE MADERA POR SECADO ARTIFICIAL.	122
FIGURA 30 -MADERA DE TECA DE 33 AÑOS DEL PERÚ SIN DEFECTOS DE GRIETAS EN EXTREMOS, CARAS Y COLAPSO VISIBLE AL TERMINO DEL SECADO ARTIFICIAL.....	124
FIGURA 31 -DEFECTOS DE ACANALADO Y COMBADO OBSERVADOS EN MADERA DE TECA DE 33 AÑOS DEL PERÚ AL TERMINO DEL SECADO ARTIFICIAL.....	126

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 -	VOLUMENES DE TECA EN TROZA PROVENIENTES DE AMERICA LATINA PARA KANDLA - INDIA (2009-2010).	25
TABLA 2 -	AREA DE PLANTACIONES DE TECA EN AMERICA LATINA (1995 - 2010).	26
TABLA 3 -	SUPERFICIE REFORESTADA Y POR REFORESTAR DEL PERU - AÑO 2017.	27
TABLA 4 -	PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION.	57
TABLA 6 -	VOLUMEN DE MADERA DE LAS TROZAS DE B Y T DE 20 ARBOLES APROVECHADOS EN CUATRO EXTRACCIONES.	61
TABLA 7 -	CONDICIONES DE SECADO DE LAS ETAPAS DEL PROCESO Y PROGRAMA DE SECADO MODERADO DE LA JUNAC PARA EL SECADO DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	72
TABLA 8 -	DISEÑO EXPERIMENTAL.	77
TABLA 9 -	PORCENTAJE PROMEDIO DE DURAMEN, ALBURA Y CORTEZA EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL DE <i>Tectona grandis</i> – PLANTACIÓN DE 33 AÑOS.	78
TABLA 10 -	EXCENRICIDAD PROMEDIO EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ÁRBOL DE <i>Tectona grandis</i> . DE UNA PLANTACIÓN DE 33 AÑOS DEL PERÚ.	80
TABLA 11 -	CARACTERISTICAS ANATOMICAS MICROSCOPICAS DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS EN PERÚ.	83
TABLA 12 -	DENSIDAD PROMEDIO DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL DE 33 AÑOS DE PERÚ.	86
TABLA 13 -	CONTRACCIONES DE LA MADERA EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DE PERÚ.	88
TABLA 14 -	CONTRACCION PARCIAL PROMEDIO DE 160 TABLAS DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA EN SECADO ARTIFICIAL AL 10% DE HUMEDAD.	91
TABLA 15 -	PROMEDIO DE EXTRACTIVOS Y COEFICIENTE DE VARIACION DE TRES POSICIONES RADIALES Y LONGITUDINALES DE CINCO ARBOLES DE TECA DE PERÚ.	92

TABLA 16 - CARACTERISTICAS DEL CLIMA DURANTE EL SECADO AL AIRE HASTA EL PSF DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ.....	95
TABLA 17 - TIEMPO Y TASA DE SECADO DEL AGUA LIBRE EN SECADO AL AIRE DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DE PERÚ.....	96
TABLA 18 - HUMEDAD INICIAL DEL SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DE PERÚ.....	99
TABLA 19 - TIEMPO DE SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA.....	101
TABLA 20 - TASA DE SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ POR EFECTO DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.....	104
TABLA 21 - CONSUMO DE ENERGIA PROMEDIO DEL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ CON HUMEDAD INICIAL VERDE.....	110
TABLA 22 - CONSUMO DE ENERGIA DEL SECADO ARTIFICIAL DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS DEL PERÚ CON HUMEDAD INICIAL EN EL PSF.....	114
TABLA 23 - HUMEDAD FINAL PROMEDIO ESTIMADO Y POR MÉTODO DE LA ESTUFA AL TERMINO DEL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 33 AÑOS - PERÚ.....	116
TABLA 24 - GRADIENTE DE HUMEDAD DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA EN SECADO ARTIFICIAL- COEFICIENTE DE VARIACION..	120
TABLA 25 - PROMEDIO DE GRADIENTE DE HUMEDAD DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA EN SECADO ARTIFICIAL.....	121
TABLA 26 - DEFECTOS DE SECADO EN EL SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA CON LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.....	127

LISTA DE ABREVIATURAS

m.s.n.m.	- Metros sobre el nivel del mar.
B	- Madera de base menor a 3,5 m de la altura del fuste.
T	- Madera de topo mayor a 3,5 m de la altura del fuste.
b, m y t	- Niveles de altura del fuste 0,25, 3,75 y 7,25 m respectivamente.
V1	- Velocidad del aire en la cámara de secado de $2,5 \text{ m s}^{-1}$.
V2	- Velocidad del aire en la cámara de secado de $3,5 \text{ m s}^{-1}$.
H1	- Humedad de la madera en condición de madera verde.
H2	- Humedad de la madera cercana al PSF.
PSF	- Punto de saturación de fibra.
NTP	- Norma Técnica Peruana.
kW h	- Consumo de energía en Kilovatio hora.
kW h m^{-3}	- Consumo de energía en Kilovatio hora por metro cubico.
$\text{kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$	- Consumo de energía en Kilovatio hora por metro cubico y por porcentaje de agua extraída de la madera.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	21
1.1	CONTEXTO Y PROBLEMA.....	21
1.2	OBJETIVOS.....	22
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	22
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3	JUSTIFICACIÓN	23
2	REVISIÓN DE LITERATURA	24
2.1	IMPORTANCIA DE LA TECA.....	24
2.2	LA MADERA DE TECA.....	28
2.3	CARACTERISTICAS DEL SECADO DE LA MADERA DE TECA	29
2.4	BASES DEL SECADO DE LA MADERA.....	30
2.4.1	Tipos de agua de la madera.....	30
2.4.1.1	Agua libre.....	30
2.4.1.2	Agua ligada	31
2.4.2	Fuerzas que causan el flujo del agua en la madera.....	31
2.4.2.1	Capilaridad.....	32
2.4.2.2	Difusión	32
2.4.2.3	Cinética del secado	34
2.5	SECADO AL AIRE LIBRE (PRE-SECADO)	35
2.6	SECADO CONVENCIONAL.....	37
2.7	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SECADO	39
2.7.1	Inherentes a la madera	39
2.7.1.1	Estructura anatómica	39
2.7.1.2	Humedad de la madera.....	42
2.7.1.3	Densidad básica.....	43
2.7.1.4	Contracción de la madera	44
2.7.1.5	Extractivos	45
2.7.1.6	Espesor de la madera	45
2.7.2	Inherentes al ambiente.....	47
2.7.2.1	Temperatura.....	47
2.7.2.2	Humedad relativa	48
2.7.2.3	Velocidad del aire.....	49
2.8	TASA DE SECADO.....	50

2.9	DEFECTOS DE SECADO.....	51
2.9.1	Colapso.....	52
2.9.2	Alabeos.....	52
2.9.3	Grietas y rajaduras.....	54
2.10	CONSUMO DE ENERGIA.....	55
3	MATERIAL Y METODOS.	57
3.1	LOCALIZACION DE LA PLANTACION EXPERIMENTAL.....	57
3.2	PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION.....	57
3.3	PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DEL MATERIAL.....	59
3.4	ALBURA Y DURAMEN Y EXCENTRICIDAD DE MEDULA.....	62
3.5	CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.....	63
3.6	DENSIDAD, CONTRACCIÓN TOTAL Y PARCIAL DE LA MADERA.....	64
3.7	DETERMINACIÓN DE EXTRACTIVOS.....	64
3.8	CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA DE MADERA PARA SECADO.....	66
3.9	PRESECADO DE LA MADERA AL AIRE LIBRE.....	68
3.10	CARACTERISTICAS DE LA CAMARA DE SECADO UTILIZADA.....	69
3.11	PROCESO DE SECADO CONVENCIONAL.....	70
3.11.1	Preparación de la carga de madera.....	70
3.11.2	Acondicionamiento inicial.....	71
3.11.3	Secado propiamente dicho.....	72
3.11.4	Igualación de la humedad entre muestras de control.....	73
3.11.5	Acondicionamiento final.....	73
3.12	EVALUACION DEL PROCESO DE SECADO.....	73
3.12.1	Humedad inicial.....	73
3.12.2	Tiempo de secado.....	74
3.12.3	Tasa de secado.....	74
3.12.4	Consumo de energía eléctrica.....	75
3.13	DEFECTOS DE SECADO.....	76
3.13.1	Contenido de humedad final.....	76
3.13.2	Gradiente de humedad (GH).....	76
3.13.3	Tensiones de secado.....	77
3.13.4	Alabeo de la madera.....	77
3.14	ANALISIS ESTADISTICO.....	77

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
4.1	ALBURA Y DURAMEN Y EXCENTRICIDAD DE MEDULA.....	78
4.2	ANATOMIA Y PROPIEDADES DE LA MADERA	82
4.2.1	Características anatómicas	82
4.2.2	Densidad, contracción total y parcial de la madera de teca	85
4.2.3	Determinación de extractivos.	92
4.3	EVALUACION DEL PROCESO DE SECADO.....	95
4.3.1	Secado natural	95
4.3.2	Secado artificial.....	99
4.3.2.1	Humedad inicial de las cargas de madera.	99
4.3.2.2	Tiempo de secado artificial de las cargas de madera.	101
4.3.2.3	Tasa de secado durante el proceso de secado artificial	104
4.3.2.4	Consumo de energía.....	110
4.3.2.5	Defectos de secado.....	116
4.3.2.5.1	Humedad final de las cargas de madera	116
4.3.2.5.2	Gradiente de humedad.....	119
4.3.2.5.3	Tensiones de secado	122
4.3.2.5.4	Colapso, Grietas en extremos y caras de tablas.	124
4.3.2.5.5	Alabeos.	126
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
	REFERENCIAS.....	130
	APENDICE 1: IDENTIFICACION DE LA TECA (<i>Tectona grandis</i> L.f.). ...	144
	APENDICE 2: VOLUMEN DE TROZAS DE ARBOLES DE TECA.....	145
	APENDICE 3: ALBURA Y DURAMEN DE ARBOLES DE TECA.	150
	APENDICE 4: EXCENTRICIDAD DE ARBOLES DE TECA.	151
	APENDICE 5: MEDICIONES MICROSCOPICAS MADERA DE TECA. ..	153
	APENDICE 6: DENSIDAD, CONTRACCION TOTAL Y PARCIAL.....	166
	APENDICE 7: EXTRACTIVOS DE LA MADERA DE TECA.....	179
	APENDICE 8: SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE TECA.....	181
	APENDICE 9: SECADO AL AIRE DE LA MADERA DE TECA.	197
	APENDICE 10: HUMEDAD INICIAL DE LA MADERA DE TECA.	199
	APENDICE 11: TIEMPO TOTAL DE SECADO ARTIFICIAL.	200
	APENDICE 12: TASA DE SECADO - MADERA DE TECA.....	201

APENDICE 13: CONSUMO DE ENERGIA DEL SECADO ARTIFICIAL.	209
APENDICE 14: HUMEDAD FINAL DE LA MADERA DE TECA.	220
APENDICE 15: GRADIENTE DE HUMEDAD - MADERA DE TECA	221
APENDICE 16: DEFECTOS DE ALABEO DE LA MADERA DE TECA.	225

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO Y PROBLEMA

Si bien el Perú posee 67 millones de hectáreas de bosques naturales no se ve reflejado en las exportaciones de productos forestales, las cuales llegan al 0,3 % del total de exportaciones y con una balanza comercial forestal negativa de más de 190 millones de dólares en el año 2017 (Ministerio de comercio exterior y turismo, MINCETUR, 2018).

Por ello el Plan Nacional de Reforestación del Perú pretende reforestar 864 500 has. al 2024, y empresas del sector privado como Reforesta Perú SAC, *Amazon Trading Corporation*, Reforestadora Amazónica S.A., Agroforestal Casa Blanca y Reforestadora Bánati Bosque SAC, vienen trabajando en el desarrollo de plantaciones forestales con fines comerciales a pequeña escala desde el 2007, destacando entre las especies forestales empleadas la Teca (*Tectona grandis*) con un crecimiento de 24 m³/ha /año (*Global Green Growth Institute*, GGGI, 2015; Servicio Nacional Forestal y de Fauna silvestre, SERFOR, 2014; Instituto Nacional de Recursos Naturales, INRENA, 2005).

La madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) tiene gran demanda en el mercado mundial, por sus propiedades mecánicas, estabilidad dimensional y durabilidad natural; siendo utilizada en la construcción de barcos, producción de muebles y de objetos decorativos de lujo. (CAMINO; MORALES, 2013; PELISSARI et al., 2014)

La Industria de la madera en el Perú tiene deficiencias en el proceso de secado y la comercialización de madera aserrada, entre ellas la no estandarización en medidas, calidad y humedad final, induciendo a largos plazos de entrega de la madera seca (Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera, CITE MADERA, 2018).

La búsqueda de mayor eficiencia casi siempre significa una reducción en el tiempo de secado, siendo los factores que condicionan la eficiencia los relacionados con la preparación de la madera, la calidad deseada, el tipo de horno, el control del proceso el secado, el programa de secado y los equipos utilizados, siendo muy importantes los que definen la velocidad del aire y su distribución a través de las pilas para el éxito de la operación (JANKOWSKY, 2000; KLITZKE; BATISTA, 2008).

En este contexto en la presente investigación se analizaron las características el secado artificial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) de la región Junín del Perú, de acuerdo con las siguientes hipótesis:

- Los efectos de la posición de la madera en la altura del árbol en el tiempo, tasa y presencia de defectos de secado de la madera no difieren significativamente.
- Los efectos del nivel inicial de humedad de la madera en el tiempo, tasa de secado y presencia de defectos de secado difieren significativamente.
- Los efectos del valor de la velocidad del aire en el tiempo, tasa de secado y presencia de defectos de secado difieren significativamente.
- Los efectos del nivel de humedad inicial y del valor de la velocidad del aire en el consumo de energía en el secado artificial de la madera difieren significativamente.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad en el secado convencional de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) de 33 años de la región Junín – Perú.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la variación en la altura del árbol del porcentaje de duramen, excentricidad de la medula, características microscópicas, densidad, contracción y contenido de extractivos de la madera de teca.
- Evaluar el efecto del presecado al aire libre al PSF y la humedad saturada en el tiempo y velocidad de secado convencional de la madera de teca.
- Analizar el efecto de la velocidad del aire en el consumo de energía eléctrica del secado convencional de la madera de teca.
- Evaluar efecto de la posición de la madera, humedad inicial y velocidad del aire en la presencia de los defectos de secado de la madera de teca con el programa tipo moderado de la JUNAC.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la elaboración de productos de madera el proceso de secado consume más tiempo y energía, la variabilidad de la estructura anatómica y propiedades de la madera sumado a susceptibilidad a desarrollar defectos de secado, imponen limitaciones en el desarrollo de los procedimientos de secado estándar (SIMPSON, 1991).

CITE madera, (2018) identificó las barreras y oportunidades para el comercio de los productos de la Industria de la madera en el Perú, observando que a nivel de compradores institucionales como arquitectos, constructores, diseñadores y la Micro, mediana y pequeña empresa (MIPYME), existe desconocimiento sobre la madera, especies alternativas, variedad de uso y aplicación, y más aún la compra de madera generalmente húmeda genera problemas de calidad en sus productos. Concluyendo que la comercialización de madera aserrada como materia prima para la industria secundaria no es estandarizada en cuanto a medidas, calidad y condición de humedad, que induce a largos plazos de entrega si se quiere comprar madera seca.

Por ello en la presente investigación se caracterizó el secado convencional de la madera de teca proveniente de una plantación de 33 años, bajo tres condiciones relacionadas a la ubicación de la madera en el árbol, el contenido de humedad inicial y la velocidad de aire en el secado. Asimismo, se describió las características macro y microscópicas, se determinó las propiedades físicas y el contenido de extractivos de la madera.

Los resultados permitirán un mejor aprovechamiento de la madera de teca y la apertura de mercados a la industria de la madera, y específicamente en el logro de las recomendaciones del CITE madera (2018), en relación a la promoción de la estandarización de la producción y comercialización de la madera aserrada en el mercado local, en cuanto a dimensiones – espesor, ancho y largo, condición de humedad (seca al horno), y calidad; para mejorar los factores de competitividad frente a la madera importada (madera pre-dimensionada y seca al horno), homogenizando la oferta de la madera nacional para propiciar el incremento de la calidad en los procesos de segunda transformación en las MIPYME.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DE LA TECA

La Teca (*Tectona grandis* L. f.) pertenece a la familia *Lamiaceae*, orden Lamiales, Clase *Dicotyledonae*, subphylum *Angiospermae* y filum *Spermatophyta*. La especie es conocida ampliamente como Teca en la mayoría de los países donde se ha introducido. En la India, se le conoce como *sagun*, *sagon*, *saguan*, *skhu*, *toak*, *shilp tru*, *Indian oak*. Otros nombres son: teck (Francia, India, Inglaterra y Holanda); *jati*, *deleg* y *kulidawa* (Indonesia); *kyun* (Birmania); *sak* y *mai-sak* (Laos y Tailandia), teca de Rangún, *rasawa*. La especie es originaria del sureste asiático (Burma = Birmania, ahora Myanmar, Tailandia y de la India, Malasia, Java, Indochina, La República Democrática Popular Laos (WEAVER, 1993; FONSECA, 2003).

El suministro actual de teca comercial según Keogh (2009) se origina en los bosques naturales de Myanmar y plantaciones existentes. Myanmar tiene alrededor de 16 millones de ha. de la especie, mientras que el área total de plantaciones en todo el mundo es del orden de 2,0 a 6,0 millones de ha. La cosecha total de la teca comercial fue alrededor de 1,5 o 2 millones de m³ en 1995; los bosques naturales suministraron alrededor de 0,5 millones de m³ de este total. No obstante, el total del volumen comercial de las plantaciones de madera dura tropical de alta calidad es bajo, hace solo una pequeña contribución a la madera dura que en general demanda 90 millones de m³. Parece que tanto los bosques naturales como las plantaciones de teca en su conjunto están siendo explotados en una base no sostenible.

Según Keogh (2009) y Camino y Morales (2013) la teca constituye aproximadamente el 74% del área de plantaciones de madera dura tropical, es la especie de madera de alto valor más plantada en el mundo, otras especies son rosewood (*Dalbergia*), que cubre alrededor del 21% y las caobas y otras especies, que cubren el área restante.

La India es uno de los principales consumidores de madera en la región Asia-Pacífico, en la actualidad es el mercado internacional de teca, y el principal mercado para América Latina como se indica en la TABLA 1. Antes de descubrirse el potencial de la teca como actividad de inversión y se incrementara la demanda en Asia debido a las restricciones allí impuestas al aprovechamiento de los bosques

naturales de la especie, en América Latina la presencia de la especie era insignificante. El inicio de la reforestación comercial en América Latina y el Caribe (ALC) fue lento, debido a la abundancia de especies duras tropicales de alto valor, como la caoba y el cedro, en la Selva maya (Belice, México, Guatemala) y en América del Sur (Brasil, Bolivia y Perú especialmente) (CAMINO; MORALES, 2013).

TABLA 1 - VOLUMENES DE TECA EN TROZA PROVENIENTES DE AMERICA LATINA PARA KANDLA - INDIA (2009-2010).

PAIS	VOLUMEN (m ³)
ECUADOR	43 943
PANAMA	13 353
COSTA RICA	13 334
GUATEMALA	4 344
EL SALVADOR	4 253
URUGUAY	2 254
BRASIL	1 031
TOTAL	82 512

FUENTE: Camino y Morales (2013).

La importancia creciente de las plantaciones en la producción de teca parece indicar perspectivas diferentes para otras especies valiosas de frondosas en lo que respecta al futuro comercial de la producción de madera (PANDEY; BROWN, 2000). Para Calvo (2000) tradicionalmente las especies de madera dura han sido cortadas a una tasa mayor que la permitida para su recuperación natural. Muchas de las especies, no cuentan con estudios silviculturales, presentando problemas de regeneración y de sobreexplotación. Una de ellas es la caoba (*Swietenia macrophylla King*). En Centroamérica, debido a la sobreexplotación, ya no existen bases para un manejo sostenible de la especie.

En toda América Latina, no hay prácticamente oferta de madera proveniente de plantaciones de caoba, tanto por la baja velocidad de crecimiento como por problemas fitosanitarios de la especie (NÁJERA, 2010). En el Perú, la caoba y el cedro se encuentran registrados en las listas II y III de la CITES (la lista I incluye especies en peligro de extinción; la lista II incluye especies que podrían estar en peligro de extinción; y la lista III incluye especies sin peligro de extinción pero tienen extracción reglamentada); su aprovechamiento y comercio se

encuentran controlados para evitar su extinción. Así, en el año 1997 se cortaron 89 mil m³ de madera, pero en el 2008, únicamente 4,8 mil m³. Eso muestra la reducción dramática de la oferta en uno de los principales países productores (CAMINO; MORALES, 2013).

La teca se introdujo en Panamá en 1926 con semillas Sri Lanka. Las primeras plantaciones se establecieron en Costa Rica entre 1926 y 1929. Posteriormente las plantaciones en Brasil, Salvador, Honduras, Bolivia, Ecuador, Jamaica y Perú (FONSECA, 2003).

De acuerdo con Camino y Morales (2013) Brasil tiene mayor potencial de reforestación con teca por su extensión territorial, aunque los factores biofísicos limitantes pueden afectar el crecimiento de la teca, siempre existirá una superficie apta. Colombia, Perú y Ecuador presentan potencial por sus condiciones climáticas y existencia de suelos apropiados. De ellos, Colombia y Perú aún no han empezado a reforestar a mayor escala como se muestra en la TABLA 2.

TABLA 2 - AREA DE PLANTACIONES DE TECA EN AMERICA LATINA (1995 - 2010).

PAIS	SUPERFICIE 1995 (ha)	SUPERFICIE 2010 (ha)
BRASIL	-	65 000
PANAMA	3 900	55 000
ECUADOR	1 000	45 000
COSTA RICA	14 040	31 500
ARGENTINA	-	10 000
EL SALVADOR	2 010	9 760
TRINIDAD Y TOBAGO	7 500	9 000
NICARAGUA	630	7 960
CUBA	-	6 280
GUATEMALA	1 710	3 000
PERU	-	150
BELICE	500	100
JAMAICA	60	40
COLOMBIA	1 710	-
TOTAL	33 060	242790

FUENTE: Camino y Morales (2013).

Según Mendiola et al. (2016) y Toledo (2016) el Perú posee un gran potencial forestal que debería ser aprovechado, no solo como madera sino como productos con valor agregado. Actualmente genera 27,72 dólares por cada hectárea (\$/ha) forestal de su territorio disponible, mientras que Chile produce 427,51. (\$/ha).

Según CIFOR, (2017) en el Perú históricamente el sector de plantaciones forestales no ha representado un aporte importante al desarrollo nacional. Desde el año 2011, cuando se promulga la Ley Forestal y de Fauna Silvestre 29763 vigente, se están dando pasos concretos para que las plantaciones forestales se conviertan en una apuesta para el desarrollo forestal del país. La empresa privada ha generado avances en biotecnología y producción de clones de especies como topa (*Ochroma pyramidale*), bolaina (*Guazuma crinita*), pashaco (*Macrolobium acaciaefolium*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y teca (*Tectona grandis*).

De acuerdo con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna silvestre (SERFOR 2019), en el Perú la superficie de tierras aptas para reforestación es de 10 500 000 ha de las cuales se ha reforestado 1 069 768 ha que representan el 10,9 % con respecto al total de tierras aptas para reforestación, quedando un potencial por reforestar de 9 436 348 ha como se indica en la TABLA 3.

TABLA 3 - SUPERFICIE REFORESTADA Y POR REFORESTAR DEL PERU - AÑO 2017.

PERÚ - SUPERFICIE TOTAL			
TERRITORIAL (ha)	APTAS PARA REFORESTACIÓN (ha)	REFORESTADA HASTA EL 2017 (ha)	POR REFORESTAR (ha)
128 521 560	10 500 000	1 069 768	9 436 348

FUENTE: Servicio Nacional Forestal y de Fauna silvestre (2017).

Las observaciones en bosques nativos y plantaciones muestran que están siendo explotados de manera insostenible, las nuevas plantaciones de teca en un corto y mediano plazo no generaran un sobre abastecimiento de madera. La teca satisface unos 3 millones de un total de 90 millones de m³ de la demanda total para maderas duras tropicales de alto valor, la mayor parte de las maderas duras provienen de fuentes no sostenibles. Se estima que el déficit total de maderas duras tropicales de calidad superior será de 100 millones de m³ al 2050. La madera de teca proveniente de plantaciones tiene un gran potencial en el mercado, al existir una alta demanda en países de gran crecimiento económico y poblacional, como la India, China y Vietnam (CAMINO; MORALES, 2013).

2.2 LA MADERA DE TECA

Camino y Morales (2013) afirman que la madera de teca es una especie tropical de alto valor: fuerte, liviana, durable, estable, de buena trabajabilidad, resistente a productos químicos y a la intemperie; es empleada en muebles de calidad, elementos estructurales, chapas, pisos, fabricación de puentes, embarcaderos y embarcaciones.

El mismo autor señala que la madera de teca posee una albura de color amarillo claro y duramen de color café oscuro con tonos verdosos, olor no característico y sabor amargo. Brillo alto, grano recto, textura media a fina y oleosa o cerosa al tacto. Veteado marcado con arcos superpuestos. Liviana, estable, buena trabajabilidad, resistente a productos químicos, a la humedad y a la intemperie. Las bondades de la madera de teca radican principalmente en el duramen, tiene resistencia a insectos y hongos, posee un aceite antiséptico que la protege del ataque de diversos organismos.

Muñoz y Moreno (2013) señalan que la proporción de duramen de 33 a 37% se reporta para árboles de 10 años en la región seca de Costa Rica, aumentando conforme avanza la edad a 55% a los 30 años. El coeficiente anisotrópico para madera de plantación de 5 a 28 años se determinó de 1,8 a 2,3 respectivamente.

Para Bhat, Priya y Rugmini (2001) la longitud de la fibra, el ángulo microfibrilar, el diámetro de los vasos y la anchura del anillo parecen ser los mejores indicadores anatómicos de la demarcación de la edad entre la madera juvenil y madura. Las cifras proyectadas para la proporción de madera juvenil en la teca cultivada en plantación a la altura del pecho son del 80-100% y del 25% a las edades de 20 y 60 años, respectivamente.

Torres (1999), señala que la rotación de las plantaciones de teca intensivamente explotadas a los 20 a 25 años es determinante en la calidad y aptitud final de la madera; que, por la proporción de madera juvenil, muestra en muchos casos características inferiores a la madera adulta.

Lima et al. (2011) encontraron que la madera de árboles de teca de plantaciones de 31 años del bosque estatal de Pederneiras, presentaron fibras más largas con mayor espesor de pared, así como una menor frecuencia de vasos.

Estos resultados implican una mayor densidad de la madera, que indica una mejor calidad de la madera.

Rivero y Moya (2006) determinaron una densidad básica de $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ para la madera de teca de ocho años en Bolivia, afirmando que la densidad básica alcanza valores de $0,61 \text{ g cm}^{-3}$ en plantaciones de 30 años en Costa Rica.

Arruda (2013) evaluó árboles de teca de 09, 11 a 13 años en plantaciones de Cáceres Mato Grosso, determinando la densidad básica de la madera con valores de $0,401$ a $0,573 \text{ g cm}^{-3}$ y el porcentaje de extractivos de 12,56% a 16,81%, correspondiéndole los mayores valores a la madera de 13 años.

Thulasidas y Bhat (2007) determinaron el porcentaje de extractivos en madera de árboles de teca de plantaciones de 35 años de Nilambur, Kerala. Encontrando valores de 12,44% a 15,98%. Mientras que Muñoz, Saenz y Rueda (2011) determinaron en plantaciones de teca de Costa Rica un 11,34 % en árboles de 28 años.

Blanco et al. (2014) y Trugilho et al. (2006) mencionan que las tensiones de crecimiento inducen en la madera el desarrollo de defectos tales como grietas y deformaciones en los procesos de aserrado y secado. Así, el efecto negativo causado por la tensión de crecimiento en el eucalipto la limita en la producción de madera aserrada de calidad.

2.3 CARACTERISTICAS DEL SECADO DE LA MADERA DE TECA

Betancurt, Herrera y Mejia (2000) afirman que, en condiciones de secado natural, la humedad de la madera de teca de una plantación de 09 años del municipio de Puerto Libertador – Córdoba, disminuyó del 88,6% al 22% en 22 días, alcanzando el 13,7% en 57 días. En secado artificial la humedad de la madera de teca disminuyó del 100% al 13%, en 4, 4,5 y 5,3 días, con velocidades de secado de 0,83, 0,80 y 0,68 % de humedad / hora, con programas de secado severo, moderado y suave respectivamente, presentando mejor calidad con el secado al aire libre y con el programa de secado suave. Mientras con los programas de secado moderado y fuerte indujeron la rápida disminución del contenido de humedad en las capas externas, generando tensiones de secado detectadas

mediante la prueba del tenedor que produjeron endurecimiento superficial, grietas internas y colapso.

Alcoba (2009) señala que antes de iniciar el secado de madera de teca procedente de plantaciones del Valle de Sacta - Bolivia, el alabeo más prominente fue la encorvadura, seguido del abarquillado, arqueadura y torcedura. Después del secado se evaluaron determinando que el alabeo más dominante es el abarquillado, seguido de la encorvadura, arqueadura y torcedura.

Arruda (2013) menciona que los coeficientes de anisotropía de la madera de teca de árboles de 9, 11 e 13 años del Municipio de Alta Floresta, Mato Grosso, muestran que las contracciones observadas fueron mayores en los árboles, más jóvenes y con menores diámetros, siendo susceptible a los defectos de secado.

Loiola (2015) al secar madera de teca (*Tectona grandis*) de una plantación forestal de 20 años, localizada en el municipio de Cuiabá, Mato Grosso, no encontró manifestaciones de colapso u otros defectos de secado que comprometan su uso en la manufacturación de productos.

2.4 BASES DEL SECADO DE LA MADERA

2.4.1 Tipos de agua de la madera

La humedad en la madera es identificada como sabia, solución con pequeñas cantidades de sustancias minerales y orgánicas, denominadas agua libre y agua higroscópica según su ubicación en la estructura de la madera, cavidad o pared celular respectivamente. Conceptualmente el 30% o PSF (punto de saturación de las fibras) es el punto de transición entre los dos tipos de agua (PRATT, 1974; SIMPSON, 1991; GLASS; ZELINKA, 2010).

2.4.1.1 Agua libre

Agua en estado líquido ubicada en las estructuras (lúmenes) de la madera, dependiendo de la porosidad se encuentra desde un contenido de humedad máximo hasta el PSF. A menor densidad habrá más espacio libre y por tanto más agua libre (SIMPSON, 1991; Mahild Drying Technologies, MDT, 2007).

Al respecto Klitzke (2005) indica que el agua libre en condición verde de la madera se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares. La cantidad de agua está limitada por el volumen poroso de la especie. Uno de los riesgos asociados a la remoción rápida del agua libre a altas temperaturas es el colapso, por lo que es necesario el desarrollo de curvas de secado específicas para cada especie de madera.

En cuanto al secado de la madera Simpson (1991) y Fernández y Conde (2007) señalan que el agua libre es la primera en ser eliminada, siendo sus requerimientos energéticos menores a los del agua higroscópica por estar ligada a la madera por fuerzas capilares, su extracción altera la masa de la madera mas no sus propiedades físico-mecánicas.

2.4.1.2 Agua ligada

Agua en estado líquido que se encuentra adherida a la pared celular por puentes de hidrogeno entre los sitios de sorción o grupos OH de las cadenas de celulosa. Se encuentra entre 0 y el PSF de humedad. Está asociada a la contracción de la madera y durante el secado migra por medio del proceso de difusión. La energía necesaria para evaporar esta agua es mayor que la del agua libre y depende exponencialmente de la humedad final, siendo mayor para humedades más bajas (SIMPSON, 1991; MDT, 2007).

Según Klitzke (2005) por su condición en las paredes celulares y depender su movimiento básicamente de la difusión, la pérdida de humedad después del PSF ocurre con mayor lentitud y más aún cuando está cerca de alcanzar el equilibrio higroscópico (CHEq) con el %HR de la atmosfera circundante. El secado al aire libre de la madera le permite alcanzar el CHEq del lugar donde se realiza el secado, para alcanzar CHEq menores se debe recurrir al secado artificial.

2.4.2 Fuerzas que causan el flujo del agua en la madera

Cuando la humedad se evapora desde la superficie de una madera húmeda, la concentración de la humedad en las capas exteriores es menor que las interiores y la humedad comienza a moverse desde el interior hacia las capas más

secas. Por consideraciones prácticas es suficiente definir que en el secado el movimiento de la humedad es una combinación de flujo capilar y difusión de vapor (MDT, 2007).

En la madera se producen dos tipos de flujo: el movimiento capilar (agua libre) y el movimiento de difusión (vapor). El movimiento capilar se produce encima del punto de saturación de la fibra, y el movimiento de difusión justo debajo de este punto. Durante un proceso de secado, los dos tipos de flujos están estrechamente relacionados y no se puede producir una separación, solo se determina cuál de los dos movimientos predomina (TOMASELLI, 1974; SIAU, 1984).

2.4.2.1 Capilaridad

Según la Ley de Poiseuille el movimiento del agua libre (arriba del PSF) del interior a la superficie a través de la estructura de la madera (capilares), es producido por la diferencia entre las tensiones superficiales de los meniscos de los capilares (KOLLMANN; CÔTÈ, 1968; TOMASELLI, 1974; SIAU, 1984).

La superficie cóncava del agua (menisco) en el capilar, se forma cuando la fuerza de adherencia entre las moléculas del agua y la pared de las células es mayor que las fuerzas de cohesión entre las moléculas del agua, dirigiéndose la fuerza resultante hacia la pared de las células induciendo a la superficie del líquido a adoptar la forma cóncava (MDT, 2007). Al respecto Stamm (1964) señala que el movimiento capilar incrementa con la temperatura, el diámetro de las puntuaciones y la presencia de bolsas de aire en el interior de las células.

2.4.2.2 Difusión

Según Stamm (1964), Tomaselli (1974) y Avramidis (2018) la difusión es causada por un movimiento espontáneo de gases o vapor durante el secado de una presión (concentración) parcial mayor a una menor, ocurriendo simultáneamente la difusión en espacios vacíos y difusión a través de la pared celular.

Para Tomaselli (1974) la Ley de Fick, que rige este tipo de movimiento, no se aplica al caso específico de la madera porque las moléculas de vapor necesitan

un cierto espacio libre para que el flujo se produzca sin turbulencias en los pasajes más estrechos, retrasando el flujo ("difusión impedida").

Asimismo, Siau (1984) señala que en el flujo de fluidos en la madera abajo del punto de saturación de las fibras, ocurre conjuntamente el movimiento del agua higroscópica y de vapor de agua por el fenómeno de difusión en un tipo de transporte conocido como transporte en estado inestable o no constante, por lo que la cantidad de humedad removida de la madera puede ser determinada por la Segunda Ley de Fick. A su vez Tong (1986) afirma que los primeros estudios de difusión de la humedad en la madera durante el secado analizaron la Primera Ley de Fick en diferentes formas, notando que la difusión en la madera cambia con el contenido de humedad y temperatura.

Según Smith y Hashemi (2006), Geankoplis (2006) y Rodríguez (2017) el estado estacionario, en el cual las condiciones permanecen invariables con el tiempo, no se encuentra en materiales de ingeniería. En la mayoría de los casos, se da la difusión en estado no estacionario, donde la concentración de la humedad en cualquier punto del material cambiará con el tiempo.

En concordancia Klitzke (2005), Loiola (2015), Zen (2016) y Avramidis (2018) concluyen que, siendo el fenómeno de difusión en la madera considerado como un flujo en estado no constante, al variar con la gradiente de humedad en el tiempo y en el espacio cuando se seca la madera, la Segunda Ley de Fick es la que mejor expresa el flujo por difusión.

La gradiente de humedad entre las paredes de las células mas externas e internas según Skaar (1988) se desarrolla a medida que la humedad comienza a evaporar de las paredes de las células próximas a la superficie de la madera. Como la madera es higroscópica las paredes celulares más secas de la superficie absorben humedad de las paredes más húmedas, resultando un flujo de agua de las células internas hacia las externas con porcentaje de humedad decreciente.

Al respecto Stamm (1964), Tong (1986), Simpson (1991) y Avramidis (2018) coinciden en señalar que las diferencias en contenido de humedad causan el movimiento del agua ligada a través de las paredes de la célula por difusión, desplazándose de zonas con alto contenido de humedad a zonas de bajo contenido de humedad. Mostrándose la difusión longitudinal 10 a 15 veces más rápida que la difusión lateral (radial o tangencial) aumentando con la temperatura.

Avramidis (2018) afirma que la difusión de la humedad es el factor de control de la velocidad de secado más importante en el secado de la madera, al ser afectada por la estructura de la madera, el gradiente de concentración molecular del agua y por la evolución del perfil de humedad en el tiempo. La comprensión del proceso de difusión mejora en gran medida nuestra comprensión del secado, permitiéndonos desarrollar programas de secado y sistemas de apoyo que mejorarán la calidad del secado de las maderas.

2.4.2.3 Cinética del secado

En el secado en cámaras convencionales se distinguen, en función de la variación de la tasa de secado, tres etapas que determinan las curvas de tendencia característica del secado de la madera, lineal, parabólica y exponencial (SIMPSON, 1991; KLITZKE, 2005).

En la fase inicial de secado, la superficie de la madera esta sobre el PSF, y corresponde al periodo de secado constante del agua libre por flujo capilar, en el cual la tasa de secado ocurre de forma lineal, constante y proporcional a la diferencia de temperatura del aire seco con la temperatura de la superficie de la madera; la temperatura de la superficie saturada se mantiene semejante a la temperatura de bulbo húmedo de la cámara (SIAU, 1984; KLITZKE, 2005).

En la segunda fase de secado, la remoción de fluidos ocurre simultáneamente por fuerzas capilares bastante reducidas y por fuerzas de difusión. En esta etapa la transferencia de calor por convección comienza a no ser significativa, siendo la transferencia de calor por conducción a ocurrir de forma prominente. Debido a que el flujo de fluidos se produce por el fenómeno de la difusión, la velocidad de secado está influenciada por las condiciones termodinámicas del flujo de aire y por las características intrínsecas de la propia madera, ocurriendo la velocidad de secado de manera decreciente, como función parabólica (KLITZKE, 2005; FERNANDEZ; CONDE, 2007).

La tercera etapa de secado tiene lugar con la velocidad de secado aun disminuyendo, la eliminación de la humedad de la madera se realiza solo por fuerzas de difusión y la transferencia de calor se produce casi en su totalidad por

conducción y la velocidad de secado está regulada por las características intrínsecas de la madera (KLITZKE, 2005).

2.5 SECADO AL AIRE LIBRE (PRE-SECADO)

Según Klitzke (2005) y Bergman (2010) el principal propósito del secado al aire es evaporar la cantidad de agua necesaria para su uso, o previo al secado en horno. El secado al aire reduce los costos de energía y los requerimientos de capacidad de horno. Las limitaciones del secado al aire están generalmente asociadas con el control de secado.

Las ventajas del secado al aire previo al secado artificial fueron corroboradas por Ciniglio (1998), al secar madera de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla* de Ribeirão Preto en Sao Paulo, Brasil. Logrando disminuir de 25 a 7 días el secado al horno de la madera de *E. grandis* y de 22 a 8 días la madera de *E. urophylla*.

Fernández y Conde (2007) aseguran que la rentabilidad del proceso, dado el valor de los equipos del horno de secado, exige que los tiempos de secado sean reducidos, resultando favorable reducir el contenido de humedad mediante el secado al aire, desde verde hasta el 30 % ó 25 %, para luego desarrollar el secado artificial hasta la humedad final requerida.

En relación con ello Jankowsky y Santos (2005) comprobaron que la madera de *Eucalyptus grandis* es una especie de difícil secado, con restricciones de flujo capilar y difusión del agua y sin una región de flujo constante en la curva característica de secado que prueba que la madera es impermeable, por lo que recomiendan como procedimiento operativo detener el secado al aire cuando el contenido de humedad alcance el 35%, para obtener un secado en horno convencional más eficiente. Concuerdan con esta recomendación los resultados de Pizzol (2010) al realizar el secado natural de *Eucalyptus grandis* de 34 años del Municipio de Espera Feliz del estado de Minas Gerais por 112 días, con humedad inicial promedio de 65% obtuvo en sus muestras de control humedades de 12,91%; 14,76%; 23,21% y 32,75%, concluyendo que para alcanzar la humedad de equilibrio del lugar (12%) se requiere un tiempo más prolongado.

Según *Forest Products Laboratory* (1999) la madera verde seca al aire libre por recibir a través de su superficie el calor del aire y este llevarse la humedad evaporada. Por ello, el aire debe moverse dentro y a través de las maderas de la pila. Cuando el aire caliente y seco entra en la pila de madera, absorbe humedad descendiendo su temperatura, siendo necesario su retiro de la pila de madera para el ingreso de más aire caliente y seco y continúe el secado de la madera. La forma en que se mueve el aire dentro de la pila de madera depende de su construcción. Así como de su ubicación, distribución y disposición de las calles del patio.

Pratt (1974), Denig, wengert y Simpson (2000) y Bergman (2010) coinciden en afirmar que en invierno las tasas de secado son pequeñas, y en verano juntamente con el incremento del viento puede incrementarse los defectos y pérdida de volumen de madera por presencia de agrietamientos en caras y extremos. Entre las limitaciones del secado al aire se encuentran los altos costos de un inventario de madera comercial. El tiempo del secado al aire varía ampliamente dependiendo de la especie, espesor, localidad y las condiciones del clima.

Según Simpson (1998) el contenido de humedad de la madera depende de la humedad relativa y temperatura del aire que lo rodea. Si la humedad relativa y la temperatura permanecen constantes, el contenido de humedad también se vuelve constante a un valor conocido como contenido de humedad de equilibrio (EMC). Así, toda combinación de humedad relativa y temperatura tienen un EMC asociado. La EMC aumenta al aumentar la humedad relativa y con temperatura decreciente. Los EMC bajos aceleran el secado al aire, lo que a menudo es ventajoso, pero puede ser perjudicial si una especie es susceptible al agrietamiento superficial al secarse demasiado rápido al principio del proceso de secado como el roble.

Denig, wengert y Simpson (2000) afirman que la circulación del aire es principal medio para llevar el calor requerido para evaporar el agua de las pilas de madera estacionadas en el patio de secado, e igualmente para remover el aire húmedo de la pila de madera y el área de secado. Otros factores que afectan al secado al aire libre son: Las características de la madera, como la especie, el grano y espesor; Las características del patio, como la altura, presencia de viento dominante y calidad del suelo; Las características de la pila, como el método de apilado, base y techo de la pila y las condiciones del clima.

Al respecto de la influencia del espesor de la madera en el tiempo de secado al aire Gomez y Moya (2008) al secar al aire madera de *Tectona grandis* en espesores de 2,54 cm.; 3,81 cm.; y 5 cm. secaron de 79,2 %; 78,8% y 77,1% a 17,2%; 18,8% y 17,9% en 14; 18 y 23 días. Así como madera de *Bombacopsis quinata* en espesores de 2,54 cm.; 3,81 cm.; y 5,1 cm. secaron de 88,8 %; 80,8% y 80,7% a 19%; 18,5% y 18,9% en 13; 19 y 23 días.

Rosso (2006) al estudiar el efecto de las estaciones en el secado al aire del *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus citriodora*, observo que en verano demoraron 14,2; 21,3 y 27,2 días respectivamente, mientras que en invierno demoraron 31,2; 39,16 y 47,12 días respectivamente hasta alcanzar el Punto de Saturación de las Fibras.

Con relación a ello Zen et al. (2020) La dificultad de obtener madera seca con calidad es uno de los mayores obstáculos a la hora de secar la madera del Género *Eucalyptus*, ya que las especies del género tienen secado lento y alta propensión a la aparición de defectos. Por ello, se recomienda aplicar métodos que combinen el presecado con el secado convencional como alternativa para mejorar la calidad de esta madera

2.6 SECADO CONVENCIONAL

Klitzke (2005) y Fernández y Conde (2007) señalan que el secado convencional o artificial es el proceso de secado más utilizado en el mundo entero, puede afirmarse que el 95% de los secaderos existentes son de tipo convencional. Constan de forma general con: Cámara de secado, Sistema de circulación de aire y dispositivos de climatización del aire interior. A su vez Denig, wengert y Simpson, (2000) señalan que el secado de la madera en horno es conducido en un ambiente cerrado, en el cual el calor y la humedad están controlados, el aire circula rápidamente sobre la superficie de las maderas estacionada durante el ciclo de secado. Para Pratt (1974) el secado convencional es conducido con total control de las condiciones internas, para lo cual están dotadas de un sistema de calentamiento, un sistema de humidificación del aire y un sistema de ventilas que permiten intercambiar el aire de la estufa con el exterior mediante el sistema de ventiladores que promueve la circulación del aire a través de las pilas de madera.

Al respecto Bergman (2010) afirma que todo horno usa algún tipo de circulación de aire forzado, moviéndose perpendicularmente a través de la carga de madera y paralelo a los separadores para uniformizar el flujo del aire en el horno de secado. Lo cual es complementado por Hildebrand (1970) quien afirma que el sistema de ventilación tiene tres propósitos: conducir el calor del sistema de calentamiento hacia la pila de madera, remover la humedad evaporada de la superficie de las tablas, y uniformizar los factores del clima en toda la cámara.

MDT (2007) y Fernández y Conde (2007) consideran que el objetivo del sistema de humidificación es regular el clima durante todo el proceso, y aumentar la humedad de la capa superficial de la madera mediante la regulación de la humedad relativa del aire (%HR) del secador, principalmente durante el calentamiento, ecualizado y vaporizado final o acondicionado. Cuando la %HR del aire se encuentra por debajo del valor deseado se regula mediante la pulverización del agua o en la inyección de vapor. Si es lo contrario es regulado mediante las ventilas, que permiten la salida del aire del horno y el ingreso del aire del exterior, más frío y más seco, disminuyendo la temperatura y %HR.

Hildebrand (1970), Pratt (1974) y MDT (2007) mencionan que las fuentes de energía más usadas para secar madera son: residuos de madera, gas natural y energía eléctrica, y los medios de calentamiento del aire de la cámara de secado son: el aire, Agua caliente, vapor saturado y aceite térmico. Los cuales permiten alcanzar temperaturas de 50 a 100°C y humedades relativas del aire de 25 a 95% generalmente. Las capacidades de cámara varían de 10 a 150 m³, y el tiempo de secado es de días, variando con la especie y el espesor.

Según Denig, wengert y Simpson (2000) para latifoliadas la velocidad de aire recomendada esta entre 1 a 3 m s⁻¹, para madera de difícil secado o poco permeables y para maderas blancas respectivamente. La alta temperatura del aire y mayor velocidad son el principal medio de aceleración del secado.

Klitzke (2005) menciona que el secado artificial consiste en hacer circular uniformemente aire caliente y seco a través de una pila de madera. Dependiendo de las características estructurales de la especie, debe establecerse un ritmo de secado para minimizar los riesgos que causan daño a la madera durante el secado. Por esta razón las maderas requieren variaciones climáticas y de intensidad diferente, los programas de secado varían en función de la especie, espesor y

humedad deseada, la humedad relativa del aire y la temperatura son factores fundamentales necesarios para conducir adecuadamente el secado.

En cuanto a los programas de secado Bergman (2010) afirma que varían por la especie, espesor, contenido de humedad y el uso de la madera. Generalmente el desarrollo del programa se realiza en base al contenido de humedad y el tiempo.

2.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SECADO

Según Fernández y Conde (2007) el secado depende de factores inherentes a la madera como la densidad, porcentaje de duramen y de albura de la madera; el espesor, la relación entre ancho y espesor, y longitud de las piezas; la humedad inicial de la madera y su dispersión; la humedad final objetivo en la madera seca; el programa de secado empleado; la calidad de secado buscada; la forma de construcción de las pilas, el diseño y mantenimiento del horno de secado; y al clima empleado, al proceso seguido y al objetivo buscado.

2.7.1 Inherentes a la madera

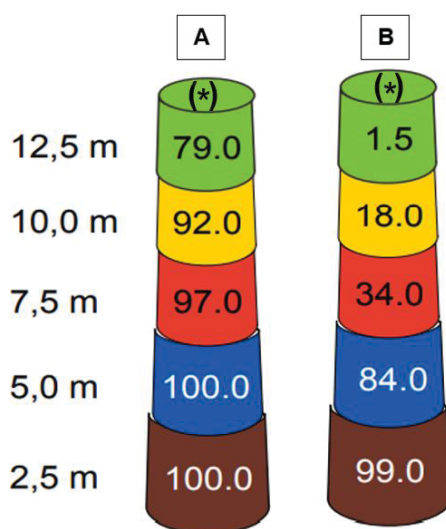
2.7.1.1 Estructura anatómica

Wiedenhoeft (2010) indica que la estructura de las latifoliadas o maderas duras es más compleja que el de las coníferas. Constituidas por elementos de vasos especializados en la conducción de agua en sentido longitudinal, para lo cual se unen en sus extremos mediante una placa de perforación. Las fibras tienen la función exclusiva de soporte mecánico. El parénquima longitudinal se presenta como parénquima paratraqueal asociada a los vasos y parénquima apotraqueal, y los radios que facilitan el transporte de fluidos en sentido transversal.

Moreschi (2014) afirma que existen grandes variaciones de la masa específica a lo largo de un tronco, donde el valor máximo se sitúa en la base de este, debido a la existencia de tejidos rígidos de sustentación. Por ello la masa específica decrece en dirección a la copa del árbol.

Camino y Morales (2013) afirman que en materia económica, la calidad del fuste de teca (ramificación, rectitud del fuste, gambas o aletones basales, grano en espiral), tiene una importante contribución al valor del árbol y su madera como se muestra en la FIGURA 1, tanto como lo hace el volumen en esta especie. Árboles con mejor calidad de fuste son muy apreciados en los mercados especiales.

FIGURA 1 - CALIDAD DE TROZAS PARA USO INDUSTRIAL EN ARBOL PLUS DE TECA (A) Y EN ARBOL DE TECA SIN MEJORAMIENTO GENETICO (B)



(*) Índice de calidad expresado de 0 a 100 = excelente

FUENTE: Camino y Morales (2013)

En cuanto a las variables dendrométricas Fernández (2018) al evaluar 54 plantaciones de 2 a 24 años de *Tectona grandis* L.f en costa Rica, con un total de 162 árboles (3 muestras x 54 sitios) de distintas regiones, determinó que el espesor de corteza y el diámetro de duramen disminuyeron con el aumento en altura del árbol, mientras el espesor de albura incremento entre 0,5 y 6,5 cm.

A su vez Rosas (2003) al evaluar la variación de la longitud de fibras y densidad básica de árboles de *Eucalyptus camaldulensis*, procedentes de una plantación protectora de 25 años del municipio de Texcoco, estado de México. Encontró que tanto la densidad básica como la longitud de las fibras en dirección longitudinal, aumenta hacia la parte cercana a la copa para después volver a disminuir hacia el ápice.

Asimismo, Goche et al (2000) estudiaron en madera de *Pinus ayacahuite* var, veitchii y en madera de *Abies religiosa* de México la variación de la longitud de

traqueidas en dirección longitudinal, encontrando en las dos especies un patrón definido de incremento con la altura del fuste para después volver a disminuir.

Según Denig, Wengert y Simpson, (2000) durante la primera etapa de secado aumenta la tensión de la superficie y la compresión de la zona central de la madera. Si la magnitud de las fuerzas de tensión y de compresión exceden la resistencia de las células de la superficie y del centro, aumentará el riesgo de fallas. Dos componentes están involucrados: los esfuerzos de secado y la resistencia de la madera. Las fuerzas de tensión dependen de cuánta contracción ocurre, por ende, dependen de la HR (o EMC); Asu vez, la resistencia de la madera depende de: la especie de madera y ancho o tamaño de los radios (madera con radios más anchos y largos más propensos a agrietarse); del sitio donde se cultivó (tierras altas o tierras bajas - más propensos a agrietarse); ubicación de la madera en el árbol (la madera más fuerte se encuentra cerca a la base del árbol), y la temperatura y humedad de la madera (cuanto más caliente y húmeda, más débil es la madera).

Simpson (1991) menciona que la estructura anatómica de la madera limita cuan rápidamente el agua se mueve en el interior de la madera, por otro lado, la tendencia de la madera a tensionarse durante el secado limita la tasa de secado, pudiendo llegar a desarrollar defectos estructurales, de forma y colapso.

Serrano (1999) afirma que las tensiones de crecimiento longitudinales al ser liberadas contribuyen a los problemas de procesamiento de la madera, ejemplos típicos son las rajaduras y los agrietamientos en los extremos de las trozas al momento del proceso de volteo, variaciones de medida en piezas cortadas, así como las rajaduras y torceduras de cara y canto en madera recién aserrada.

Maeglin (1987) explica que las tensiones de crecimiento no deben ser confundidas con los esfuerzos de secado generados en la madera al perder humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. Dichas tensiones interactúan con los esfuerzos de secado, madera juvenil y madera de reacción.

Para Panshin y De Zeeuw (1980) en árboles inclinados y en ramas donde la médula es excéntrica (no en el centro geométrico de la sección transversal), la madera de reacción está asociada con esta excentricidad. La formación de la madera de reacción es un mecanismo del árbol inclinado para su orientación vertical. Debido a que la excentricidad de la médula se asocia con la madera de

reacción, tensión en maderas duras. El grado de excentricidad de la médula es un índice de la calidad de la madera de un tronco.

2.7.1.2 Humedad de la madera

MDT (2007) menciona la relación inversa entre la densidad y el contenido de humedad, así el Canelo (*Drimys winteri*) presenta una densidad de 430 kg m⁻³ y una humedad del 170%, el Roble (*Nothofagus glauca*) una densidad de 500 kg m⁻³ y una humedad del 103%, el Eucalipto una densidad de 630 kg m⁻³ y una humedad entre 80% a 90%.

Klitzke (2005) afirma que el árbol recién cortado presenta elevada humedad en su estructura, variando según la época del año, lugar de procedencia y especie forestal. Asimismo, las maderas menos densas presentan mayor cantidad de humedad que las maderas pesadas. Dentro del mismo árbol la humedad igualmente varía, así la albura constituida por células fisiológicamente activas para la conducción de agua y ser más permeable posee un contenido de humedad mayor que el duramen. De la misma forma en sentido radial y longitudinal del tronco la humedad varía de la médula a la corteza y de la base a la copa.

Goche et al (2000) estudiaron la variación del contenido de humedad en dirección longitudinal de la madera del *Pinus ayacahuite* var, *veitchii* y de *Abies religiosa* en Puebla - México, observando que ambas especies presentan una disminución del contenido de humedad al aumentar la altura en el árbol.

Según Fernández y Conde (2007) el duramen pese a tener un menor contenido de humedad (40 a 50 %) se seca más lentamente que la albura (100 a 200 % de humedad); debido a que contiene extractivos que reducen la contracción e hinchamiento, así como su permeabilidad, lo que hace más difícil su secado.

Según Simpson (1991) las maderas con humedades elevadas exigen mayor tiempo de secado y aumentan la susceptibilidad de defectos de secado. La madera húmeda en particular es susceptible al colapso. Se recomienda el uso de programas de secado especiales planeados para minimizar este defecto.

Para JUNAC (1989) y Klitzke (2005) el endurecimiento superficial durante el secado artificial es una consecuencia de un fuerte gradiente de contenido de

humedad en una pieza de madera donde las capas superficiales han perdido mucha agua, mientras que el centro permanece todavía húmedo.

Según Denig, wengert y Simpson (2000) debe tenerse en cuenta el grado en que la madera aserrada se ha secado al aire o se ha secado previamente (además de la variación de humedad en las mezclas de especies) antes de colocarla en un horno, porque el contenido de humedad a menudo rige las condiciones de secado que se pueden usar. Si ya se ha eliminado toda el agua libre de la madera, se pueden usar condiciones de secado más severas en las etapas iniciales del secado en horno con poco o ningún peligro de producir defectos de secado. Además, la humedad inicial uniforme acelera enormemente el secado para obtener una humedad final uniforme.

2.7.1.3 Densidad básica

Para Simpson (1991) y Pontes (2000) la tasa o velocidad de secado de las maderas densas e impermeables es condicionada por las características del propio material; en cambio para maderas permeables o de baja densidad la tasa de secado es limitada principalmente por las condiciones del medio de secado.

Goche et al (2000) estudiaron la tendencia de la densidad básica en dirección longitudinal en madera de *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* var, *veitchii* de Puebla en México, observando en la primera un patrón definido de incrementar con la altura en el árbol, mientras que en la segunda no se encontró un patrón definido.

Blanco et al. (2014) mencionan que el comportamiento de la densidad con relación a la altura del árbol, está directamente relacionado a su crecimiento, valores más altos de densidad básica son encontrados en la base del árbol decreciendo hacia la cabeza. De modo general, la densidad básica es una de las propiedades que refleja mejor las demás propiedades de la madera.

García (2005), al estudiar las propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii*, proveniente de una plantación de 17 años de Metztitlan en Hidalgo – México, determinó que la densidad básica y las contracciones aumentaban en el mismo sentido con la altura del árbol.

Moreschi (2014) afirma que existen grandes variaciones de la masa específica a lo largo de un tronco, donde el valor máximo se sitúa en la base de este, debido a la existencia de tejidos rígidos de sustentación. Por ello la masa específica decrece en dirección a la copa del árbol.

2.7.1.4 Contracción de la madera

Goche et al (2000) al estudiar las contracciones volumétricas y lineales en dirección longitudinal en la madera de *Pinus ayacahuite* var, *veitchii* y de *Abies religiosa*, observaron la tendencia de disminuir con la altura en el árbol, con excepción de las contracciones tangenciales en *Abies religiosa* que presento un comportamiento irregular. Por el contrario, García (2005), al estudiar las propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii*, provenientes de la plantación de 17 años de Metztitlan en Hidalgo – México, determinó que las contracciones aumentaban en el mismo sentido con la altura del árbol.

Chumbimune (2017) con árboles de la especie *Retrophyllum rospigliosii*, proveniente de una plantación de 32 años asociada con café en Villa Rica – Pasco - Perú, realizó la caracterización anatómica y de las propiedades físicas en tres niveles del eje longitudinal, encontrando diferencias significativas entre árboles en cuanto a la contracción tangencial y volumétrica total, y por árbol en las contracciones volumétrica, tangencial y radial. Atribuyendo la variación de las propiedades físicas a factores distintos a la anatomía de la especie, como la posición de la probeta y presencia de madera juvenil, entre otras causas.

Pontes (2000) menciona que, en el proceso convencional, la madera pierde humedad de la superficie en dirección al interior de la madera, causando contracciones diferenciadas entre a superficie más seca y la parte interna más húmeda. La diferencia entre las contracciones provoca la aparición de tensiones internas que, superando a resistencia mecánica de la madera, pueden causar grietas; más aún cuando las condiciones (temperatura y humedad relativa del aire) del proceso son agresivas para la madera. Disminuir la incidencia de los defectos requiere un proceso más suave, que implica un mayor tiempo del proceso.

2.7.1.5 Extractivos

Conners (2012) señala que la madera de diferentes especies son diferentes tanto en color como en olor, y esto se debe a los productos químicos impregnados en la madera llamados extractivos. Las diferencias suelen ser más pronunciadas cuando se compara el duramen, porque el contenido de extractivos en el duramen suele ser significativamente mayor que en la albura. Los químicos son llamados extractivos porque se pueden quitar de la madera usando solventes como agua caliente o alcohol al no formar parte de la estructura celular en sí, aunque pueden impregnar la pared celular por completo.

Lukmandaru y Takahashi (2008) evaluaron el contenido de extractivos de la madera de teca de 8, 30 y 51 años de una plantación de la empresa Perhutani en Jakarta – Indonesia, determinando que los niveles de contenido de extractivos de la madera de 30 y 51 años fueron significativamente mayores a la madera de 8 años.

Según Fernández y Conde (2007) el duramen pese a tener un menor contenido de humedad (40 a 50 %) seca más lentamente que la albura (100 a 200 % de humedad); debido a que contiene extractivos que reducen la contracción e hinchamiento, así como su permeabilidad, lo que hace más difícil su secado. Al respecto Lukmandaru y Sayudha (2019) al evaluar el contenido de extractivos en madera de teca de 7 años de la empresa Perhutani en Jakarta – Indonesia, determinaron que el contenido de extractivos totales en la albura y duramen fue de 5,76% y 8,83% respectivamente.

2.7.1.6 Espesor de la madera

MDT (2007) recomienda no mezclar piezas de diferente espesor, considerando así a las piezas con más o menos de 4 mm de diferencia de espesor, dado que generaran gradientes de humedad y tensiones diferentes. Concluyendo que las piezas más delgadas se secan más rápido y esto conduce a generar mayor degradación de las maderas de mayor espesor.

Con relación al efecto del espesor de la madera en la duración del tiempo de secado artificial, Koch (1972) al desarrollar el secado artificial de madera de pino

del sur en condición verde (122%), determinó que los tiempos requeridos para secar madera de cuatro pulgadas de ancho, 8 pies de largo y 1,0; 1,5 y 1,9 pulgadas de espesor requirieron de 10,4; 15,8 y 20,7 horas respectivamente para alcanzar el 10 por ciento de contenido de humedad final.

Tuset y Duran (1986) señalan que los valores de gradiente de humedad recomendados para maderas que plantean problemas de secado están entre 1,5 y 2,5 dependiendo de la especie. En piezas muy gruesas los gradientes altos provocan esfuerzos que pueden dañar la madera ó interrumpir el secado (endurecimiento superficial), debido a que el centro de la pieza está muy húmedo con relación a la superficie, que tiene la humedad de equilibrio del ambiente.

Fernández y Conde (2007) señalan que el secado presenta mayor calidad si el espesor es menor de 50 mm. Los espesores mayores normalmente presentan grietas internas en los extremos de las piezas que pueden extenderse hasta los 20 a 25 cm.

La velocidad de secado es afectada por el espesor de la madera afirma Simpson (1991), dado que el tiempo de secado aumenta con el espesor y a una proporción mayor a la del espesor, si se duplica el grosor, el tiempo de secado aumenta a más del doble. Si el secado se controlara completamente por difusión, el tiempo de secado aumentaría en un factor de cuatro si se duplicara el espesor. Pero debido a los otros mecanismos involucrados en el secado, el tiempo de secado aumenta entre tres y cuatro veces.

Según Denig, Wengert y Simpson (2000) durante el secado artificial la humedad se evapora de todas las superficies, pero principalmente de las caras anchas de las tablas, siendo el espesor la dimensión más crítica cuanto más gruesa. La madera de diferentes espesores no se puede secar en la misma carga del horno sin prolongar el tiempo de secado de la madera delgada o sin correr el riesgo de defectos de secado en la madera gruesa. Los operadores del horno deben reconocer la madera cortada incorrectamente. La madera nominal de 4/4 puede variar de 3/4 de pulgada a > 1-1 / 4 de pulgada (19 a > 32 mm) de espesor, incluso en la misma tabla. Las partes más delgadas se secarán más rápido que las partes gruesas, lo que resultará en un contenido de humedad final desigual o defectos de secado.

2.7.2 Inherentes al ambiente

Según Denig, Wengert y Simpson (2000) las tres variables ambientales que controlan la tasa y calidad de secado de la madera son la temperatura del aire, la humedad relativa (%HR) del aire y la velocidad del aire. Cuando la madera seca muy rápidamente o muy lentamente, estas variables deben ser manejadas para alcanzar la deseada tasa de secado.

2.7.2.1 Temperatura

Según Fernández y Conde (2007) y MDT (2007) la temperatura es la energía calórica almacenada en un cuerpo como la madera, el aire y el vapor que circula por los radiadores de calentamiento de la cámara, cuando empieza el proceso de secado la diferencia de temperaturas es grande entre los elementos nombrados, por lo que se genera una transferencia de calor entre los radiadores, el aire de la cámara y la superficie húmeda de la madera a secar.

Denig, Wengert y Simpson (2000), Fernández y Conde (2007) y MDT (2007) coinciden en afirmar que la temperatura del aire es frecuentemente llamada temperatura de bulbo seco, la medición de esta variable en el proceso de secado en la entrada y salida del aire de la carga de madera permite calcular la caída térmica a través de la carga,

Fernández y Conde (2007) y MDT (2007) señalan que la temperatura húmeda corresponde a un equilibrio entre el aporte calórico del aire al que está expuesto el termómetro de bulbo húmedo y el calor absorbido por la vaporización del agua en estado líquido que lo envuelve. Su determinación es muy importante porque al ser siempre menor a la temperatura del bulbo seco la caída térmica es una medida indirecta del % HR del aire, Asimismo la temperatura superficial de madera verde en proceso de secado coincide con la temperatura del bulbo húmedo, actuando la carga como un termómetro húmedo. Con el avance del proceso la temperatura de la madera va gradualmente aproximándose a la temperatura del bulbo seco.

Para Juacida e Inzunza (1986) un programa de secado moderado o severo con alta temperatura y gran diferencia psicrométrica, aplicado inadecuadamente a

una especie de madera interrumpen el flujo de vapor de agua del interior hacia el exterior (endurecimiento superficial), induciendo a que las capas superficiales de la madera alcancen un contenido de humedad menor al punto de saturación de las fibras, y enlenteciendo o deteniendo el secado de la parte central de la pieza al inicio del proceso, originando a su vez, esfuerzos de tensión perpendicular al grano en las capas superficiales y esfuerzos de compresión en la zona interior.

Según JUNAC (1989) si aumenta la temperatura y/o baja la humedad relativa del aire, aumenta la capacidad del aire para contener vapor de agua e inducir a una mayor evaporación de agua (energía cinética) de la madera. A una humedad relativa (HR) dada, hay un valor de equilibrio de la humedad de la madera, de allí ya no perderá más humedad. Por ello se varían las condiciones del ambiente a medida que la madera va secando. La velocidad de secado depende de la cantidad de energía suministrada por unidad de tiempo y de la capacidad del medio para absorber la humedad liberada por la madera.

2.7.2.2 Humedad relativa

Según Denig, Wengert y Simpson (2000) y Fernández y Conde (2007) La humedad relativa del aire (%HR) es de la cantidad de vapor de agua contenido en un metro cubico de aire comparado con la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener a una temperatura dada. Asimismo, es definido como la relación entre la presión de vapor del aire y la presión de vapor en condiciones de saturación a una temperatura dad. Su valor máximo es del 100%.

Hildebrand (1970) señala que con el aumento de la temperatura sin adición de humedad disminuye la humedad relativa del aire al aumentar su capacidad de retener vapor de agua. Para mantener constante la humedad relativa del aire durante el proceso de secado, debe intercambiarse el aire húmedo de la cámara por aire fresco del ambiente mediante la apertura de las ventilas de la cámara de secado.

Siau (1984) menciona que la humedad de equilibrio de la madera en proceso de secado depende de la temperatura y la humedad relativa del ambiente de la cámara que establece un equilibrio entre las presiones parciales del vapor de agua en el aire y en la madera. El tiempo para alcanzar la humedad de equilibrio

depende de la humedad, densidad, espesor de la madera y porcentaje de extractivos entre otros.

2.7.2.3 Velocidad del aire

Tomaselli (1974), Denig, Wengert y Simpson (2000) y Klitzke, (2005) afirman que la optimización de la velocidad de circulación del aire es importante desde el punto de vista económico porque está ligado directamente con el consumo de energía, y desde el punto de vista técnico porque se realizan en función de los fenómenos físicos de capilaridad y difusión del cual depende el tiempo y calidad de secado de la madera.

En relación con ello Klitzke (2002) indica que actualmente las alteraciones de velocidad del aire son posibles con el uso de inversores de frecuencia. A su vez Denig, Wengert y Simpson (2000) afirman que la velocidad del aire cuando la humedad de la madera es mayor al 40 % (aproximadamente) afecta la tasa de secado, por debajo al 20% de contenido de humedad tiene muy poco efecto en la velocidad de secado.

Simpson (1997) menciona que, en el secado la superficie de la madera alcanza el equilibrio de humedad con el aire circundante que la rodea poco después de que comienza el secado. Este es el comienzo del desarrollo de un gradiente de humedad. Si la circulación del aire es lo suficientemente rápida como para evaporar el agua de la superficie tan rápido como llega a la superficie desde el interior de la madera. Si la circulación de aire es demasiado lenta, se requiere más tiempo para que la superficie de la madera alcance el equilibrio de humedad. Esta es una razón por la cual la circulación de aire es tan importante en el secado en horno. Si es demasiado lento, el secado también es más lento de lo necesario. Si es demasiado rápido de lo debido, se desperdicia energía eléctrica en el funcionamiento de los ventiladores dependiendo del nivel de humedad, como también causar tensiones críticas en la madera.

Viscarra (1998) y Fernández y Conde (2007) señalan que actualmente se emplean velocidades de aire de 5 m s^{-1} . a través de la estiba de maderas de secado rápido, y en maderas de secado lento de mayor densidad de 2 m s^{-1} . Si se utilizan velocidades mayores sin el debido control se incrementa la tasa de evaporación del

agua, generándose un gradiente de humedad alto entre la superficie de la madera y su parte interna, lo que induce al desarrollo de defectos estructurales.

Para Viscarra (1998) la ventaja de las velocidades altas del aire dentro de la cámara de secado en la disminución del tiempo de secado e incremento de la tasa de secado, disminuyen considerablemente cuanto mayor sea el espesor de las piezas de madera, menor sea el contenido de humedad inicial, menor sea la temperatura inicial del proceso y mayor sea la densidad de la madera.

Loiola (2015) al evaluar la influencia de las velocidades de circulación del aire de 1,5; 2,5 e 3,5 m s⁻¹ en el secado artificial de la madera de teca (*Tectona grandis*) de una plantación forestal de 20 años, localizada en el municipio de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; observó que el incremento de la velocidad no afectó en forma significativa el ciclo de secado abajo del punto de saturación de las fibras (PSF), dado que la velocidad del aire ejerce influencia en forma pronunciada encima del PSF.

2.8 TASA DE SECADO

Para Hildebrand (1970) y Pontes (2000) la tasa o velocidad de secado de las maderas densas e impermeables es condicionada por las características del propio material; en cambio para maderas permeables o de baja densidad la tasa de secado es limitada principalmente por las condiciones del medio de secado.

Según Klitzke (2005) y Conners (2012) la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y la velocidad del aire interactúan para influenciar en la tasa de secado, así la tasa de secado se incrementa a mayor temperatura, menor humedad relativa y mayor velocidad del aire. Este último no afecta en la tasa de secado abajo del 20 % de humedad de la madera.

Al respecto Bachrich (1980) señala que la tasa de secado puede ser manipulada al inicio del proceso, al tener elevada humedad conviene reducir la humedad relativa y aumentar la velocidad del aire, sin embargo, a partir del PSF hasta la humedad final la tasa de secado se reduce, por lo que conviene aumentar la diferencia psicrométrica dejando el clima más seco, aumentar la temperatura y bajar la velocidad del aire.

A su vez Simpson (1997) señala que al inicio del proceso es adecuado altas velocidades de aire por las condiciones de alta humedad de la madera que facilitan alcanzar altas tasas de secado, abajo del PSF disminuye la tasa de secado no influyendo las altas velocidades de aire, generándose pérdidas de energía eléctrica. Valores debajo de la velocidad adecuada generan ineficiencia por aumento del tiempo de secado, que implica inadecuado uso de capacidad de secado de las cámaras, aumento de la pérdida de calor e inducir al manchado de la madera.

Santini y Haselein (2002) al estudiar el efecto de la velocidad del aire en el secado de *Pinus elliotti* de 26 años, observaron que la temperatura y la velocidad del aire, permiten estimar con precisión el tiempo y la velocidad de secado con un nivel de confianza del 99%. La velocidad de secado mostró una relación directamente proporcional con la temperatura, la velocidad del aire y el contenido de humedad de la madera. La influencia de la velocidad del aire en la velocidad de secado disminuyó a medida que disminuyó el contenido de humedad y se volvió casi insignificante cuando se secaba a baja temperatura.

2.9 DEFECTOS DE SECADO

Klitzke (2005) señala que durante el secado de la madera sus propiedades cambian, y dependiendo de la especie forestal y técnica de secado empleada se pueden producir tensiones, deformaciones e incluso alteraciones estructurales, conocidos como defectos de secado.

Al respecto Vignote y Martínez (2006) afirman que las tensiones de secado dependen de la velocidad de secado, que induce a mayor valor mayor gradiente de humedad incrementando la tensión de la madera. Así como también del espesor de la madera que a mayor valor induce a un mayor gradiente de humedad incrementando la tensión de secado. Finalmente, el tipo de madera, del cual depende la velocidad de difusión del agua del interior a la superficie de la madera, definiendo un gradiente de humedad y por tanto el grado de tensión de secado.

Para Lamb (1994) los principales atributos de calidad de la madera seca son: Porcentaje de humedad adecuado con el uso pretendido; mínima variación del contenido de humedad de cada pieza y entre piezas, libre de tensiones de secado, libre de defectos visibles como grietas, rajaduras, alabeos, colapso y manchas.

2.9.1 Colapso

Simpson (1991) afirma que el colapso es una distorsión, aplanamiento o aplastamiento de las células de madera, generalmente aparece como surcos o corrugaciones. Cantidades leves de colapso son usualmente difíciles o imposibles de detectar a nivel del tablero y no son un problema particular. A veces, el colapso se muestra como una contracción excesiva en lugar de surcos o corrugaciones distintas. El colapso puede ser causado por (1) tensiones de secado o (2) tensión del líquido en las cavidades de las celdas que están completamente llenas de agua. Ambas condiciones ocurren temprano en el secado. El colapso generalmente no es visible en la superficie de la madera hasta más adelante en el proceso, y se asocia con temperaturas excesivamente altas de bulbo seco al inicio del secado en horno, y por lo tanto, las bajas temperaturas iniciales de bulbo seco deben usarse en especies susceptibles al colapso.

Según MDT (2007) el colapso es el resultado de la aplicación de un programa de secado muy severo (gradiente de secado muy alto) a la madera muy húmeda, es decir que tiene todas sus cavidades llenas de agua libre de mayor velocidad de secado que el agua higroscópica.

Para Tuset y Duran (1986) y JUNAC (1989) el colapso se produce en maderas con paredes celulares muy delgadas e impermeables, con una resistencia mecánica menor que las tensiones que se forman en los meniscos de los capilares, como consecuencia de la alta evaporación en la superficie de las piezas.

Juacida e Inzunza (1986) afirman que el colapso se inicia a un contenido de humedad por encima del punto de saturación de fibras, se evita realizando un secado suave, hasta que la madera pierda gran parte del agua libre.

MDT (2007) y Simpson (1997) afirman que algunas especies susceptibles al colapso generalmente se secan al aire antes de secarse al horno. En muchos casos, la contracción excesiva causada por el colapso puede eliminarse mediante el reacondicionamiento o vaporización.

2.9.2 Alabeos

Tuset y Duran (1986), JUNAC (1989) y Klitzke (2005) mencionan que el alabeo es una deformación de la madera por la curvatura de sus ejes longitudinal,

transversal o de ambos. Se debe buscar en cada operación de secado mantener estas deformaciones dentro de ciertos límites.

Según Simpson (1991) el alabeo de la madera es la desviación de las caras o bordes del plano de la madera, causado por las diferencias de contracción longitudinal, radial y tangencial y/o tensión de crecimiento. El alabeo es también inducido por grano no recto, leño juvenil y madera de reacción. Los alabeos causados por diferencias de contracción pueden ser controlados con apropiados procedimientos de apilado horizontal.

Para Viscarra (1998) y Fernández y Conde (2007) el abarquillado se reconoce cuando la madera colocada en una superficie plana apoya la parte central de la cara levantando los bordes en forma de barquillo. La madera arqueada colocada sobre una superficie plana muestra una luz entre la cara de la pieza de madera y la superficie de apoyo. La madera encorvada colocada de canto sobre una superficie plana muestra una separación entre el canto y la superficie de apoyo. La madera torcida levanta una a más aristas en diferentes direcciones.

Pratt (1974) señala que la contracción en la dirección de los anillos de crecimiento es el doble de la contracción radial, tendiendo al acanalado, al curvarse la madera en el lado opuesto a la dirección a la curvatura de los anillos. La razón de esto es que la madera que está más cerca del corazón del árbol es más casi radial y, por lo tanto, tiende a encogerse en una cantidad bastante menor.

Según Denig, wengert y Simpson (2000) el combado resulta del aserrado no paralelo a la corteza, por lo cual una cara de la madera (a menudo el lado de la corteza) se encogerá más que el otro lado. El combado también se debe a un apilamiento deficiente, donde los separadores no están alineados y / o se encuentran demasiado separados. Así como por no contar con un plano a nivel en la base de apoyo de la carga de madera, por la falta de uniformidad en altura de los elementos de la base del carro de carga en el secado artificial o la de los elementos que conforman la base en el secado al aire.

El curvado según Klitzke (2005) y MDT (2007) se inicia con un aserrado incorrecto, o en troncos torcidos con anillos de crecimiento descentrados, por ello piezas perfectamente tangenciales desarrollan mínima cantidad de este alabeo que las de corte radial.

Denig, Wengert y Simpson (2000) y MDT (2007) afirman que la torcedura es el giro de las cuatro esquinas de cualquier cara de una tabla para que ya no estén en el mismo plano. Ocurre en madera con vetas en espiral, onduladas, diagonales, distorsionadas o entrelazadas. Madera con estas características de grano requieren procedimientos de apilamiento correctos.

2.9.3 Grietas y rajaduras

De acuerdo con Denig, Wengert y Simpson (2000) el agrietamiento de la madera ocurre por: la magnitud del esfuerzo de secado y la resistencia de la madera. La magnitud de las fuerzas de tensión depende de cuánta contracción ocurre; esto significa que la magnitud de las fuerzas de tensión depende del %HR (o EMC). Además, la magnitud de las fuerzas de tensión depende de lo rápido del secado; y la tasa de secado depende de la HR (o EMC) y la velocidad. A su vez la resistencia de la madera depende de factores naturales como: Especie de madera; Ancho o tamaño de los radios (madera con radios más anchos y más largos más propensos a agrietarse); Lugar del cultivo: tierras altas y tierras bajas (tienen más probabilidades de agrietarse); y ubicación de la madera en el árbol: la madera más fuerte generalmente se encuentra más lejos del centro y cerca a la base del árbol.

Según Klitzke (2005) y MDT (2007) las grietas en la superficie y en los extremos de las piezas de madera aserrada se presentan en las primeras etapas del secado artificial, al aplicar un gradiente de secado alto se forman tensiones superficiales en la dirección perpendicular al grano, que al exceder la resistencia de la madera forman grietas. Cuando más densa es la madera mayor es la posibilidad de la presencia de grietas superficiales, las cuales pueden controlarse aumentando la humedad relativa del aire de la cámara de secado, incrementando la temperatura del bulbo húmedo sin alterar la temperatura del bulbo seco.

Viscarra (1998) asegura que para evitar la formación de grietas superficiales en caras y extremos de las tablas, debe evitarse la radiación directa del sol, la acción de corrientes secas y fuertes sobre la madera húmeda. A los extremos de las piezas de madera debe aplicarse un producto que evite la rápida evaporación de la humedad en sentido longitudinal. en el secado al aire

A su vez Fernández y Conde (2007) señalan que las grietas y rajaduras que se producen durante el proceso de secado tienen una gran influencia sobre la calidad del producto final. Sin embargo, no todas las grietas y rajaduras que presenta la madera seca tienen su origen en un proceso de secado defectuoso, aunque se producen durante el secado, deben su desarrollo a ciertas propiedades o defectos previos de la madera lo que hace prácticamente sea inevitable su aparición y por consiguiente, no se pueden considerar como defectos debidos a un mal secado sino como defectos de la madera.

2.10 CONSUMO DE ENERGIA

Según Rosen (1980) y Denig, Wengert y Simpson (2000) los requerimientos de calor en el proceso de secado son: incremento de la temperatura del agua y de la madera; evaporación del agua: incremento de la temperatura del aire y compensación por pérdida de calor por conducción, radiación; fugas a través de paredes, puertas y techo de la cámara de secado y el consumo de energía eléctrica para el impulso del aire por los ventiladores. La magnitud de cada categoría puede variar dependiendo de las condiciones de secado, tipo de horno y tipo de madera. Pero el calor requerido para evaporar el agua es el que consume mayor energía.

Al respecto MDT 2007 afirma que para evaporar un kilogramo de agua desde la humedad inicial hasta el PSF el requerimiento de energía es constante, abajo del PSF el requerimiento de energía aumenta exponencialmente, dado que la evaporación del agua ligada requiere más energía para vencer las fuerzas de atracción con la madera. Por ello es necesario, cuando avance el proceso de secado hasta el PSF, aumentar progresivamente la temperatura, aumentando la difusión del agua y disminuyendo la velocidad del aire.

A su vez Simpson (1991) señala que el secado de la madera requiere mucha energía, y dependiendo del tipo de equipo y el nivel de eficiencia de la operación, puede requerir hasta cuatro veces la energía que realmente se necesita para evaporar el agua. La madera se puede secar con éxito en diferentes tipos de secadores. Sin embargo, incluso cuando se operan de manera óptima, los secadores pueden tener diferentes niveles de eficiencia dependiendo de su diseño físico, los materiales de construcción y el factor ambiental.

Según Milić (2004) la estructura del consumo de energía (relación calorífica y energía eléctrica) es diferente cuando se trata del secado de madera dura en comparación con el secado de madera blanda. Esto se debe al corto proceso de secado de la madera blanda (alta tasa de producción de productos de bajo valor) y el proceso de secado de madera dura generalmente toma mucho más tiempo (baja tasa de producción de productos de mayor valor).

Para Rojas (2016) el mayor consumo energético para secar madera en un horno ocurre en la etapa de calentamiento, y las mayores fuentes de consumo de calor se deben a la evaporación de la humedad de la madera y a la pérdida por las ventilas durante las acciones de control del %HR del aire de la cámara.

Según Klitzke (2005) los equipos para variar la velocidad del aire durante el secado son de importancia para optimizar el consumo de energía y el tiempo de secado, dado que al inicio del secado cuando la madera está en condición verde la transferencia de calor a su superficie por convección f del aire a altas velocidades favorece un secado rápido. A medida que la madera pierde humedad el proceso de difusión y la transferencia de calor por conducción de la superficie al interior de la madera gana importancia, no siendo necesario altas velocidades del aire.

Klitzke y Batista (2008) evaluaron las ventajas del uso del inversor de frecuencia en el secado de la madera de *Pinus taeda*, la cual estuvo ligada a la reducción de la velocidad del aire en las etapas avanzadas del secado, reduciendo sustancialmente el consumo de energía en un 31,9% abajo del 50 % de humedad.

Severo (1989) al secar madera de *Pinus elliotti* de 10 años con 80 ° C de temperatura de bulbo seco, velocidad del aire de 8,5 m s⁻¹ en la fase de secado inicial, y con reducción a 2,5 m s⁻¹ en la fase final (30% a 10% de humedad), obtuvo una reducción en el consumo de energía eléctrica del sistema de ventiladores.

Ananias et al (2012) al estudiar la reducción del consumo de calor y electricidad en el secado industrial de *Pinus radiata* en hornos industriales de 100 m³, determino el consumo de calor y electricidad con datos recopilados durante los ciclos de secado y mediante cálculos basados en modelos matemáticos, mostraron una reducción del 14 y 35% del calor y electricidad respectivamente.

3 MATERIAL Y METODOS.

3.1 LOCALIZACION DE LA PLANTACION EXPERIMENTAL.

El material para el desarrollo del estudio proviene de una plantación experimental de 5,8 hectáreas de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 33 años (1985-2018), ubicada en el Fundo Génova de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) (BULNES et al., 2007; ZUÑIGA, 2012), localizada en la provincia de Chanchamayo departamento de Junín – Perú. (11°07'01" S y 75°20'01" W). La región se encuentra en una altitud promedio de 751 m.s.n.m., posee una temperatura media anual de 18 °C y 30 °C y una precipitación media anual de 1500 a 2000 mm según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2018). La especie forestal fue identificada como *Tectona grandis* L. f en la Sección de Anatomía de la madera del Departamento Académico de Industrias Forestales – Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). Lima – Perú.

3.2 PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION.

Se realizó el secado de ocho cargas con 60 tablas cada una de dos posiciones del árbol, cuatro mediante secado artificial, humedad inicial saturado y dos velocidades del aire; y cuatro cargas con secado al aire hasta el PSF y secado artificial con dos velocidades de aire como se indica en la TABLA 4.

TABLA 4 - PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION.

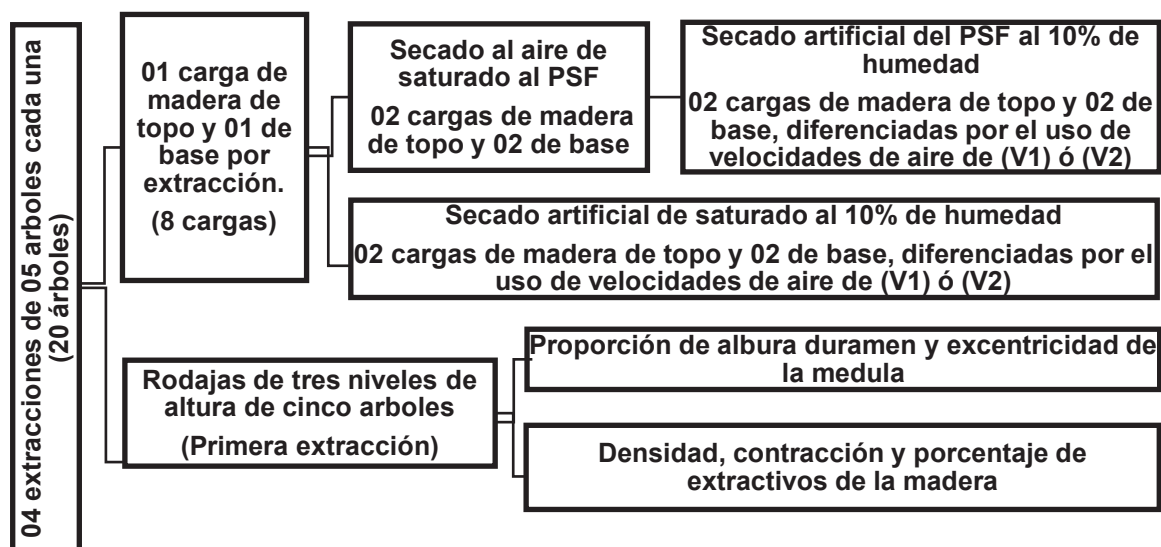
Total de cargas	Posición de la madera	Método de secado	Humedad inicial secado artificial (%)	Velocidad del aire (m s ⁻¹)	Tablas (N°)
4	Base	Artificial	Saturado (verde) (H1)	2.5	60
	Topo				60
	Base			3.5	60
	Topo				60
4	Base	Al aire y Artificial	PSF (H2)	2.5	60
	Topo				60
	Base			3.5	60
	Topo				60

FUENTE: El autor (2020).

Como se aprecia en la secuencia mostrada en la FIGURA 2, se evaluó el efecto de la posición de la madera en la altura media del fuste (3,5 m) a la base (B) y la otra de la altura media a topo (T) en las características de secado (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000; MIRANDA; SOUSA; PEREYRA, 2011; CAMINO; MORALES, 2013; BOUNDUELLE et al., 2015). Asimismo el efecto de la humedad inicial saturada (H1) en las características de secado y la presencia de colapso; y el de las cargas con humedad inicial en el punto de saturación de las fibras (PSF) (H2) en el consumo de energía (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

En cada grupo de cuatro cargas diferenciadas por la posición de la madera y la humedad inicial de secado, se emplearon en dos cargas una velocidad de aire de $2,5 \text{ m s}^{-1}$ (V1) y en las otras dos $3,5 \text{ m s}^{-1}$ (V2), evaluándose su influencia en el secado artificial.

FIGURA 2 - SECUENCIA PARA EL DESARROLLO DEL SECADO AL AIRE Y ARTIFICIAL Y DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS INHERENTES A LA MADERA DE TECA.



FUENTE: El autor (2020)

Para definir los niveles de velocidad de aire se tomó en cuenta las experiencias de Loiola (2015), quien realizó el secado convencional de la madera de teca de 20 años, observando que el incremento de potencial de secado de 3,4 y 4,4 con velocidad de aire de $2,5 \text{ m s}^{-1}$ y variaciones abajo del PSF a $1,5$, $2,5$ y $3,5 \text{ m s}^{-1}$, no causaron colapso y grietas en las tablas de teca.

Así como también las experiencias de Aquino et al. (2010) con velocidades de aire: $2,05 \text{ m s}^{-1}$ y $3,35 \text{ m s}^{-1}$ en madera de *Pinus pseudostrobus* de Oaxaca, México. Y Wallace y Avramidis (2016), con velocidades de aire de $3,8 \text{ m s}^{-1}$ por encima y $2,5 \text{ m s}^{-1}$ por debajo del PSF en madera de western hemloc (*Tsuga heterophylla* (Raf) Sarg.) y *Amabilis fir* (*Abies amabilis* (Doug.) Forbes) especies con densidad básica de $0,43$ y $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ respectivamente de British Columbia, Canadá, reduciendo el tiempo de secado y los defectos. Igualmente a Straze et al. (2010) quienes al extraer agua libre con velocidades de aire de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ a $7,6 \text{ m s}^{-1}$ en madera de haya europea (*Fagus sylvatica* L.), observaron que la tasa de secado aumentó en la etapa inicial de secado con el incremento de la velocidad del aire pero una mayor velocidad del aire ($> 2,5 \text{ m s}^{-1}$) condujo a una reducción irreversible del flujo de humedad inicial y disminución significativa de la tasa de secado, donde la resistencia de la masa interna con un alto gradiente de humedad prolongó significativamente el proceso de secado.

También se aprecia en la FIGURA 2 la secuencia realizada para determinar la proporción de albura duramen, excentricidad de medula, las propiedades físicas de densidad y contracción de la madera y el porcentaje de extractivos, factores inherentes a la madera que influyen en el secado (SIMPSON, 1991).

3.3 PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DEL MATERIAL.

Se recolectaron veinte árboles al azar con Dap promedio de 30 cm en cuatro fechas consecutivas como se indica en el cronograma de la TABLA 5.

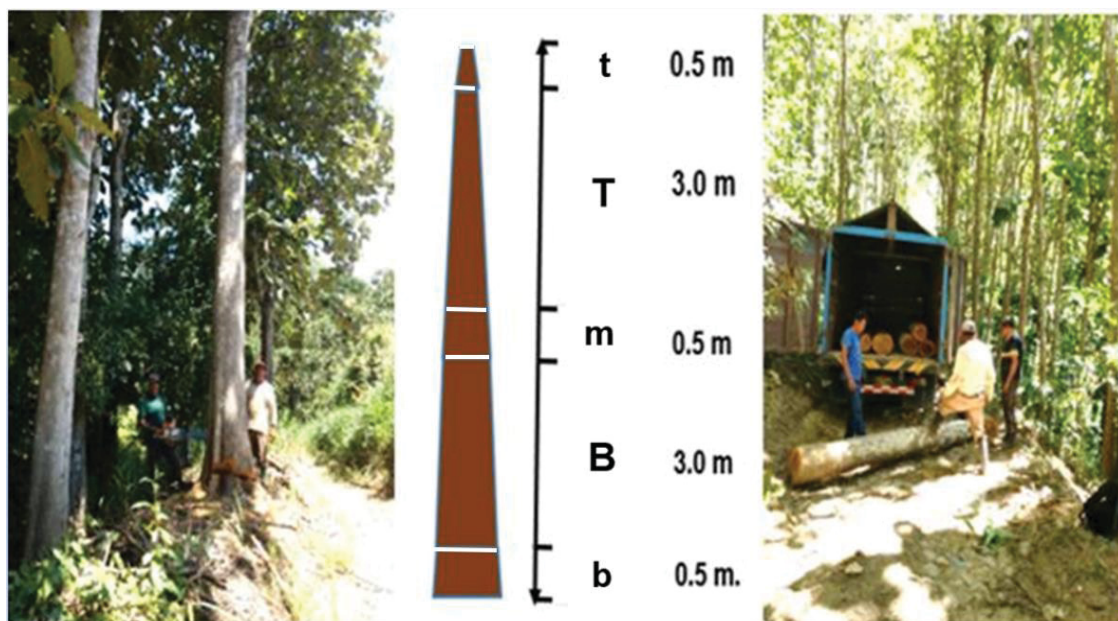
TABLA 5 - CRONOGRAMA DE SECADO AL AIRE Y CONVENCIONAL DE MADERA DE TECA.

Carga N°	Recolección (día/mes)	Secado al aire (día/mes)	Secado artificial (día/mes)
1	21-24/4	---	27/4-06/5
2	02-04/5	---	9-16/5
3	21-24/4	27/4-13/5	16-22/5
4	20-22/5	---	26/5-01/6
5	02-04/5	11/5-04/6	4-10/6
6	07-08/6	---	13-21/6
7	20-22/5	28/5-14/7	18-23/7
8	07-08/6	15/6-01/8	01-07/8

FUENTE: El autor (2020).

En cada fecha se apearon cinco árboles, obteniéndose cinco trozas de (B) y de (T). En la primera fecha se obtuvo tres tocones de cada árbol como se indica en la FIGURA 3.

FIGURA 3 - SELECCION, TUMBADO, TROZADO Y TRANSPORTE DE TROZAS DE TECA.



Troza B: Base; Troza T: Topo; Tocones: b: base; m: medio y t: topo.

FUENTE: El autor (2018).

Para la medición del volumen de las trozas sin considerar la corteza se empleó el método de Smaliam, mediante la siguiente ecuación (ALDANA, 2008).

$$V_m = \frac{\pi (D^2 + d^2)}{4 \times 2} \times A_u$$

Donde:

V_m : Volumen de las trozas (m^3).

D : Diámetro mayor (m).

d : Diámetro menor (m).

A_u : Altura útil (m).

En la TABLA 6 se presenta el volumen promedio de las trozas de la base ($B < a 3,5$ m) y del topo ($T > 3,5$) de cinco arboles por extracción realizada.

TABLA 6 - VOLUMEN DE MADERA DE LAS TROZAS DE B Y T DE 20 ARBOLES APROVECHADOS EN CUATRO EXTRACCIONES.

Determinaciones	Nivel de altura (**)	Volumen (m ³) de cinco árboles por Extracción (*).			
		1	2	3	4
Promedio	B	0,317 (a)	0,187 (a)	0,173 (a)	0,180 (a)
	T	0,217 (b)	0,128 (b)	0,130 (b)	0,122 (b)
Total	B	1,583	0,937	0,866	0,899
	T	1,087	0,639	0,650	0,611
Total (%)	B	59,3	59,5	57,1	59,5
	T	40,7	40,5	42,9	40,5
Promedio Total (%)	B	58,9			
	T	41,1			

(*) Los promedios de B y T en columna con la misma letra no presentan diferencias significativas por la prueba de Tukey y T-student con un 95% de confianza.

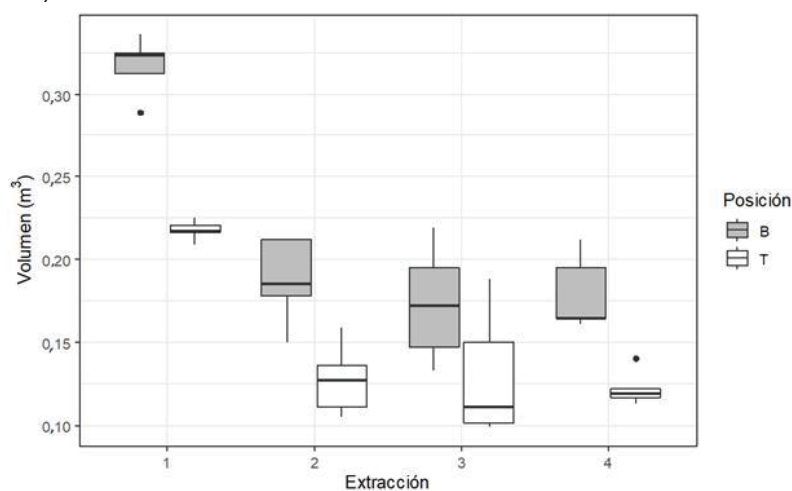
(**) B: Base; T: Topo.

FUENTE: El autor (2019).

El coeficiente de variación con respecto a la media por árbol y por nivel de altura fueron menores al 30%, siendo por ello confiables para los fines de la investigación (SALAS, 2018).

El análisis de varianza (ANOVA) del volumen de madera por posición longitudinal de la troza en B y en T de cada extracción mostró que existen diferencias significativas, y la prueba de Tuckey indicó que el volumen promedio de las trozas del nivel de altura B fueron significativamente mayores que los de T tal como se aprecia en la FIGURA 4.

FIGURA 4 - VOLUMEN PROMEDIO DE TROZAS DE B Y T DE CINCO ARBOLES DE TECA (*Tectona grandis*) DE 33 AÑOS DE PERU POR POSICIÓN LONGITUDINAL Y EXTRACCIÓN.



FUENTE: El autor (2019).

Según Camino y Morales (2013) árboles de teca de 18 años de hasta 10 m de fuste sin mejoramiento genético presentan un volumen promedio de $0,67 \text{ m}^3$, y arboles de la misma edad de semillas certificadas genéticamente y con aplicación de mejores prácticas silviculturales alcanzan un volumen de $0,8 \text{ m}^3$. Volúmenes mayores a los encontrados en el presente estudio con árboles de teca de 33 años.

Las trozas fueron trasladadas a la Maderera Hammer en el distrito de San Ramón, donde se elaboraron tablas de corte tangencial de $25 \times 150 \times 1000 \text{ mm}$ (espesor x ancho x largo).

El material debidamente codificado, fue transportado al laboratorio de Secado de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima – Perú.

3.4 ALBURA Y DURAMEN Y EXCENTRICIDAD DE MEDULA.

Para estimar la tendencia en la longitud del árbol del porcentaje de albura - duramen y excentricidad, se emplearon rodajas de tocones de cinco árboles de tres niveles de altura $0,25 \text{ m}$ (b), $3,75 \text{ m}$ (m) y $7,25 \text{ m}$ (t), indicadas en la Figura 2 y mostrados en la FIGURA 5.

FIGURA 5 - TOCONES DE TRES NIVELES DE ALTURA DE CINCO ARBOLES DE TECA.



FUENTE: El autor (2018)

La proporción de albura y duramen fue determinada en base a fotografías (16 megapíxeles) de rodajas de 10 cm de espesor, se delimitó las áreas de albura, duramen y corteza, procesadas con Autocad 2017 (BLANCO 2014).

Para determinar la excentricidad se emplearon igualmente fotografías (16 megapíxeles) de rodajas de 10 cm de espesor, las cuales fueron procesadas con Autocad 2017, determinando la excentricidad de la médula en base a la distancia de su ubicación al centro geométrico de la rodaja (FERREIRA et al., 2008; BLANCO, 2014) en base a la ecuación:

$$Exm = \frac{Dcm}{Dmr} \times 100$$

Donde:

Exm : Excentricidad de la médula (%).

Dcm : Distancia entre el centro geométrico y la posición de la médula (mm).

Dmr : Diámetro medio de la rodaja (mm).

3.5 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.

Para establecer la tendencia de las características anatómicas en la longitud de cinco árboles, se empleó la madera de cinco tocones de cada uno de los niveles de altura 0,25 m (b) y 7,25 m (t) indicadas en la Figura 2. La caracterización macroscópica se realizó con muestras de madera de 2 cm x 10 cm x 15 cm en orientación radial y tangencial, evaluándose el color (tabla Munsell, 1990), anillos de crecimiento, textura, veteado, poros, parénquima y radios.

La caracterización microscópica requirió láminas histológicas y tejido macerado, realizándose veinticinco mediciones por elemento anatómico: diámetro de poros, poros mm², longitud de vasos; altura y ancho de radios, número de células en ancho y alto de radio, radios por mm; diámetro, espesor y longitud de fibra. Para la disociación de los elementos y caracterización anatómica se consideró la metodología de Franklin (1945) y de la International Association of Wood Anatomist – (IAWA, 1989). Se utilizó el software LAS ES del microscopio Leica DM750 con cámara ICCHD de Leica acoplado a una computadora.

3.6 DENSIDAD, CONTRACCIÓN TOTAL Y PARCIAL DE LA MADERA.

Para estimar la tendencia en la longitud del árbol de la densidad y contracción total de la madera, se emplearon rodajas de tocones de cinco árboles de tres niveles de altura 0,25 m (b), 3,75 m (m) y 7,25 m (t), indicadas en la Figura 2 y mostrados en la FIGURA 5.

Para determinar la densidad se tomó en cuenta el procedimiento indicado en la Norma Técnica Peruana NTP 251.011 (2019), que establece los métodos a seguir bajo diferentes condiciones de contenido de humedad.

Para determinar la contracción total se tomó en cuenta el procedimiento descrito en la NTP 251.012 (2015), donde se establece los procedimientos a seguir en la ejecución de ensayos para determinar la contracción total radial, tangencial, longitudinal y volumétrica de la madera.

Al término del secado convencional se determinó la contracción parcial (% Cp) de la madera al 10% de contenido de humedad final, evaluándose las variaciones dimensionales en ancho y espesor de 20 tablas de cada una de las ocho cargas de madera del estudio, empleándose el pie de rey de 0,01 de precisión y la regla con precisión de un milímetro. Se considero la NTP 251.012.2015 que establece el método para determinar la contracción, se empleó la ecuación de la norma la cual fue utilizada por Klitzke (2002); Loiola (2015) y Zen (2016).

$$\% \text{ Cp} = \left(\frac{D_v - D_s}{D_v} \right) \times 100$$

Donde:

%Cp = Contracción parcial en la dimensión evaluada (%).

Dv = Dimensión verde (mm).

Ds = Dimensión seca al 10% de humedad (mm).

3.7 DETERMINACIÓN DE EXTRACTIVOS.

Para determinar el contenido de extractivos totales y su tendencia en la longitud del árbol, se realizó la extracción con alcohol tolueno y luego con agua caliente en tres posiciones radiales: duramen interno (a 1 cm de la medula), duramen externo (a 1 cm de la albura) y albura; y en tres niveles de altura (b) 0,25

m; (m) 3,75 m y (t) 7,25 m de cinco árboles conforme la posición indicada en la FIGURA 2. Se emplearon 2 g de aserrín de madera tamizada en malla de 40 mesh con tres repeticiones como lo indica la norma TAPPI T OS-59, para cada posición radial y longitudinal.

Para la extracción con tolueno se tomó como referencia la Norma TAPPI T OS-59, la cual indica la utilización de un equipo de extracción Soxhlet, utilizando un flujo constante de alcohol tolueno (AT) en la proporción de 1:2. El cálculo del contenido de extractivos se realizó en base a:

$$\%EAT = \left(\frac{PS1 - PS2}{PS1} \right) \times 100$$

Donde:

%EAT: Extractivos solubles en Alcohol Tolueno (%).

PS1: Peso de aserrín seco (g).

PS2: Peso de aserrín seco tratado con AT (g).

Para la extracción en agua caliente se tomó como referencia la Norma TAPPI T- 207-om-88, empleando 2 g de aserrín previamente extraído en alcohol tolueno (AT) en un Erlenmeyer con 100 mL de agua destilada y refrigerante reflujo, manteniendo en ebullición el agua por cinco horas aproximadamente. El cálculo del contenido de extractivos se realizó por:

$$\%EH2O = \left(\frac{PS2 - PS3}{PS2} \right) \times 100$$

Donde:

%EH₂O: Extractivos solubles en agua caliente (%).

PS2: Peso de aserrín seco tratado con AT (g).

PS3: Peso de aserrín seco tratado con agua caliente (g).

Se determinó los Extractivos Totales (%ET) mediante la suma de la extracción con tolueno y de la extracción en agua caliente.

$$\%ET = \%EAT + \%EH2O$$

3.8 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA DE MADERA PARA SECADO.

Las cargas de madera tuvieron las siguientes dimensiones: 500 x 1000 x 1000 mm (alto x ancho x largo), constituidas por 60 tablas de extremos sellados con cera líquida con dimensiones de 25 x 100 a 185 x 1000 mm (espesor x ancho x largo), dispuestas en 10 líneas o capas con un volumen aproximado de 0,25 m³ de madera. Se emplearon separadores de sección de 25 x 25 mm, según Denig; Wengert y Simpson (2000) y Salin (2004).

Se contó con cuatro columnas de separadores distanciadas entre sí cada 33 cm a lo largo de la pila, y a lo alto diez líneas de separadores (cuarenta separadores). Se tomó en cuenta la NTP 251.134 (2005), donde se establecen las características del apilado horizontal de la madera aserrada para procesos de secado convencional en hornos y al aire libre, con el objeto de que su aplicación prevenga la ocurrencia de defectos de forma y su control, como se muestra en la FIGURA 6.

FIGURA 6 - CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA DE MADERA DE *Tectona grandis* PARA EL SECADO AL AIRE LIBRE Y CONVENCIONAL.



FUENTE: El autor (2018).

Se seleccionaron cinco tablas de cada carga de madera, elaborándose del centro de cada una la probeta de control de secado (30 cm) mediante pesadas sucesivas con balanza de precisión de 0,1 g; el contenido de humedad inicial promedio de la carga se determinó con dos probetas de 25 mm de largo de la zona adyacente a los extremos de la probeta de control de secado de las cinco tablas seleccionadas (10 probetas), como se muestran en la FIGURA 7. Se empleó el método de la estufa descrito en la NTP 251.010 (2014), aplicándose la ecuación:

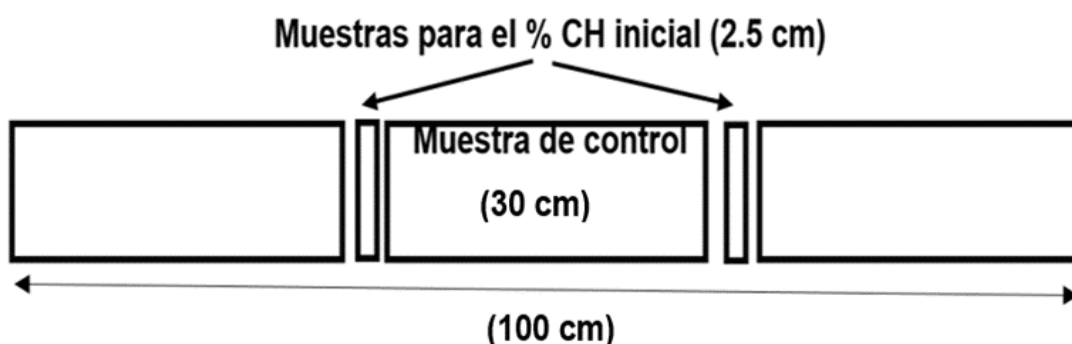
$$\%CHI = \left(\frac{Mh - Ms}{Ms} \right) \times 100$$

Donde:

%CHI = Contenido de humedad inicial.; Mh = Masa húmeda de la muestra (g).

Ms = Masa seca anhidra de la muestra (g).

FIGURA 7 - MUESTRAS DE HUMEDAD INICIAL Y CONTROL DE PROCESO.



FUENTE: El autor (2018).

La estimación de la masa al 0% de contenido de humedad de las cinco probetas de control se calculó por:

$$Ma\ 0\% = \frac{Mh \cdot 100}{100 + \%CH}$$

Donde:

Ma 0% = Masa anhidra de la probeta de control a 0% de humedad (g).

Mh = Masa húmeda de la probeta de control (g).

%CH = Contenido de humedad de la probeta de humedad (%).

3.9 PRESECADO DE LA MADERA AL AIRE LIBRE.

El secado al aire fue realizado en la Sección de Preservación y Secado de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, tomándose en consideración las recomendaciones de Denig, Wengert y Simpson (2000).

El apilado horizontal se realizó sobre una base de 45 cm de alto del suelo, compuesta por seis ladrillos (pilotes) de dimensiones de 90 x 120 x 220 mm (espesor x ancho x largo), dos largueros de dimensiones de 130 x 75 x 1000 mm (espesor x ancho x largo) y cuatro travesaños de dimensiones de 100 x 75 x 1000 mm (espesor x ancho x largo). La carga de madera descrita en el ítem 3.11, se protegió de los rayos solares y precipitaciones, como se muestra en la FIGURA 8.

FIGURA 8 - SECADO AL AIRE LIBRE DE CARGAS DE MADERA DE TECA.



FUENTE: El autor (2018).

El seguimiento del proceso de secado al aire de cuatro cargas de madera se realizó mediante el pesado de cinco muestras de control de secado tres veces por semana, hasta alcanzar un valor promedio de 35 % cercano al Punto de saturación de las fibras (PSF) (SANTOS, 2002). El presecado se realizó entre los meses de abril y agosto del 2018, con un clima promedio caracterizado por una temperatura promedio de 17,3°C, humedad relativa promedio de 81,7% y velocidad

de aire promedio de $1,3 \text{ m s}^{-1}$ (SENAMHI, 2018). A partir del PSF la carga de madera según cronograma de la Tabla 5, fueron acondicionados en la cámara de secado convencional, aplicándose el mismo programa y metodología empleados para el secado de las cargas de madera sin previo secado al aire libre.

3.10 CARACTERISTICAS DE LA CAMARA DE SECADO UTILIZADA.

Se usó una cámara piloto tipo convencional como se muestra en la FIGURA 9, con capacidad aproximada de $1,2 \text{ m}^3$ y dimensiones de: $1000 \times 1000 \times 2400 \text{ mm}$ (ancho x alto x largo) sobre un carro de metal de $1000 \times 2400 \text{ mm}$ (ancho y largo), para transporte sobre rieles del interior al exterior de la cámara. La cámara se adecuó para el volumen de $0,25 \text{ m}^3$ de cada uno de los ocho lotes de madera del estudio, con dimensiones de $1000 \times 500 \times 1000 \text{ mm}$ (ancho x alto x largo).

FIGURA 9 - CAMARA DE SECADO Y SISTEMAS DE CONTROL UTILIZADA PARA SECADO DE MADERA DE *Tectona grandis*.



LEYENDA: (1) Vista general de la estufa (2) Ventilador (3) Intercambiador de calor (4) Sistema de humidificación (5) Tanque para aspersión de agua (6) *Dumper's* (entrada y salida del aire) (7) Sistema de medición de la temperatura y humedad de equilibrio (8) CPL (Controlador lógico programable).

FUENTE: El autor (2018).

Las velocidades del aire requeridas se lograron mediante dos ventiladores axiales con motor sellado tipo H, de 0,5 Hp de potencia c/u, con regulador de velocidad e inversor de flujo. La verificación de las velocidades requeridas $2,5 \text{ m s}^{-1}$ y $3,5 \text{ m s}^{-1}$, se realizó con el anemómetro portátil TROTEC BA16 en el lado de carga de madera con salida de aire, tomándose en cuenta las recomendaciones de Boone et al (1992).

El calentamiento se realizó con dos resistencias de 3500 W de potencia cada uno. El incremento de la humedad relativa se reguló mediante un par de aspersores ubicados en el interior de la cámara, alimentados por el agua de un tanque de 1100 lt de capacidad impulsada por una bomba de 0,5 hp. El exceso de humedad relativa del aire de la cámara de secado se reguló mediante la apertura y cierre de dos ventilas o *dumpers*.

El equipo contó con un medidor de consumo de energía eléctrica (kW h) marca HEXING acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) del Perú, con el cual se obtuvo el consumo total de energía de las ocho cargas de madera.

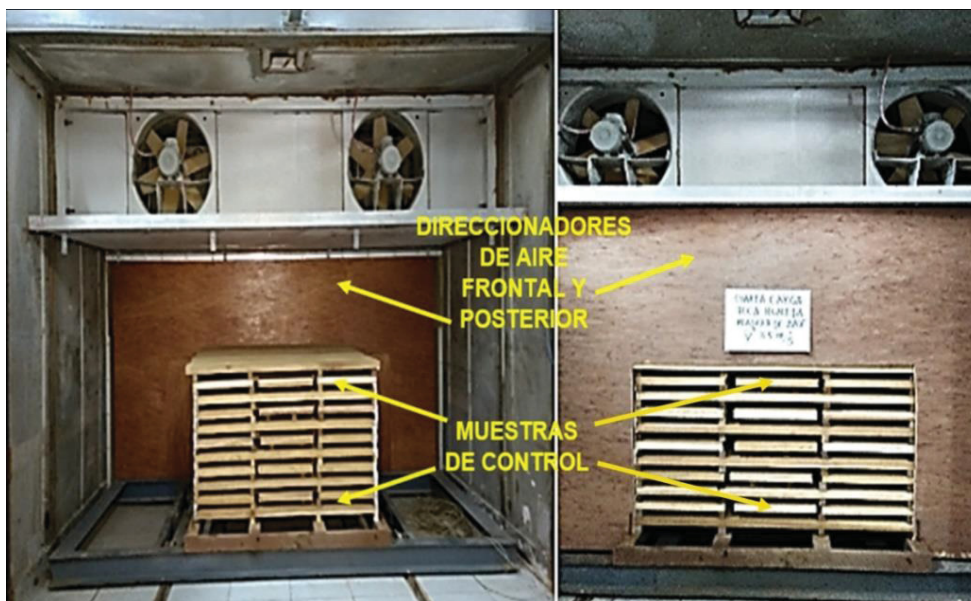
El controlador MC 2000 de la marca NIGOS permitió el control del proceso de secado de la madera de forma automática, semiautomática y manual mediante un computador en base a la información de la temperatura del aire, humedad relativa del aire, humedad del equilibrio (EMC) en dos puntos de medición c/u en el interior de la Cámara, y el contenido de humedad de la madera (MC) con ocho pares de pines sensores.

3.11 PROCESO DE SECADO CONVENCIONAL.

3.11.1 Preparación de la carga de madera.

La pila de madera se acondicionó en la cámara de secado como se muestra en la FIGURA 10, apreciándose el uso de dos tableros de madera (posterior y frontal a la carga) para direccionar el aire a través de la pila, evitándose el desarrollo de grietas en los extremos de las tablas que conforman la pila de madera (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

FIGURA 10 - UBICACION DE LA CARGA DE MADERA EN CAMARA PARA EL SECADO DE MADERA DE *Tectona grandis*.



FUENTE: El autor (2018).

Se elaboraron cinco muestras de control de secado con extremos sellados y ubicaron en el lado de la carga como se muestra en la Figura 9. Para el control de los sistemas de secado del horno se empleó el controlador automático NIGOS mediante la colocación de ocho pares de pines sensores en la mitad del espesor de ocho tablas (FERNANDEZ Y CONDE, 2007).

3.11.2 Acondicionamiento inicial.

Esta etapa consto de dos fases presentadas en la Tabla 7, la primera por 24 horas con una temperatura de termómetro de bulbo seco de 50 °C, y un contenido de humedad de equilibrio (CHE) de 19% (91 % de humedad relativa) para calentar la madera (JUNAC, 1989; FERNÁNDEZ; CONDE, 2007). La segunda fase con una temperatura de 50 °C y un CHE de 17,5% (87% de humedad relativa), para brindar a la madera un ambiente intermedio al ambiente inicial del programa de secado de la JUNAC, su aplicación fue hasta que la madera alcanzó el 60 % de contenido de humedad (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000), para evitar el desarrollo de tensiones y colapso experimentados por Betancurt, Herrera y Mejia (2000) en el secado de la teca con el mismo programa.

3.11.3 Secado propiamente dicho.

Para el desarrollo de esta etapa del proceso de secado se empleó el programa moderado de la JUNAC (1989), con temperatura inicial y final de 50 °C y 70 °C respectivamente y un potencial de secado promedio de 3,4 presentado en la TABLA 7. Loiola (2015) empleó potenciales de secado de 3.4 y 4.4 en el secado de madera de teca de 20 años sin presencia de colapso y defectos de estructura. A su vez Boone et al. (1988) recomienda para el secado artificial de la madera de teca de 1 pulgada de espesor temperaturas inicial y final de 60 °C y 82 °C respectivamente con un potencial de secado de 3,79 (programa T10-D4S).

Se realizó el secado de cuatro cargas de madera con contenido de humedad inicial saturado promedio de 95%, su desarrollo fue en base a la humedad promedio de cinco muestras de control como se muestra en la Figura 10, las cuales fueron pesadas cada 08 horas hasta alcanzar el 10 % de humedad promedio final, valor del CHE de ciudades de Puno, Arequipa y Cuzco en el Perú (JUNAC, 1989).

TABLA 7 - CONDICIONES DE SECADO DE LAS ETAPAS DEL PROCESO Y PROGRAMA DE SECADO MODERADO DE LA JUNAC PARA EL SECADO DE MADERA DE *Tectona grandis*.

Contenido de humedad (%)	Termómetro (°C)		Depresión termómetro húmedo (%)	Humedad relativa (%)	Humedad de equilibrio (%)	Tiempo y Potencia promedio de secado
	Bulbo Seco	Bulbo húmedo				
Acondicionamiento inicial	50	-	-	91	19	24 horas
	50	-	-	87	17,5	Variable
60 - 51	50	47	3	85	16	3,43
50 - 41	55	49	6	72	13	3,46
40 - 31	60	51	9	62	10	3,50
30 - 26	65	52	13	51	7,5	3,73
25 - 21	70	54	16	45	6,5	3,53
20 - 10	70	50	20	35	5	3,0
Igualación	70	-	-	35	5	Variable
Acond. final	55	-	-	85	15,5	24 horas

FUENTE: Adaptado de JUNAC (1989).

Con las cuatro cargas de madera con tratamiento previo de secado al aire hasta un contenido de humedad promedio del 36% cercano al PSF, se aplicó la primera fase del acondicionamiento inicial por 24 horas como a las demás cargas de madera, los restantes niveles del programa se aplicaron por el tiempo de una

hora cada uno con el objeto de aclimatar la madera hasta alcanzar el nivel del programa acorde a su contenido de humedad, a partir del cual el avance del programa se estableció según su reacción al secado (JUNAC, 1989)

3.11.4 Igualación de la humedad entre muestras de control.

Para reducir la dispersión de los valores de humedad de las maderas de las cargas de teca, se mantuvo el último nivel del programa de la JUNAC hasta que la muestra de control con mayor humedad alcanzó el 10 % de humedad como se indica en la TABLA 7, tomándose como referencia lo señalado por Tuset y Duran (1986), Denig, Wengert y Simpson, (2000) y Fernández y Conde (2007).

3.11.5 Acondicionamiento final.

Para disminuir el gradiente de humedad y las tensiones de secado de la madera al término de la etapa de igualación, se acondiciono las ocho cargas a un contenido de humedad de equilibrio del 15,5 % por un periodo de 24 horas como se indica en la TABLA 7. Tomándose como referencia lo señalado por Tuset y Duran (1986), Denig, Wengert y Simpson, (2000) y Fernández y Conde (2007).

3.12 EVALUACION DEL PROCESO DE SECADO.

Después de 24 horas de terminado el proceso de secado se evaluó el conjunto de reacciones de la madera en cada carga conforme el estudio de Loiola (2015), analizándose la influencia de la posición de la madera en la altura del fuste, la humedad inicial de secado de la madera y la velocidad del aire en las características de secado de la madera.

3.12.1 Humedad inicial.

Se determinó en base a la NTP 251.010 (2014) la humedad inicial de madera verde (H1) y la humedad inicial de secado en el PSF (H2), evaluándose las diferencias o uniformidad en cuatro cargas de madera respectivamente, para detectar el efecto en el tiempo y tasa de secado de las cargas de madera.

3.12.2 Tiempo de secado.

Se realizó el análisis de la duración de los tiempos de secado artificial de las ocho cargas de madera de teca con y sin tratamiento previo de secado al aire, determinándose la influencia de las variables de posición en la altura de fuste, humedad inicial y velocidad de viento, se tomó en consideración lo realizado por Zen (2016)

3.12.3 Tasa de secado.

Se determinó la tasa de secado de las ocho cargas de madera, en base a la variación del porcentaje de contenido humedad (CH) entre dos intervalos y el tiempo transcurrido del intervalo, siendo expresada en % CH / hora (KLITZKE, 2002; SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003; MARQUES, 2008; ZEN, 2016). Se emplearon las siguientes relaciones:

a) Tasa de secado de la condición verde hasta el 30% de contenido de humedad

$$V1 = \frac{\%CHI - 30\%}{T1}$$

b) Tasa de secado de la condición verde hasta el 10% de contenido de humedad

$$V2 = \frac{\%CHI - 10\%}{T2}$$

c) Tasa de secado del 30 % hasta el 10% de contenido de humedad.

$$V3 = \frac{30\% - 10\%}{T3}$$

Donde:

V1 = Velocidad de secado de la condición verde hasta el 30% de contenido de humedad (%CH/h).

V2 = Velocidad de secado de la condición verde hasta el 10% de contenido de humedad (%CH/h).

V3 = Velocidad de secado del 30% al 10% de contenido de humedad (%CH/h).

%CHI = Porcentaje de contenido de humedad inicial.

30% = Punto de saturación de las fibras.

10% = Contenido de humedad de equilibrio.

T₁, T₂, T₃= Tiempos de secado entre los rangos de humedad indicados (horas).

3.12.4 Consumo de energía eléctrica.

La medición del consumo de energía eléctrica fue realizada en promedio cada ocho horas y media con el medidor de consumo de energía eléctrica (kW h) marca HEXING. Para calcular el consumo de energía durante la extracción del agua libre e higroscópica, se calculó el consumo de energía (kW h) al 30% (PSF) de contenido de humedad, determinándose por ponderación entre los valores de consumo de energía y valores de contenido de humedad anteriores y posteriores al PSF.

$$C_{e\ 30\%} = \left(\left(\frac{30\% - CH\ p}{CH\ a - CH\ p} \right) * (C_{e\ a} - C_{e\ p}) \right) + C_{e\ p}$$

Donde:

C_e 30%= Consumo de energía al 30% de contenido de humedad (kW h).

30%= Punto de saturación de las fibras (%).

CH a= Contenido de humedad anterior al PSF (%).

CH p= Contenido de humedad posterior al PSF (%).

C_e a= Consumo de energía anterior al PSF (kW h).

C_e p= Consumo de energía posterior al PSF (kW h).

Determinado el consumo de energía eléctrica durante la extracción de agua libre, higroscópica y total se realizó las comparaciones porcentuales tomando como referencia la carga de madera de mayor consumo de energía, para evaluar el efecto en el consumo de la posición de la madera en la altura del fuste, la humedad inicial de secado y la velocidad del aire en la cámara de secado.

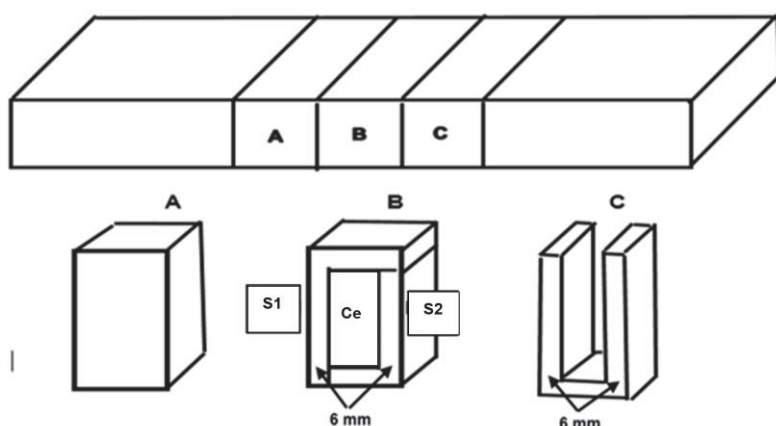
El cálculo del consumo de energía por porcentaje de contenido de humedad de agua libre, e higroscópica se determinó dividiendo el consumo de energía determinado para cada tipo de agua entre el porcentaje de humedad extraída.

3.13 DEFECTOS DE SECADO.

3.13.1 Contenido de humedad final.

El contenido de humedad final estimado en base a las cinco muestras de control de cada carga de madera al término del proceso de secado fue corroborado con la humedad final promedio de cinco muestras de humedad (A) mostrada en la FIGURA 11, obtenidas de cinco maderas secas seleccionadas al azar de cada carga de madera del estudio, tomándose en cuenta lo descrito en la NTP 251.010:2014 para determinar el contenido de humedad (CH) de la madera.

FIGURA 11 - PROBETAS PARA DETERMINAR HUMEDAD FINAL (A), GRADIENTE DE HUMEDAD (B) Y TENSION DE SECADO (C) DE MADERA DE *Tectona grandis*.



FUENTE: El autor (2018).

3.13.2 Gradiente de humedad (GH).

Se determinó la gradiente de humedad (G1 y G2) por muestra con los valores de %CH de la muestra del centro (Ce) y los de la superficie (S1) y (S2) respectivamente (SIMPSON, 1991). Evaluándose el efecto de la posición de la madera, humedad inicial de secado y velocidad del aire. En la FIGURA 11 se muestra la probeta empleada (B).

$$GH = \% CH \text{ INTERIOR} - \% CH \text{ EXTERNO}$$

3.13.3 Tensiones de secado.

Se evaluó la existencia de tensión en la madera mediante la prueba del tenedor (JUNAC 1989; SIMPSON 1991; TUSET; DURAN 1986). En la FIGURA 11 la muestra la probeta (C) utilizada para clasificar la madera como a) Libre de tensión b) ligera tensión c) con tensión y d) con tensiones invertidas (SIMPSON, 1991).

3.13.4 Alabeo de la madera.

Se evaluó los defectos de forma: encorvadura, combado, abarquillado, torcedura. Los defectos de estructura: colapso, grietas y rajaduras en los extremos y lados de las tablas no se hicieron presentes en la madera de las ocho cargas. Se tomó en cuenta las: NTP 251.101:1988 (2017) donde se brindan las definiciones de defectos de secado en madera aserrada, la NTP 251.114:1990 (2011) que describe el procedimiento para la clasificación por defectos de madera aserrada, y la NTP 251.102:1988 (2016) que indica el método de medición de defectos de secado.

3.14 ANALISIS ESTADISTICO.

Se empleó un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial de 2x3 presentado en la TABLA 8 para el desarrollo de los ocho ensayos de secado artificial de la madera de teca con dos niveles de humedad inicial (Madera verde (H1); PSF (H2)); dos Velocidades de circulación del aire $2,5 \text{ m s}^{-1}$ (V1) y $3,5 \text{ m s}^{-1}$ (V2) y dos niveles de ubicación de la troza (Base (B); Topo (T)). Con la estadística descriptiva se evaluó la dispersión de las observaciones. Asimismo, se corroboró la distribución normal y homocedasticidad de la información, para analizar la reacción de la madera mediante pruebas no paramétricas y paramétricas al nivel del 95% de probabilidad (SALAS, 2018).

TABLA 8 - DISEÑO EXPERIMENTAL.

Variable	Nivel
Contenido de humedad inicial	2 [Madera verde (H1); PSF (H2)]
Velocidad de circulación del aire	2 [$2,5 \text{ m s}^{-1}$ (V1); $3,5 \text{ m s}^{-1}$ (V2)]
Ubicación de la troza	2[Base (B); Topo (T)]

FUENTE: El autor (2018).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 PORCENTAJE DE ALBURA Y DURAMEN Y EXCENTRICIDAD DE MEDULA.

En la TABLA 9 se aprecia los valores porcentuales de los tejidos que conforman el árbol, y la tendencia de la variación no significativa de la proporción del duramen con la altura, siendo el porcentaje de duramen mayor que el de la albura en los tres niveles de altura y tendiendo a disminuir a mayor altura, mientras que el porcentaje de albura tiende a incrementarse. Los valores porcentuales de los tejidos con respecto a sus medias presentan coeficientes de variación (CV) aceptables al ser menores al 30 % (SALAS, 2018).

TABLA 9 - PORCENTAJE PROMEDIO DE DURAMEN, ALBURA Y CORTEZA EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ÁRBOL DE *Tectona grandis* – PLANTACIÓN DE 33 AÑOS.

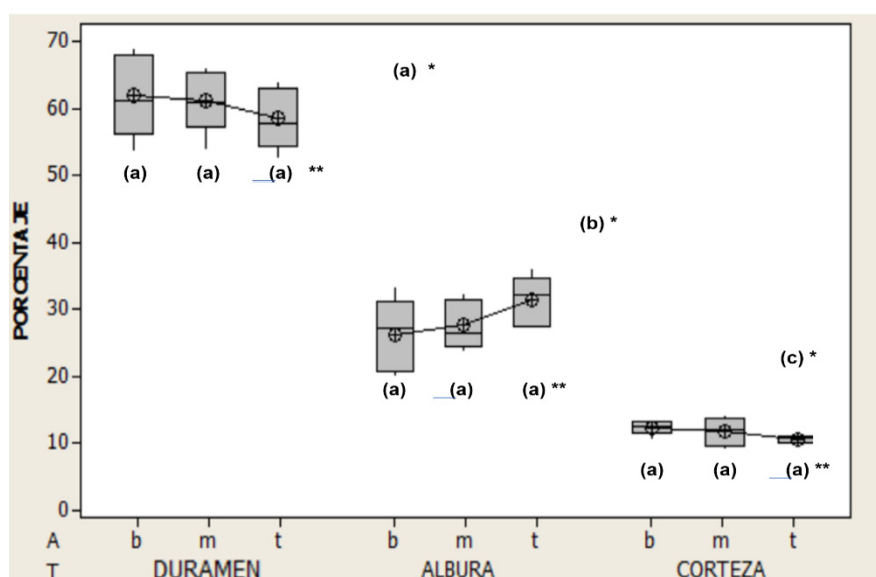
Altura promedio (m)	Áreas						
	Duramen		Albura		Corteza		Total
	% (*)	CV	% (*)	CV	% (*)	CV	%
b (0,25)	62,2	9,84	25,6	22,0	12,1	8,9	100
m (3,75)	61,4	7,52	27,1	14,1	11,5	19,0	100
t (7,25)	58,8	7,70	30,9	12,9	10,3	6,5	100
Promedio general (*)	60,81 (a)		27,86 (b)		11,33 (c)		

b: base; m: medio y t: topo.
FUENTE: El autor (2019).

La mayor presencia del duramen que la albura en los tres niveles de altura evaluados, así como la tendencia no significativa a disminuir del duramen y a incrementar de la albura con la altura, está relacionado con factores de crecimiento, ahusamiento y la diferenciación del duramen que ocurre en todo árbol (KOKUTSE et al., 2012). La presencia del duramen está relacionada con la de los extractivos, los cuales disminuyen su permeabilidad en comparación con el de la albura, influyendo en el tiempo de duración del secado y dependiendo de la calidad de la madera y conducción del proceso en la calidad de secado (JUNAC, 1989; MORESCHI, 2014). Las diferencias no significativas del porcentaje de duramen en la longitud del árbol en este estudio permiten esperar que su efecto en el tiempo, tasa y calidad de secado sea no significativo (SALAS, 2018).

El ANOVA mostró que las diferencias entre los porcentajes promedio de duramen, albura y corteza en los tres niveles de altura fueron significativas, siendo el porcentaje promedio de duramen significativamente mayor que el de la albura y este que el de la corteza a un nivel de significancia del 95 %. Mientras que las diferencias del porcentaje promedio de cada tejido en los tres niveles de altura del fuste y la interacción tejido – nivel de altura, no fueron significativas con un nivel de confianza del 95 % como se muestra en la FIGURA 12.

FIGURA 12 - TENDENCIA DEL PORCENTAJE PROMEDIO DE CORTEZA, ALBURA Y DURAMEN EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL FUSTE de *Tectona grandis* de 33 años.



(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre tejidos. Prueba de Tuckey.

(**) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas del tejido en los niveles de altura. Prueba de Tuckey.

FUENTE: El autor (2019).

Estudios de la teca con edad similar o mayor al presente trabajo coincidieron con los valores determinados, como Muñoz y Moreno (2013) que encontraron una proporción de 55 % de duramen en plantaciones de teca de 30 años en Costa Rica. Mientras que Pérez y Kanninem (2003) hallaron un 61% de proporción de duramen en plantaciones de 47 años también en Costa Rica.

Similar tendencia pero significativa fue observada por Fernández (2018) en 54 plantaciones de 2 a 24 años en Costa Rica, al encontrar que el diámetro y proporción de duramen decrecían significativamente a mayor altura del fuste de los árboles evaluados.

Fonseca (2003) con plantaciones de teca de 30 años de Costa Rica determino una proporción de duramen de 55%. Similar valor encontró Bhat (1995) al evaluar 102 árboles de una plantación de teca de 8 años en Nilambur (Kerala) donde la proporción del duramen en volumen fue del 30%, la mitad del valor encontrado en arboles de teca de 52 años. Concordando con ello Hardiyanto y Prayitno (2007) observaron en plantaciones comunitarias de teca de Java e Indonesia que el porcentaje de duramen fluctuó entre 52 a 78% en arboles de 10 a 40 años respectivamente.

Mientras en relacion al diámetro del árbol Tewari y Mariswamy (2013) afirman al estudiar arboles de teca de plantaciones de 11 a 36 años de Karanataka – India, que la proporción de duramen incrementó con el aumento del DAP. Al respecto Kokutse et al (2012) afirman que la proporción de duramen en los árboles de teca no solo depende de la edad del árbol, sino de la zona ecológica en la cual desarrollan.

Otros investigadores en teca de menor edad muestran resultados menores al del estudio, como Rivero y Moya (2006) que encontraron una proporción de duramen de 28 % en teca de 8 años de Cochabamba Bolivia. Blanco et al. (2014) determinaron una proporción de duramen de 51,4% en madera de teca de 13 años del estado de Minas Gerais. Asu vez Arce y Moya (2015) determinaron la presencia del duramen en 55 % en madera de teca de 15 años de Guanacaste en Costa Rica.

En la TABLA 10 se presenta el porcentaje promedio de excentricidad de la medula del árbol de teca, apreciándose que a 0,25 m (b) alcanza el mayor valor en relación con los otros dos niveles de altura, disminuyendo hacia la altura media (m) 3,75 m e incrementándose hacia el topo (t) a 7,25 m.

TABLA 10 - EXCENTRICIDAD PROMEDIO EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ÁRBOL DE *Tectona grandis*. DE UNA PLANTACIÓN DE 33 AÑOS DEL PERÚ.

Altura (m)	Excentricidad Media. (%)	Coefficiente de variación (%)
(b) 0,25	6,16 (a)	23,18
(m) 3,75	4,02 (b)	12,11
(t) 7,25	5,32 (ab)	15,92

(*) Letras iguales en columna indican que no existen diferencias significativas entre promedio de valores. Prueba de Tuckey.

b: base; m: medio y t: topo.

FUENTE: El autor (2019).

La presencia de médula excéntrica es debido a desviación de la medula con respecto al centro geométrico del árbol, está relacionada con la inclinación del terreno, el efecto del viento y genética de la especie (FERREIRA et al., 2008; BLANCO et al., 2014). Los valores de excentricidad mayores al 20% favorecen la presencia de leño en tensión y a presentar problemas en el procesamiento mecánico. (DENIG; WENGERT Y SIMPSON, 2000; FERREIRA et al., 2008; AKACHUKU; ABOLARIN, 1989).

El mayor valor de excentricidad encontrado en el presente estudio fue mucho menor al indicado por otros investigadores en arboles de teca, por lo que se espera que no afecte la calidad de secado de la madera por presencia de madera de tensión.

En relación con la dispersión de los valores, el coeficiente de variación (CV) de la excentricidad promedio de cinco árboles en los tres niveles de altura fue considerado como estadísticamente aceptable al ser menor al 30 % (SALAS, 2018).

El ANOVA mostró que los valores de excentricidad en los tres niveles de altura tuvieron diferencias altamente significativas. En la Tabla 10 la prueba de Tukey indicó que a 0,25 m de altura del árbol la excentricidad es significativamente mayor que a los 3,75 m, mientras que a los 7,25 m de altura no se encuentran diferencias significativas con los niveles anteriores. Esta tendencia de la excentricidad de no existir diferencias significativas entre los niveles de altura b y t nos permite esperar que no influya significativamente en la calidad de secado de las maderas cercanas a la base y a topo.

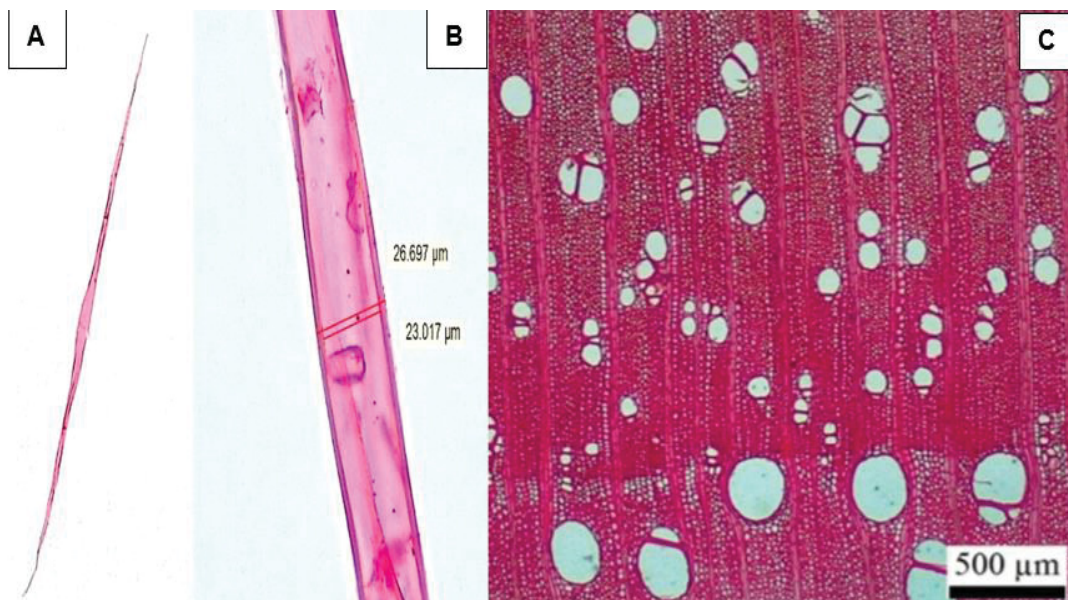
La mayor excentricidad del árbol en la base más que en los otros niveles de altura concuerda con lo hallado por Akachuku y Abolarin (1989), quienes estudiaron madera de teca de 18 años de la Reserva Forestal de Gambari cerca de Ibadan en el suroeste de Nigeria, determinando que la excentricidad de la médula varió del 13% a 15% a lo largo de los troncos de los árboles, siendo en promedio la excentricidad de la médula más alta en la base y en la parte superior del tronco comercial, indicando que esta condición está relacionada con el declive del terreno. A su vez Blanco et al. (2014) determinaron una excentricidad promedio de medula de 8,98% en madera de teca de 13 años del estado de Minas Gerais, mayor a la del presente estudio.

4.2 ANATOMIA Y PROPIEDADES DE LA MADERA.

4.2.1 Características anatómicas.

Macroscópicamente la albura de la madera de teca presentó un color amarillo cremoso y el duramen un color café oscuro con tonos verdosos, de sabor amargo y olor no característico, así como, brillo alto, grano recto, textura fina y vetado marcado con arcos superpuestos. Microscópicamente como se aprecia en la FIGURA 13 la madera de teca presentó porosidad circular y poros ovalados y redondos, múltiples radiales en grupos de dos a tres. Las fibras son libriformes con presencia de punteaduras aeroladas de tamaño muy pequeño.

FIGURA 13 - FIBRA, LUMEN Y POROSIDAD DE LA MADERA DE TECA DE 33 AÑOS.



A: Fibra libriforme. **B:** Diametro de fibra y lumen. **C:** Poros ovalados y redondos, múltiples radiales.
FUENTE: El autor (2019).

El parénquima se muestra en bandas terminales tipo marginal y paratraqueal vasicéntrico escaso con presencia de sílice. Los radios son medianos y relativamente escasos y los vasos con presencia de tilosis. Lo cual es coincidente con lo descrito por Cardoso et al. (2015) al estudiar madera de teca de 70 años de Lautem en Timor oriental. Las mediciones promedio de cinco arboles de teca de los elementos vasculares a la altura de 0,25 m. (b) y a 7,25 m (t) se muestran en la TABLA 11.

TABLA 11 - CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS EN PERÚ.

Características microscópicas	Niveles de altura Promedio		Coeficiente de variación	
	b (*)	t (*)	b (*)	t (*)
Diámetro tangencial Poros madera tardía (μm)	127,1 (a)	128,4 (a)	24,0	22,7
Diámetro tangencial Poros madera temprana (μm)	223,1 (a)	232,3 (a)	16,6	15,4
Poros por mm^2 . Madera tardía	6,9 (A)	6,8 (A)	21,4	14,5
Poros por mm^2 . Madera inicial ó temprana	5,8 (B)	6,5 (A)	16,4	16,2
Longitud de vasos (μm)	242,4 (B)	256,1 (A)	14,9	17,5
N° células en altura de radio	33,3 (B)	36,4 (A)	24,1	27,8
N° células en ancho del radio	3,8 (A)	3,7 (A)	19,8	18,1
Altura de radio (μm)	761,4 (a)	729,6 (b)	13,0	15,2
Ancho de radio (μm)	61,7 (A)	49,3 (B)	27,1	19,1
N° radios por mm.	4,5 (A)	4,2 (B)	17,7	16,2
Diámetro de fibra (μm)	25,5 (a)	23,9 (b)	19,9	17,7
Diámetro de lumen (μm)	19,7(a)	18,2 (b)	25,6	23,9
Longitud de fibras (μm)	1288,6 (a)	1289,2 (a)	14,6	12,4
Espesor de pared (μm)	4,5 (B)	4,9 (A)	27,1	18,4

(*) Altura b: base (0,25 m) y t: topo (7,25 m).

Prueba: no paramétrica (A, B); paramétrica (a, b).

Letras iguales en línea indican que no existen diferencias significativas entre los niveles b y t..

FUENTE: El autor (2019).

El coeficiente de variación con respecto a la media de las mediciones de los elementos celulares mostró una dispersión de los valores aceptables al ser menores al 30% (SALAS, 2018). La comparación de medias de las características microscópicas de la madera de teca en los dos niveles de altura del árbol permite apreciar que:

a). No se encontraron diferencias estadísticas para rechazar la hipótesis de igualdad de medias de las posiciones b y t en las siguientes características microscópicas: diámetro tangencial de poros en madera tardía, diámetro tangencial de poros en madera temprana, poros por mm^2 en madera tardía, número de células en el ancho del radio y longitud de fibras.

b). Se encontraron diferencias estadísticas para rechazar la hipótesis de igualdad de medias de las posiciones b y t, en las que en el nivel t los valores fueron significativamente mayores que en b en las siguientes características microscópicas: poros por mm^2 en madera temprana, longitud de vasos, número de células en altura de radio y espesor de pared.

c). Se encontraron diferencias estadísticas para rechazar la hipótesis de igualdad de medias de las posiciones b y t, en las que en el nivel b los valores son significativamente mayores que en t en las siguientes características microscópicas: Altura de radio, ancho de radios, número de radios por milímetro cuadrado, diámetro de fibra y diámetro de lumen.

Se aprecia que las características anatómicas estudiadas de la madera de teca de 33 años muestra a mayor altura del árbol tendencia en la disminución de los valores de frecuencia de radios, altura y ancho de radios, diámetro de fibra y lumen; y a incrementar los valores en espesor de pared, longitud de elemento de vaso y frecuencia de vasos por mm^2 , existiendo coincidencias con los resultados de Cardoso et al. (2015), quienes afirman que la variación longitudinal fue mínima, pero hacia la copa del árbol hubo una disminución del área del vaso, dimensión fibra, proporción de vasos y fibras, y un aumento de frecuencia de vasos, parénquima y proporciones de radios.

En relación con el mayor diámetro de fibra y lumen en la madera proveniente de (b) que en (t), y su influencia en las características de secado, Marques (2008) al evaluar 41 especies de maderas de la amazonia menciona que el ancho del lumen de las fibras mostró correlaciones significativas directas con el contenido de humedad inicial, la tasa de secado del estado saturado hasta el 12% de contenido de humedad y tiempo de secado de estado saturado a 12% de contenido de humedad. Las fibras con lúmenes más anchos pueden retener más agua libre, aumentando la humedad inicial. Por tanto, el tiempo de secado por encima del PSF se incrementa, provocando también el aumento en el tiempo total de secado. Por otro lado, bajo el PSF, el tiempo de secado fue más corto, ya que las fibras con lúmenes más anchos generalmente tienen paredes más delgadas y, por esta razón, contienen menos agua atrapada.

Concordando con ello Arruda (2013) señala que, al correlacionar las dimensiones de la fibra con las características de secado, el aumento del tiempo de secado se debió a la capacidad potencial para almacenar más agua a mayores dimensiones.

En cuanto a la no existencia de diferencias significativas en la longitud promedio de las fibras de los niveles de altura (b y t) encontradas en el presente estudio, se espera una reacción similar en la calidad de secado de ambas maderas,

dado que la variación de la longitud de fibras en sentido axial del árbol está relacionada con las diferentes edades formativas del leño (MEDINA et al., 2013), es por ello que en árboles de diferentes edades los bajos valores de longitud de fibra están asociados a la presencia de leño juvenil, los cuales se encuentran en alta proporción en arboles jóvenes producto de las plantaciones de rápido crecimiento acompañados de madera de reacción y tensión de crecimiento (CASSENS; SERRANO, 2004).

Ello concuerda con el valor promedio de longitud de fibra 1288,5 μm encontrado en el presente estudio con teca de 33 años y el de Blanco et al. (2014) en madera de teca de 13 años del estado de Minas Gerais en Brasil, con largo de fibra de 1090 μm .

Y con lo hallado por Arruda (2013) al evaluar el largo de fibra de la madera de teca de 9 y 13 años encontró 791,45 μm y 827,24 μm respectivamente, correspondiéndole el mayor valor al de mayor edad. Características que según Simpson (1991) inducen al desarrollo de defectos de secado de diferente grado dependiendo de la condición de la madera.

4.2.2 Densidad, contracción total y parcial de la madera de teca

La determinación de la densidad básica permite la reproducción de un valor constante, seguro y de utilidad para establecer comparaciones, mientras la densidad anhidra proporciona una estimación de la cantidad de material de la pared celular por unidad de volumen, mostrándonos una relación inversa con la tasa de secado, a su vez densidad saturada facilita observar cómo pueden afectar los tiempos de secado. En general, cuanto más densa sea la madera mayor dificultad de secado (JUNAC, 1989; DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000; KLITZKE 2002; MORESHI, 2014).

En la TABLA 12 se presentan los valores de densidad anhidra (D_a), densidad saturada (D_s) y densidad básica (D_b), apreciándose en las tres propiedades el mayor valor en el nivel de altura b (base), disminuyendo a media altura (m) e incrementándose a mayor altura o topo (t), sin llegar a superar al de la base, lo cual es concordante con la opinión de Moreshi (20014).

TABLA 12 - DENSIDAD PROMEDIO DE LA MADERA DE *Tectona grandis* EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ÁRBOL DE 33 AÑOS DE PERÚ.

Propiedad Física	Altura (*)	Promedio	CV (%)
Densidad saturada (g.cm ⁻³)	b	1,08	4,30
	m	1,03	7,75
	t	1,05	8,53
Promedio		1,05	
Densidad anhidra (g.cm ⁻³)	b	0,64	10,77
	m	0,59	8,63
	t	0,62	12,47
Promedio		0,62	
Densidad básica (g.cm ⁻³)	b	0,58	9,70
	m	0,54	7,87
	t	0,57	12,32
Promedio		0,56	

(*) b: base (0,25 m.), m: medio (3.75 m.) y t: topo (7,25).

FUENTE: El autor (2019).

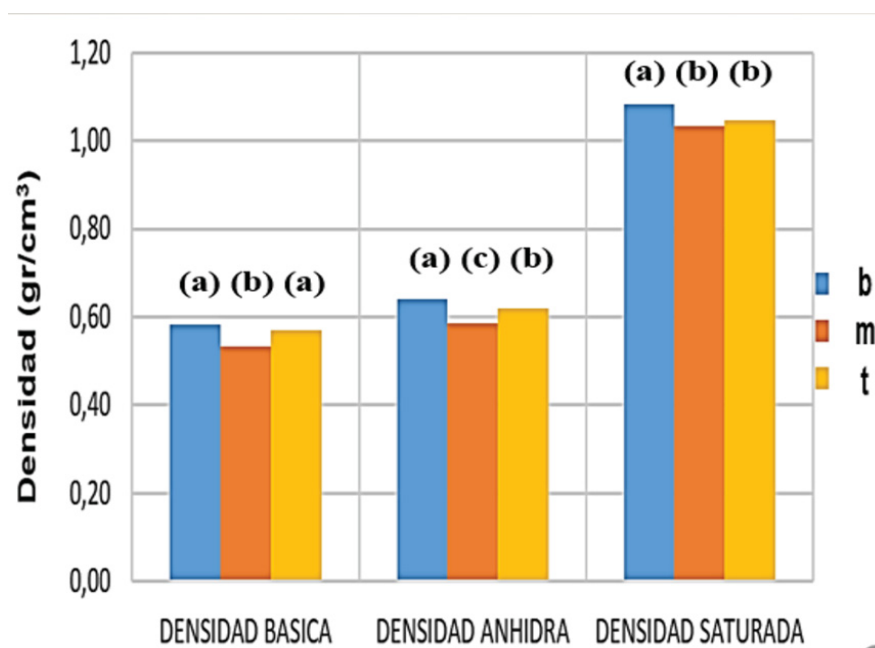
La tendencia a disminuir de la densidad básica, anhidra y saturada con la altura del árbol, se deben a que la región más antigua del tronco del árbol es la basal, la cual además de tener tejidos de soporte rígidos por su posición, también tiene una mayor proporción de madera adulta, mientras que las zonas del tronco que se acercan a la copa o topo no tienen esta madera de soporte diferenciada, sino una mayor proporción de madera juvenil que provoca una reducción gradual de la masa específica a medida que se aleja de la base (MDT, 2007; MORESHI, 2014).

A su vez Simpson (1991) y Viscarra (1998) señalan que en general cuanto más pesada es la madera, mayor es la cantidad de madera y el contenido de agua, por lo cual se esperó un mejor comportamiento y menor tiempo de secado de la madera de topo (T) que la de base (B).

La dispersión de las observaciones con respecto a la media presentó coeficientes de variación menores al 30% siendo confiable la información para el análisis de comparación (SALAS, 2018). Según la clasificación de la madera por DB propuesta por Aróstegui (1982), la densidad básica media de la madera de teca del presente estudio con un valor promedio de 0,56 g cm⁻³ fue considerada como de densidad media, prediciendo el buen comportamiento en el secado observado en el presente estudio, dado que las maderas más densas son más difíciles de secar, (CASIN; LAXAMANA; TAMAYO, 1980; SIMPSON, 1991).

El ANOVA determinó que las diferencias de los valores promedio de densidad básica, anhidra y saturada en los tres niveles de altura fueron significativas con un nivel de confianza del 95%. En la FIGURA 14 se aprecia en base a la prueba de Tuckey que los valores de densidad promedios a 0,25 m (b) fueron significativamente mayores a los valores a 3,75 m (m) y a 7,25 m (t) de altura del árbol.

FIGURA 14 - TENDENCIA DE LA DENSIDAD BASICA, ANHIDRA Y SATURADA DE LA *Tectona grandis* de 33 años del Perú.



En las barras las letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre promedios. Prueba de Tuckey.

b: base (0,25 m), m: medio (3,75 m) y t: topo (7,25 m).

FUENTE: El autor (2019).

La disminución de la densidad de la base a topo en árboles de teca fue igualmente encontrada por Scarparo (2015) en plantaciones de 5 y 12 años. Blanco et al. (2014) con árboles de 13 años y Bonduelle et al. (2015) con árboles de 18 años.

Asimismo en otras especies comerciales se observaron igual tendencia, Vicente et al (2005) con *Pinus tecunumani* y *Pinus caribaea*. Weber (2005) con *Pinus taeda* L. Marion. Ríos et al. (2018) con *Pinus patula*. Trianoski et al. (2013) con *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*. Oliveira, Hellmeister y Filho (2005) evaluaron a siete especies de eucalipto, siendo la disminución de la densidad

altamente significativo en *E. tereticornis*, *E. paniculata* y *E. urophylla*, importantes en *E. pilularis*, *E. cloeziana* y *E. grandis* y no significativo en *E. citriodora*.

Las contracciones lineales y volumétrica total de la madera de teca se presentan en la TABLA 13, apreciándose mayores valores en la base con tendencia a disminuir con la altura del árbol en concordancia con los valores de densidad, la causa de la contracción se debe a la pérdida del agua higroscópica entre la estructura celulósica de la pared celular, las maderas con mayor densidad contiene más agua higroscópica que las de menor densidad y por eso las de mayor densidad tienen mayor contracción que las de menor densidad. (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

TABLA 13 - CONTRACCIONES DE LA MADERA EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DE PERÚ.

Propiedad física	Altura (*)	Promedio	CV
Contracción radial (%)	b	3,04	29,65
	m	2,78	24,15
	t	2,75	28,28
Promedio total		2,86	
Contracción tangencial (%)	b	7,34	30,17
	m	7,41	21,64
	t	6,64	18,44
Promedio total		7,13	
Relacion T/R	b	2,47	23,93
	m	2,68	15,26
	t	2,46	19,29
Promedio total		2,53	
Contracción longitudinal (%)	b	0,22	52,04
	m	0,16	70,50
	t	0,23	76,19
Promedio total		0,20	
Contracción volumétrica (%)	b	9,01	23,47
	m	8,67	18,40
	t	7,96	14,12
Promedio total		8,54	

(*) b: base (0,25 m), m: medio (3,75 m) y t: topo (7,25 m).

FUENTE: El autor (2019).

La contracción tangencial total promedio fue más del doble que la contracción radial total promedio, así la relación T/R promedio fue de 2,53, en general los valores mayores a 2,2 están asociados al desarrollo de alabeos durante el secado de la madera, por lo cual se esperaría la presencia de este defecto en el secado de la madera de base y de topo sin diferencias (FERNANDEZ; CONDE, 2007). Al respecto Casin, Laxamana y Tamayo (1980) indican que hay especies

con mayor relación T/R que tienen buen comportamiento al secado con un mínimo de grietas y alabeos.

La contracción longitudinal presentó el menor valor en la altura media (3,5 m), no observándose diferencias entre los niveles de altura (B: 0,25 m) y (T: 7,25 m), siendo su valor promedio de 0,2 %, mayores valores (1 a 1,5%) están asociados a la presencia de leño juvenil y su influencia en la presencia de alabeos, por lo cual se esperó que el desarrollo de alabeos no descalifique la madera según norma técnica empleada (MDT, 2007).

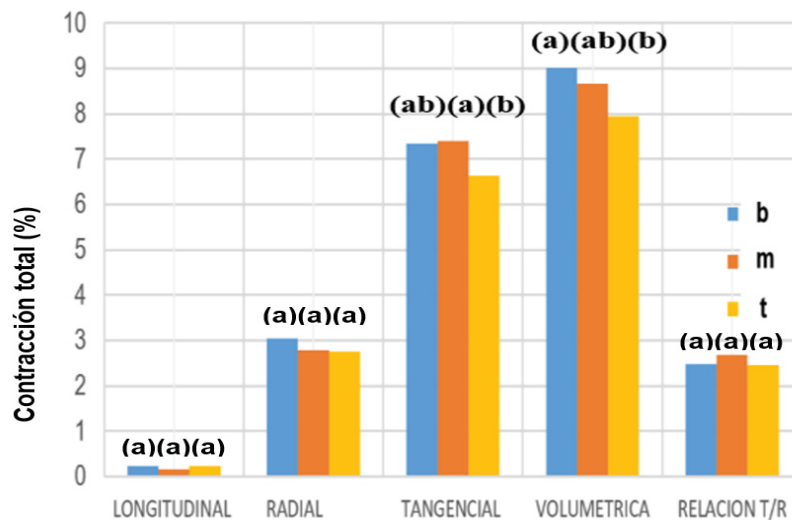
La contracción volumétrica fue mayor en madera de la posición del nivel de altura (b), disminuyendo con la altura del árbol en concordancia con los valores de densidad, (ANANIAS, 1992). Según la clasificación de la madera por contracción volumétrica propuesta por Aróstegui (1982), la contracción volumétrica de la madera de teca del presente estudio fue considerada como de muy baja (MB) al presentar un valor promedio de 8,54 %, lo cual explica el buen comportamiento al secado con escaso desarrollo de alabeos y grietas en las caras y extremos de la madera de teca de base y topo del presente estudio (SIMPSON, 1991; ANANIAS, 1992).

Los valores de contracción presentan un coeficiente de variación aceptable con excepción de los valores de la contracción longitudinal, los cuales fluctúan de 52,04% a 76,19% considerados poco confiables al ser mayores al 30 % (SALAS, 2018).

En la FIGURA 15 se aprecia el ANOVA del promedio de contracción tangencial y la prueba de Kruskal Wallis para el promedio de contracción volumétrica en los 3 niveles de altura, indican en ambos casos la existencia de diferencias altamente significativas con un nivel de confianza del 95 %. Por otro lado el ANOVA de los valores promedio de contracción radial, longitudinal y relación T/R de los 3 niveles de altura indican la no existencia de diferencias significativas entre los niveles de altura con un nivel de confianza del 95 %.

La comparación de promedios en los tres niveles de altura del árbol de la contracción tangencial por la prueba de Tuckey y de la contracción volumétrica por la prueba de Kruskal – Wallis, indican que los niveles de altura de fuste (b) y (m) presentan significativamente mayores valores que el nivel de altura (t).

FIGURA 15 - TENDENCIA DE LAS CONTRACCIONES TOTALES DE LA MADERA DE LA *Tectona grandis* de 33 años del Perú.



En las barras: letras iguales no existen diferencias significativas entre promedio de valores. Prueba de Tuckey.

b: base (0,25 m), m: medio (3,75 m) y t: topo (7,25 m).

FUENTE: El autor (2019).

La madera de 33 años del presente estudio mostró mayores valores en contracción radial (2,86), tangencial (7,13), axial (0,20) y volumétrica (8,54) que diversos investigadores en madera de teca de diferentes edades, como Pinto (2007) en plantaciones de 30 años del Municipio de Jangada y Cáceres en el Estado de Mato Grosso, determinó: 2,54; 4,06; 0,21 y 7,41. Loiola (2015) en plantaciones de 20 años del municipio de Cuiabá en el Estado de Mato Grosso determinó: 1,99%; 3,81%; 0,51%; 6,21%. Valero, Reyes y Garay (2005) en plantaciones de 20 años de la Reserva Forestal de Ticoporo, estado de Barinas en Venezuela. Encontró: 2,48; 3,38; 0,31 y 6,22. Crespo et al (2008) en plantaciones de Quevedo en Ecuador de 22 años halló: 2,04%; 5,66%; 0,41% y 8,11%. Observándose que las maderas menores de 22 años mostraron contracciones longitudinales mayores al del presente estudio.

En cuanto a la relación T/R determinada en el presente estudio (2,53) diversos autores hallaron menores valores como: Muñoz y Moreno (2013) en plantaciones de 9 años halló un T/R de 1,57; Bonduelle et al (2015) con madera de teca de 18 años del Municipio de Brasnorte en Mato Grosso determinó un T/R de 2,27; Valero, Reyes y Garay (2005) en madera de teca de 20 años de Barinas en Venezuela un T/R de 2,20; Rodríguez et al (2014) en plantaciones de 21 años de Chiapas - México un T/R de 2,4; y Pinto (2007) con madera de 30 años del estado

de Mato Grosso halló un T/R de 1,2 . Por otro lado, Crespo et al (2008) en madera de teca de 18 años de Balzar y de 22 años de Quevedo – Ecuador, hallaron un T/R de 2,63 y de 2,96 respectivamente, mayores al encontrado en el presente estudio.

En la TABLA 14 se muestran los valores de contracción parcial promedio en ancho y espesor de 20 tablas de las 60 que conformaron cada una de ocho cargas de madera secadas artificialmente al 10 % de humedad final en el presente estudio.

TABLA 14 - CONTRACCION PARCIAL PROMEDIO DE 160 TABLAS DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA EN SECADO ARTIFICIAL AL 10% DE HUMEDAD.

Humedad Inicial (*)	% Contracción parcial promedio	
	Espesor	Ancho
3 (TH2 V1)	2,24	3,92
5 (BH2 V2)	2,35	4,02
7 (TH2 V2)	2,41	4,05
8 (BH2 V1)	2,28	4,18
Promedio	2,32 (b) (**)	4,04 (a)
1 (BH1 V1)	2,30	4,25
2 (TH1 V2)	2,31	4,00
4 (BH1 V2)	2,37	4,47
6 (TH1 V1)	2,35	4,13
Promedio	2,33 (b)(**)	4,21 (a)

(*) B: base; T: Topo; V1: 2,5 m s⁻¹; V2: 3,5 m s⁻¹; H1: Humedad verde; H2: Humedad PSF.

(**) Letras iguales en las líneas de promedios indican diferencias no significativas. Prueba de t – student con nivel de confianza del 95%.

FUENTE: El autor (2019).

Se observó que los valores de contracción parcial en ancho son mayores que la contracción parcial del espesor debido al carácter anisotrópico de la madera, y al tender las tablas a una orientación de corte tangencial (FERNANDEZ; CONDE, 2007).

El ANOVA mostró la existencia de diferencias significativas entre los valores de contracción parcial en ancho y espesor de las tablas muestreadas, al respecto la comparación de medias por la prueba de t – student confirmó que la contracción parcial en ancho fue significativamente mayor a la contracción parcial en espesor. Asimismo, se encontró que la posición de la madera en el árbol (B y T), la humedad inicial de secado (H1 y H2) y la velocidad del aire (V1 y V2) en la cámara de secado, así como sus interacciones no causaron efecto en los valores de contracción.

Las contracciones parciales de la madera de teca 33 años del presente estudio (2,33 % en espesor y 4,13% en ancho) al 10% de humedad final fueron mayores a los encontrados por: Loiola (2015) en madera de 20 años a la humedad final del 12,5 % (1,14 y 1,93 en espesor y ancho). Asu vez Blanco et al (2014) en madera de teca de 13 años al 12% de humedad una contracción en espesor de 1.175 y ancho de 2.3%. Wanneng, Ozarska y Daian (2014) con madera de teca de 10, 15, 20 y 25 años hallo contracciones en espesor de 1,48% a 1,54% y en ancho de 2,68% a 2,75% al 12 % de humedad. Ello se debe a la edad de la madera que influye en el incremento de su densidad (PINTO, 2007) directamente relacionada con la contracción (MORESCHI, 2014). Adicionalmente debe considerarse que la humedad final en el presente estudio fue menor.

4.2.3 Determinación de extractivos.

En la TABLA 15 se muestran los porcentajes promedios de extractivos totales de tres posiciones radiales en tres niveles de altura del fuste de teca.

TABLA 15 - PROMEDIO DE EXTRACTIVOS Y COEFICIENTE DE VARIACION DE TRES POSICIONES RADIALES Y LONGITUDINALES DE CINCO ARBOLES DE TECA DE PERÚ.

Nivel de Altura (m)	Posición Radial	Promedio Extractivos (Totales) (%)	CV
0,25 (b)	Albura	10,88	18,30
	Duramen Externo	14,65	29,64
	Duramen Interno	8,06	3,62
	Promedio	11,20 (a) *	
3,75 (m)	Albura	9,43	6,22
	Duramen Externo	11,43	35,01
	Duramen Interno	7,50	4,17
	Promedio	9,45 (a) *	
7,5 (t)	Albura	7,33	12,68
	Duramen Externo	9,29	4,99
	Duramen Interno	8,86	1,58
	Promedio	8,49 (a) *	
Promedio por tipo de leño	Albura	9,21	
	Duramen Externo	11,79	
	Duramen Interno	8,14	
Promedio General		9,71	

* Letras iguales en columna indican diferencias no significativas de los promedios con un valor de $p = 0,402$, Prueba de Tuckey.

FUENTE: El autor (2019).

Los coeficientes de variación (CV) de las observaciones muestran, con excepción del duramen externo en el nivel de altura (m), una dispersión con respecto a la media $< 30 \%$ siendo confiable para los fines del estudio al provenir de una población homogénea (SALAS, 2018).

En la TABLA 15 se aprecia que en dirección radial los mayores valores de contenido de extractivos se encuentran en el duramen externo, disminuyendo en dirección a la posición del duramen interno y a la albura manteniendo esta tendencia en los tres niveles de altura, encontrándose los mayores valores de extractivos a 0,25 m de la base del árbol tendiendo a disminuir a mayor altura.

Según estudios realizados la tendencia del contenido de extractivos en sentido radial y longitudinal del fuste del árbol obedece a la genética, la edad y al hábitat del árbol (SIMATUPANG; ROSAMAH; YAMAMOTO, 1995; MOYA; BOND; QUESADA, 2014).

Estas variaciones del contenido de extractivos de la madera adicionalmente a si es albura y duramen y su proporción, explican los diferentes valores de humedad de las muestras de control durante el proceso de secado, al afectar la permeabilidad de la madera influyendo en el desplazamiento de la humedad y el tiempo de duración del secado (JUNAC, 1989; DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

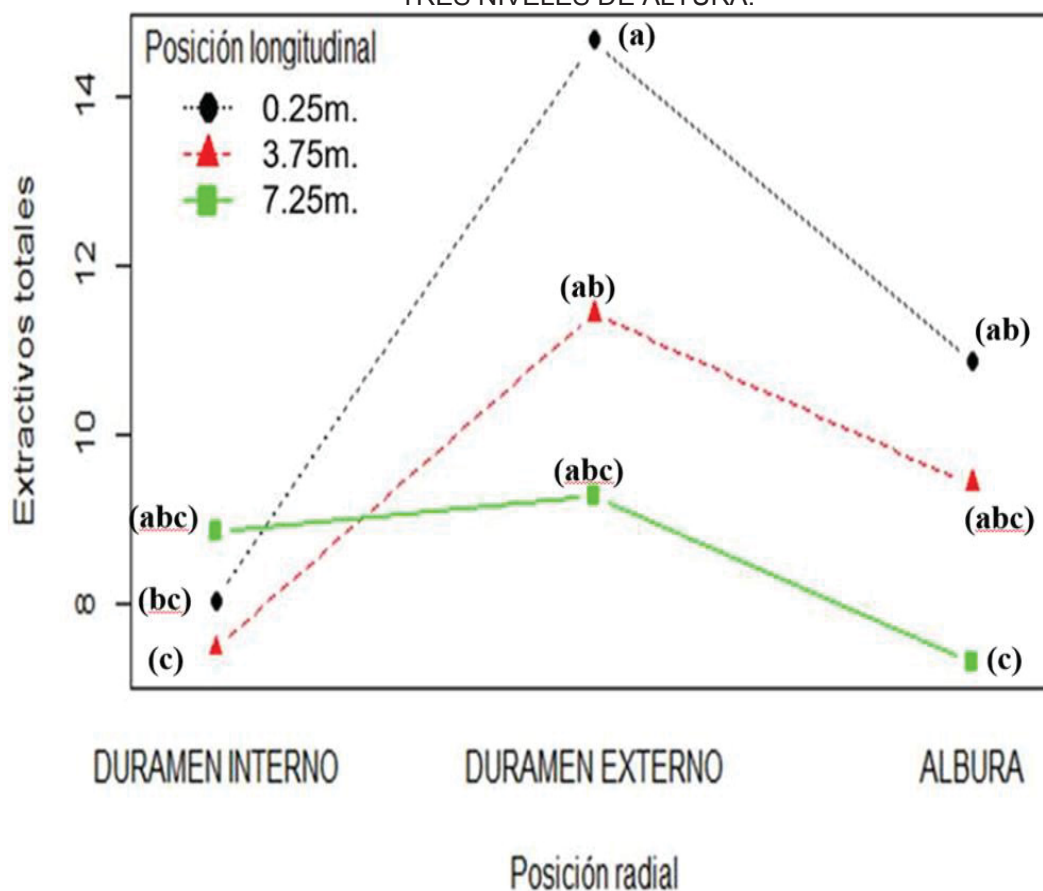
El ANOVA del promedio de contenido de extractivos en los tres niveles de altura mostro un valor de $p = 0,402$, por lo que el mayor valor del nivel 0,25 con relación a los de los niveles de mayor altura no es significativo.

Sin embargo el ANOVA de las diferencias observadas en la TABLA 15, evidenció la existencia de diferencias significativas principalmente por el efecto de la interacción entre la posición radial y nivel de altura (PREMRASMI; DIETRICH, 1967; LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2008; BHAT et al., 2010; MIRANDA; SOUSA; PEREIRA, 2011; QIU; LIU; LONG, 2019).

Así, en la FIGURA 16 se presentan los resultados de la prueba de Tukey de comparación de medias del contenido de extractivos, observándose en sentido radial que el contenido de extractivos de la zona del duramen externo es significativamente mayor al del duramen interno mas no al de albura en los niveles de altura 0,25 m y 3,75, y en la altura de 7,25 m no existen diferencias entre las tres zonas de tejidos.

En cuanto a la variación longitudinal del contenido de extractivos, en la zona de albura se aprecia que es significativamente menor en el nivel de altura 7,25 m en relación a los niveles de altura 0,25 m y 3,75 m que no muestran diferencias significativas. En cuanto a la zona de duramen externo no existen diferencias significativas entre los tres niveles de altura, mas en la zona de duramen interno el nivel de altura 3,75 m muestra significativamente menor contenido de extractivos que los niveles de altura 0,25 m y 7,25 m que no muestran diferencias significativas.

FIGURA 16 - CURVA DEL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS POR POSICION RADIAL Y EN TRES NIVELES DE ALTURA.



FUENTE: El autor (2019).

Al respecto el valor promedio de contenido de extractivos del duramen encontrado en el presente estudio con teca de 33 años (9,96 %), está acorde a lo observado por los siguientes investigadores, cuyos resultados se presentan en función de la edad de la teca. Así Lukmandaru y Sayudha (2019) con madera de 5 y 7 años de la provincia central de Borneo determinó 8,83% de contenido de

extractivos. Ypushima (2015) con plantaciones de 9 años del municipio de San Blas en Veracruz México, determino 8,8 %. Loiola (2015) determino 11,13% en madera de 20 años de Cuibá, Mato Grosso. Mientras Brocco et al. (2017) con madera de la misma edad del Vale do Rio Doce, Minas Gerais State, Brazil determinó 15,73 %. Pero al trabajar con madera de 33 años del municipio de Cáceres del estado de Mato Grosso determino 9,4% (BROCCO, 2019). y finalmente Thulasidas y Bhat (2007) determinaron 12,44% en madera de 35 años en Nilambur-Kerala.

4.3 EVALUACION DEL PROCESO DE SECADO.

4.3.1 Secado natural

En la TABLA 16 se muestran los valores promedios de las variables del clima en las fechas del secado al aire de madera cercana a topo y a la base hasta el 36% de humedad (cercano al PSF), las cuales sucedieron en las estaciones de otoño (19 de marzo al 19 de junio) e Invierno (20 de junio al 21 de septiembre) (SENAMHI, 2020).

TABLA 16 - CARACTERISTICAS DEL CLIMA DURANTE EL SECADO AL AIRE HASTA EL PSF DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ.

Carga de madera N°	Fecha (día/mes)	Clima promedio en el tiempo de secado al aire			
		Temperatura (°C)	Precipitación (mm/h)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del aire (m s ⁻¹)
(3) Topo	27/4-13/5	20,0	0,0005	76,4	1,55
(5) Base	11/5-04/6	17,7	0,0030	80,5	1,35
(7) Topo	28/5-14/7	15,9	0,0078	85,0	0,95
(8) Base	15/6-01/8	15,7	0,0089	84,8	1,05
Promedio		17,3	0,0051	81.7	1,30

FUENTE: Estación meteorológica de SENAMHI Estación Von Humboldt en la Universidad Nacional Agraria La Molina (2020).

El secado al aire de la carga 3 (topo) y 5 (base) se realizó en la estación de otoño y la carga 7 (topo) y 8 (base) entre las estaciones de otoño e invierno, siendo los valores de las variables climáticas de temperatura y velocidad del aire mayores en otoño que indujeron a un menor tiempo de secado, mientras que los valores de humedad relativa y precipitación fueron mayores en invierno que indujeron a un mayor tiempo de secado de la madera (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000; FERNÁNDEZ; CONDE, 2007). Por lo que independientemente de la posición de la

madera en el árbol (base o topo) las cargas 3 y 5 alcanzaron el contenido de humedad final aproximado del 36% en un menor tiempo con relación a las cargas 7 y 8.

En la TABLA 17 se muestra la tasa de secado del agua libre de las cuatro cargas de madera en secado al aire, observándose que con relación a las demás la carga 3 seco en menor número de días (15,5 días) con la mayor tasa de secado promedio (3,8 % de humedad por día) valor similar al encontrado por Braz et al. (2015) con teca de 17 años.

La correlación de Pearson mostró que la tasa de secado del agua libre con la temperatura (0,997) y la velocidad del aire (0,987) tuvieron una relación lineal positiva, contrariamente el tiempo de secado (-0,976), la Humedad relativa del aire (-0,996) y la precipitación (-0,97) tuvieron una relación lineal negativa, lo cual explica los resultados que son congruentes con lo observado por diversos autores en el secado al aire (JUNAC, 1989; SIMPSON, 1991; MDT, 2007).

TABLA 17 - TIEMPO Y TASA DE SECADO DEL AGUA LIBRE EN SECADO AL AIRE DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DE PERÚ.

Carga de madera N°	Horas de secado Totales	Días de secado			Contenido de humedad (%)			(**) Tasa de secado (% humedad/día)
		Otoño	Invierno	Total	Inicial (*)	Final (*)	Extraída	
(3) Topo	371	15,5	-	15,5	93,4 (a)	35,2 (a)	58,2	3,8 (a)
(5) Base	572	23,8	-	23,8	97,1 (a)	35,8 (a)	61,3	2,6 (b)
(7) Topo	1130	22,1	25,0	47,1	95,0 (a)	35,5 (a)	59,5	1,3 (c)
(8) Base	1122	4,0	42,8	46,8	91,9 (a)	36,3 (a)	55,6	1,2 (c)

(*) Letras iguales en la columna no presentan diferencias significativas en la prueba de Tuckey.

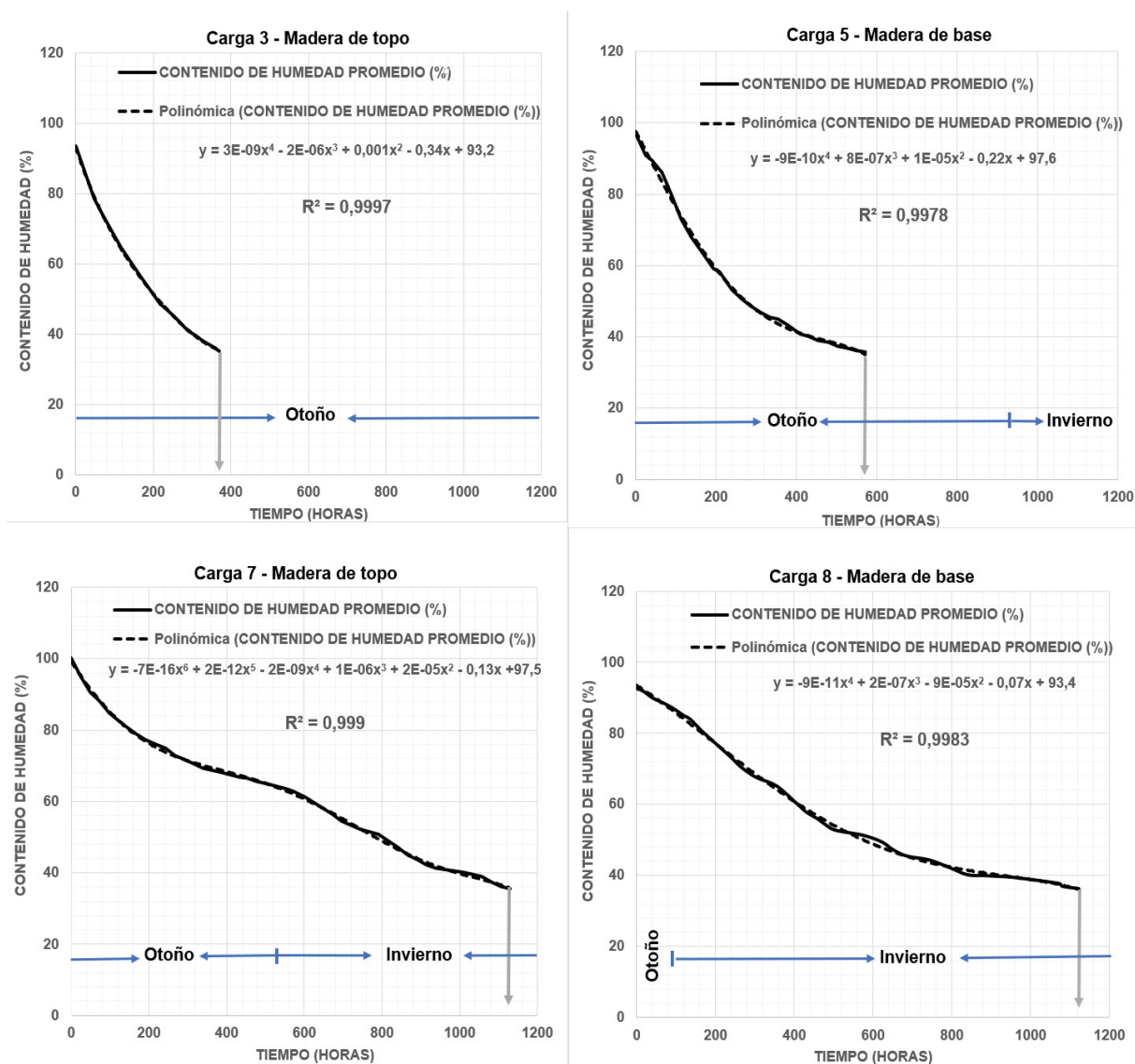
(**) Letras iguales en la columna no presentan diferencias significativas en la prueba de Fisher.

FUENTE: El autor (2020).

El ANOVA de la tasa de secado de las cuatro cargas ($p=0,00$) mostró la existencia de diferencias significativas, siendo significativamente mayor la tasa de secado 3,8 % humedad/día de la carga 3 (Prueba de Fisher) a un nivel de confianza del 95 %. La prueba de Tuckey y el ANOVA de la humedad inicial de madera verde ($p=0,904$) y de la humedad final cercano al PSF ($p=0,996$) de las cargas de madera no mostraron diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 % (SALAS, 2018), lo que indica que sus diferencias no influyeron significativamente en la determinación de la duración del tiempo de secado al aire de las cuatro cargas de madera, siendo los factores determinantes las variables climáticas (ZEN, 2016):

En la FIGURA 17 se muestran las curvas de secado al aire de las cuatro cargas de madera las cuales se ajustan a las curvas de tendencia polinómica con coeficientes de determinación entre el 99,78% al 99,97%,

FIGURA 17 - CURVAS DEL SECADO AL AIRE DE CUATRO CARGAS DE MADERA DE *Tectona grandis* de 33 años DEL PERÚ.



FUENTE: El autor (2020).

Observándose el efecto de las variables climáticas de la estación de otoño en el menor tiempo de secado de la carga 3, siendo el 65%, 32,9% y 33.1% del tiempo de secado al aire de las cargas 5, 7 y 8 respectivamente. El tiempo de secado de la carga 5 fue afectado por su cercanía a la estación de invierno que

indujo a una disminución de la temperatura de 20,0 °C (carga 3) a 17,7 °C y de la velocidad del aire de 1,55 a 1,35 m s⁻¹, así como un incremento de la humedad relativa de aire del 76,4 a 80,5%. Las cargas de madera 7 y 8 tuvieron un tiempo de secado promedio 300% mayor que la carga 3 por efecto de las variables climáticas de la estación de invierno que enlentecieron su secado (ZEN et al., 2019).

Al término del secado se realizó la evaluación visual de la presencia de defectos de secado en base a (NTP) 251.101 (1988), (NTP) 251.102 (2016) y la (NTP) 251.114 (2016), no observándose grietas en los extremos ni en las caras de las tablas, así como ningún tipo de alabeo en las maderas cercanas a la base y al topo del árbol.

En la FIGURA 18 se presenta la carga 7 apilada en la cámara del horno convencional luego de la evaluación de la presencia de defectos secado al término del secado al aire hasta el 36%, la ausencia de defectos de forma facilitó el apilamiento para el tratamiento de secado artificial (SIMPSON, 1991; FERNANDEZ; CONDE, 2007).

FIGURA 18 - CARGA DE MADERA N° 7 DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ AL TÉRMINO DEL PERIODO DE SECADO AIRE.



FUENTE: El autor (2020).

4.3.2 Secado artificial

4.3.2.1 Humedad inicial de las cargas de madera.

En la TABLA 18 se aprecia el contenido de humedad inicial de secado artificial de cuatro cargas de madera verde (H1) y cuatro cargas de madera al PSF (H2) por tratamiento previo de secado al aire.

TABLA 18 - HUMEDAD INICIAL DEL SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DE PERÚ.

Humedad inicial (%)	Cargas de madera (#)	Código (*)	Promedio	Coefficiente de variación (%)
Humedad de madera verde (H1)	1	B-V1H1	95,06	18,98
	2	T-V2H1	96,92	20,82
	4	B-V2H1	102,98	10,99
	6	T-V1H1	86,64	14,31
	Promedio General		95,40	
Humedad al \simeq PSF (H2)	3	T-V1H2	36,48	30,02
	5	B-V2H2	35,80	14,34
	7	T-V2H2	35,10	17,74
	8	B-V1H2	35,88	6,59
	Promedio General		35,82	

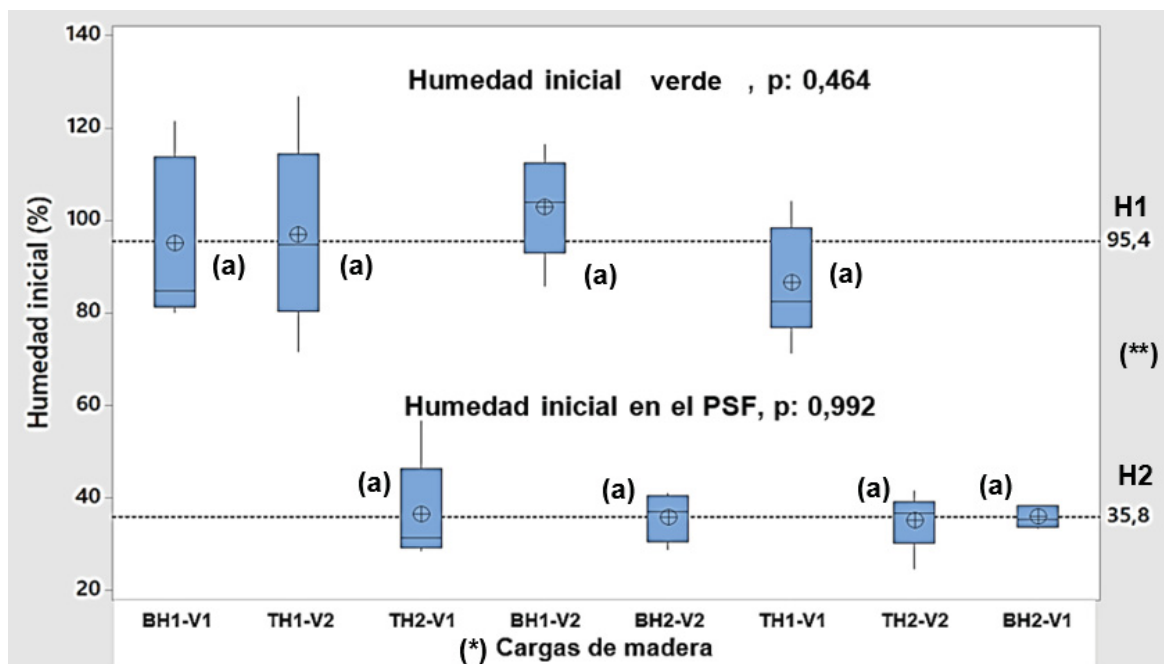
(*) B: base; T: topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el \simeq PSF.
FUENTE: El autor (2020).

La humedad inicial promedio del 95% de la madera verde en los veinte arboles se debe a que fueron aprovechados en los meses de abril, mayo y junio época húmeda para la zona de Chanchamayo, dado que el clima tiene influencia en su valor (KLITZKE, 2005). La humedad inicial verde o en el PSF de las cargas de madera presentaron coeficientes de variación iguales o menores al 30% (SALAS, 2018), siendo la dispersión de valores con respecto a su media confiable para los fines de la investigación, y favoreciendo el desarrollo del proceso de secado para obtener una humedad final uniforme en base a las reacciones similares de las cinco muestras de control a las condiciones de secado (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

El ANOVA (FIGURA 19) del grupo de cargas de madera con humedad inicial verde (H1) y de las cargas de madera con humedad inicial en el PSF (H2), determinó que las diferencias en ambas no fueron significativas ($p > 0,05$) a un nivel de confianza del 95 %. La no existencia de diferencias significativas (SALAS,

2018) en ambos niveles de humedad inicial, permiten afirmar que sus diferencias no influyeron significativamente en la duración del tiempo de secado de las ocho cargas de madera, permitiendo evaluar el efecto de la posición de la madera en la altura del fuste, la humedad inicial y velocidad del aire.

FIGURA 19 - ANOVA DE LA HUMEDAD INICIAL EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LAS MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ.



(*) B: base; T: topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el PSF.
 (**) Letras iguales en la fila de H1 y H2 no presentan diferencias significativas en el ANOVA.
 FUENTE: El autor (2020).

La humedad inicial promedio de 20 árboles del presente estudio fue de 95.4% con un rango de 86,6% a 102,9% resultados que concuerdan con los reportados por varios investigadores con madera de teca de diferentes edades como Betancurt, Herrera y Mejia (2000) con madera de 9 años de Puerto Libertador en Colombia. Alcoba (2009) en madera de 10 años del Valle del Sacta (Bolivia). Berrocal et al. (2017) con madera de 11 años de Costa Rica. Loiola et al. (2015) con madera de poblaciones homogéneas en el estado de Paraná en Brasil. Arce y Moya (2015) con madera de 15 años de Guanacaste en Costa Rica. Mientras Braz et al. (2015) con madera de 15 años en Vale do Rio Doce. Crespo et al. (2008) en madera de 18 años de Balzar en Ecuador. Loiola (2015) en madera de 20 años del municipio de Cuibá, Mato Grosso en Brasil. A su vez Romero (2010) con madera de 25 años en Satipo Perú.

4.3.2.2 Tiempo de secado artificial de las cargas de madera.

En el TABLA 19 se aprecia que las maderas con contenido de humedad inicial verde (H1) requirieron un tiempo total de secado artificial promedio mayor en 34,7% al de las maderas con humedad inicial cercano al PSF (H2).

TABLA 19 - TIEMPO DE SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA.

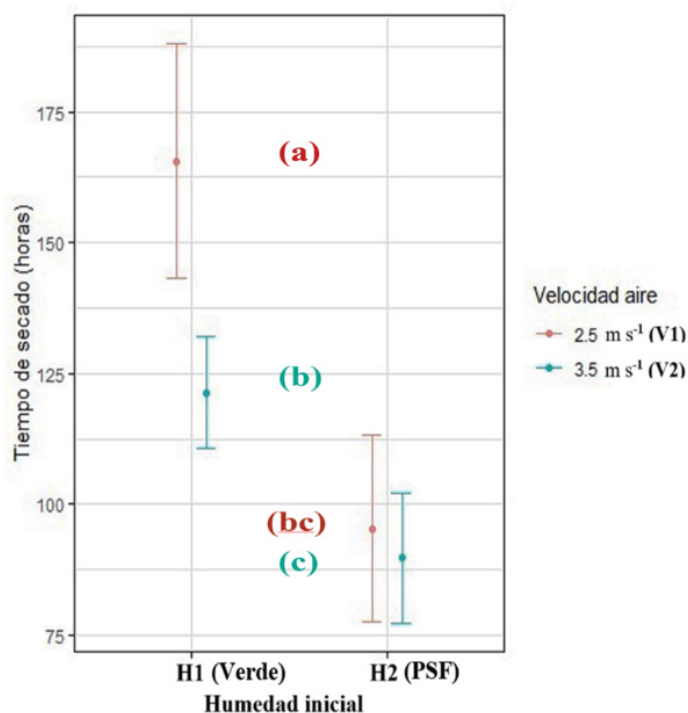
Carga de madera (*)	Etapas del proceso de secado				Tiempo total (horas)
	Acond. Inicial (horas)	Secado. Propiamente dicho (horas)	igualación (horas)	Acond. Final (horas)	
1 BV1H1	24,0	162,0	32,0	24,0	242,0
6 TV1H1	24,0	120,5	23,0	24,0	191,5
4 BV2H1	24,0	90,0	14,0	24,0	152,0
2 TV2H1	24,0	113,0	14,0	24,0	175,0
8 BV1H2	24	89,5	14,5	24,0	152,0
3 TV1H2	24	54,0	40,0	24,0	142,0
5 BV2H2	24	70,0	38,0	24,0	156,0
7 TV2H2	24	58,5	8,0	24,0	114,5

(*) B: base; T: topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el \approx PSF.
FUENTE: El autor (2019).

Lo observado de debe al secado al aire realizado en cuatro de las ocho cargas de madera hasta el PSF (H2) previo al secado artificial, con el cual se extrajo el agua libre disminuyendo el tiempo de secado artificial, dicho beneficio es señalado por Denig, Wengert y Simpson (2000), quienes afirman que la importancia del secado al aire es reducir el tiempo de secado en horno mediante el retiro del agua libre en torno al 30% a 35 %, lo cual es concordante con lo encontrado por Zen (2016) en el secado combinado al aire y artificial en madera de eucalipto.

El ANOVA determinó que las diferencias observadas entre los tiempos de secado de las ocho cargas de madera fueron significativas al hallar un valor de $p = 2,587 \times 10^{-7}$, y la prueba de Tukey cuyos resultados se muestran en la FIGURA 20 mostró que el tiempo de secado de la madera con humedad inicial (H1) fue significativamente mayor (a y b) que la madera con humedad inicial (H2) (bc y c) con un nivel de confianza del 95%.

FIGURA 20 - TENDENCIA Y SIGNIFICACION DEL TIEMPO DE SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ POR EFECTO DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.



Letras (a, b y c) iguales en columnas indican diferencias no significativas. Prueba de Tuckey.
FUENTE: El autor (2020).

Asimismo se observó (TABLA 19) que las maderas con humedad inicial de madera verde (H1) y velocidad de aire de 2,5 m.s⁻¹ (V1) tuvieron un tiempo de secado mayor en 32,6% al de las maderas con velocidad de aire de 3,5 m.s⁻¹ (V2), debido a la disminución del tiempo de secado por el incremento de la evaporación del agua de la madera a mayor velocidad del aire, lo cual concuerda con lo hallado por Aquino et al. (2010) y Wallace y Avramidis (2016) en otras especies forestales.

En maderas con humedad inicial del PSF o (H2) la velocidad de aire (V1) presentó igualmente un tiempo de secado mayor que las maderas con velocidad de aire (V2), pero con un incremento menor en el tiempo de secado (8,5%) al observado en madera verde, debido a la dificultad del secado del agua higroscópica dada su condición de ligada a diferencia del agua libre, así como porque la velocidad de secado de la madera decrece a menor humedad al depender su extracción del fenómeno de la difusión, tal como lo señalan Klitzke (2005) y Fernández y Conde (2007).

El ANOVA determinó que las diferencias observadas entre los tiempos de secado de las ocho cargas por el uso de dos velocidades del aire fueron significativas al hallar un valor de $p = 0,0037$; la prueba de Tukey (FIGURA 20) mostró que el tiempo de secado de la madera con humedad inicial (H1) fue significativamente mayor con la velocidad de aire (V1) (a) que con (V2) (b). Mientras que el tiempo de secado de la madera con humedad inicial (H2) no mostró diferencias significativas con la velocidad de aire (V1) (bc) y (V2) (c) con un nivel de confianza del 95%, lo cual es coincidente con lo hallado por Steiner et al. (2011) y Wallace y Avramidis (2016) en otras especies forestales.

En relación a la posición de la madera en la altura del fuste, se apreció que el tiempo de secado promedio de las maderas del nivel de altura B (< 3,5 m) fueron mayores en 13,7% al del tiempo de secado promedio de las maderas de T (> 3,5 m), ello responde al mayor valor de la densidad y del contenido de extractivos en la madera cercana a la base en relación a la de la copa del árbol (determinados en el presente estudio), lo cual concuerda con lo indicado por Fernández y Conde (2007) y Moreschi (2014) en relación al efecto de la densidad, y a lo señalado por Connors (2012) y Lukmandaru y Sayudha (2019) al efecto de los extractivos en las características de secado de las maderas.

En lo referente al ANOVA por efecto de la posición de la madera en la altura del árbol no existieron diferencias significativas al determinarse un valor de $p = 0,053$ con un nivel de confianza del 95%. Según Bonduelle et al. (2015) al analizar las variaciones de las propiedades físicas de la madera de teca de 18 años del municipio de Brasnorte estado de Mato Grosso, no observaron igualmente diferencias significativas.

Sin embargo, Deomano (1995) al secar madera de *Kaatoan bangkal* [*Anthocephalus chinensis Lamk*] Rich. ex. Walp], madera de caucho [*Hevea brasiliensis* (HBK) Muell. yemane (*Gmelina arborea* R. Br.) y coco (*Cocos nucifera* L.). encontró diferencias significativas en el tiempo de secado en tres niveles de altura del árbol y entre especies.

En el presente estudio la humedad inicial promedio fue del 95% y el tiempo de secado con velocidad del aire de $2,5 \text{ m s}^{-1}$ fue de 242 horas para alcanzar el 10% de humedad, tiempo mayor al encontrado por Betancur, Herrera y Mejía (2000) con teca de 9 años de Puerto Libertador – Colombia, seco del 110 % al 12% en 110

horas. A su vez Berrocal et al (2017) con madera de 11 años de Costa Rica demoró 142 horas en el secado del 103% al 12,3%. Mientras Loiola (2015) trabajo con madera de teca de 20 años del municipio de Cuibá, Mato Grosso en Brasil, demorando 127 horas para el secado desde el 77%, al 10%. La mayor duración del secado se debe a que con la edad se incrementa la proporción de duramen y el porcentaje de extractivos como lo indican Miranda et al. (2011) y Moya et al. (2014), lo cual disminuye la permeabilidad del duramen y el desplazamiento del agua en la madera como lo señalan Ahmend y Chun (2011) y Berrocal et al. (2017).

4.3.2.3 Tasa de secado durante el proceso de secado artificial

En la TABLA 20 se aprecia una tasa de secado promedio del agua libre (1,08 %ch/hora) mayor en 300% a la tasa del agua higroscópica (0,27 %ch/hora).

TABLA 20 - TASA DE SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ POR EFECTO DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.

Variables del estudio		Tasa de secado promedio (%ch/hora)	
Del contenido de Humedad verde (H1) al PSF (H2)	Tipo de agua	Libre 1,08	
	Velocidad del aire	2,5 ms ⁻¹ (V1)	0,85
		3,5 ms ⁻¹ (V2)	1,32
	Posición de la madera	Base (B) *	1,16
		Topo (T)*	1,0
Del PSF (H2) al Contenido de humedad final (10%)	Tipo de agua	Higroscópica 0,27	
	Velocidad del aire	2,5 ms ⁻¹ (V1)	0,25
		3,5 ms ⁻¹ (V2)	0,28
	Posición de la madera	Base (B) *	0,25
		Topo (T)*	0,28

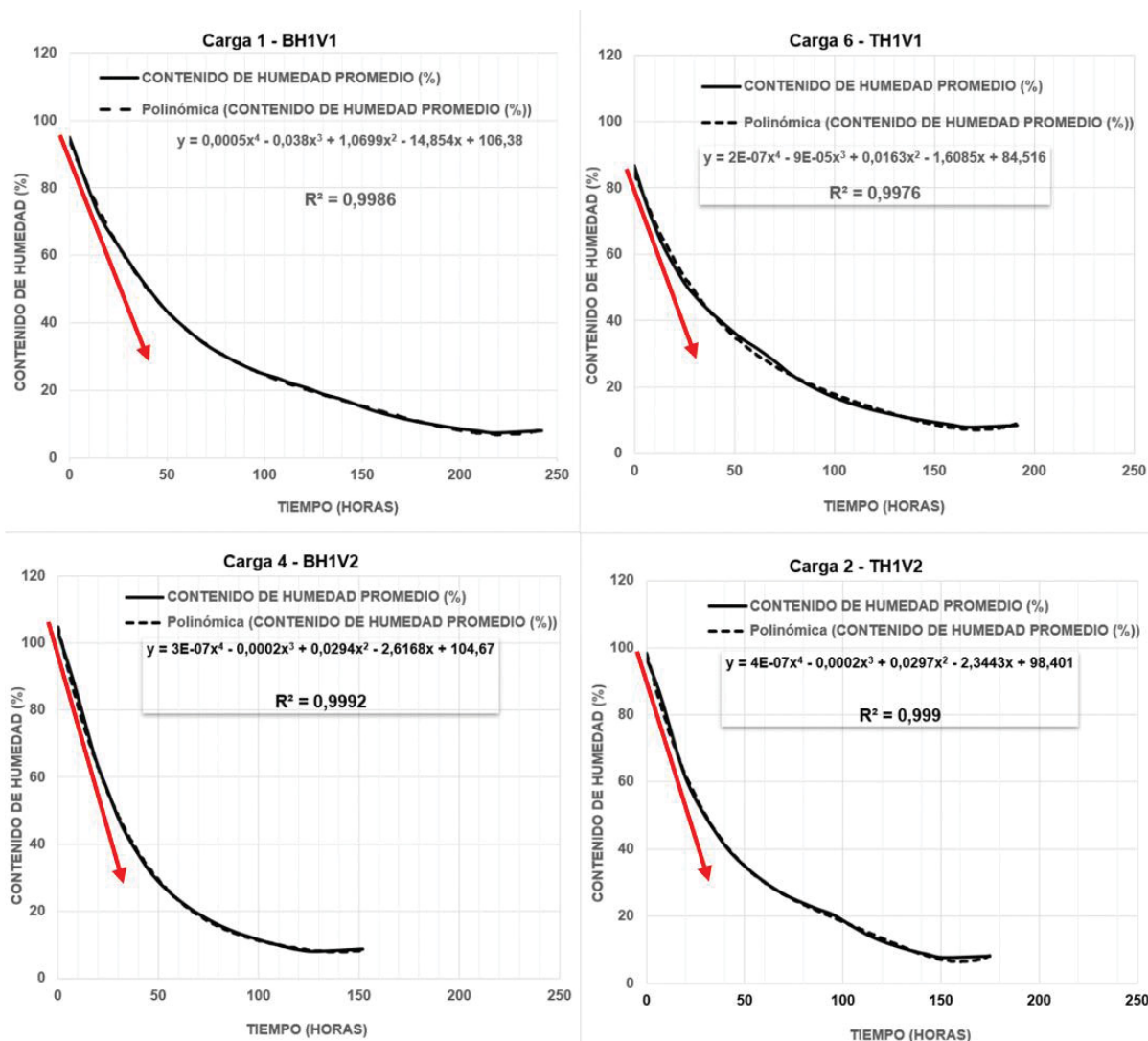
(*) B: Madera cercana a la base; T: Madera cercana al topo; PSF: Punto de saturación de las fibras.

FUENTE: El autor (2020).

La mayor tasa de secado del agua libre se debe a que si bien en la madera se producen dos tipos de flujo el movimiento capilar (agua libre) y el movimiento de difusión (vapor), el movimiento capilar predomina por encima del punto de saturación de la fibra, y el movimiento de difusión predomina por debajo de este punto, los dos tipos de flujos están estrechamente relacionados y no se puede producir una separación (TOMASELLI, 1974; SIAU, 1984). Al inicio del secado la superficie de la madera esta sobre el PSF, correspondiéndole un secado constante

por la condición no ligada del agua libre y por predominar el flujo capilar, en el cual la tasa de secado ocurre de forma lineal y constante para posteriormente disminuir en forma gradual, como se aprecia en las curvas de secado de las cuatro cargas de madera con humedad inicial de madera verde en la FIGURA 21 (SIAU, 1984; KLITZKE, 2005).

FIGURA 21 - CURVAS DEL SECADO ARTIFICIAL DE MADERA VERDE AL 10% DE HUMEDAD DE CUATRO CARGAS DE MADERA DE *Tectona grandis* de 33 años DEL PERÚ.

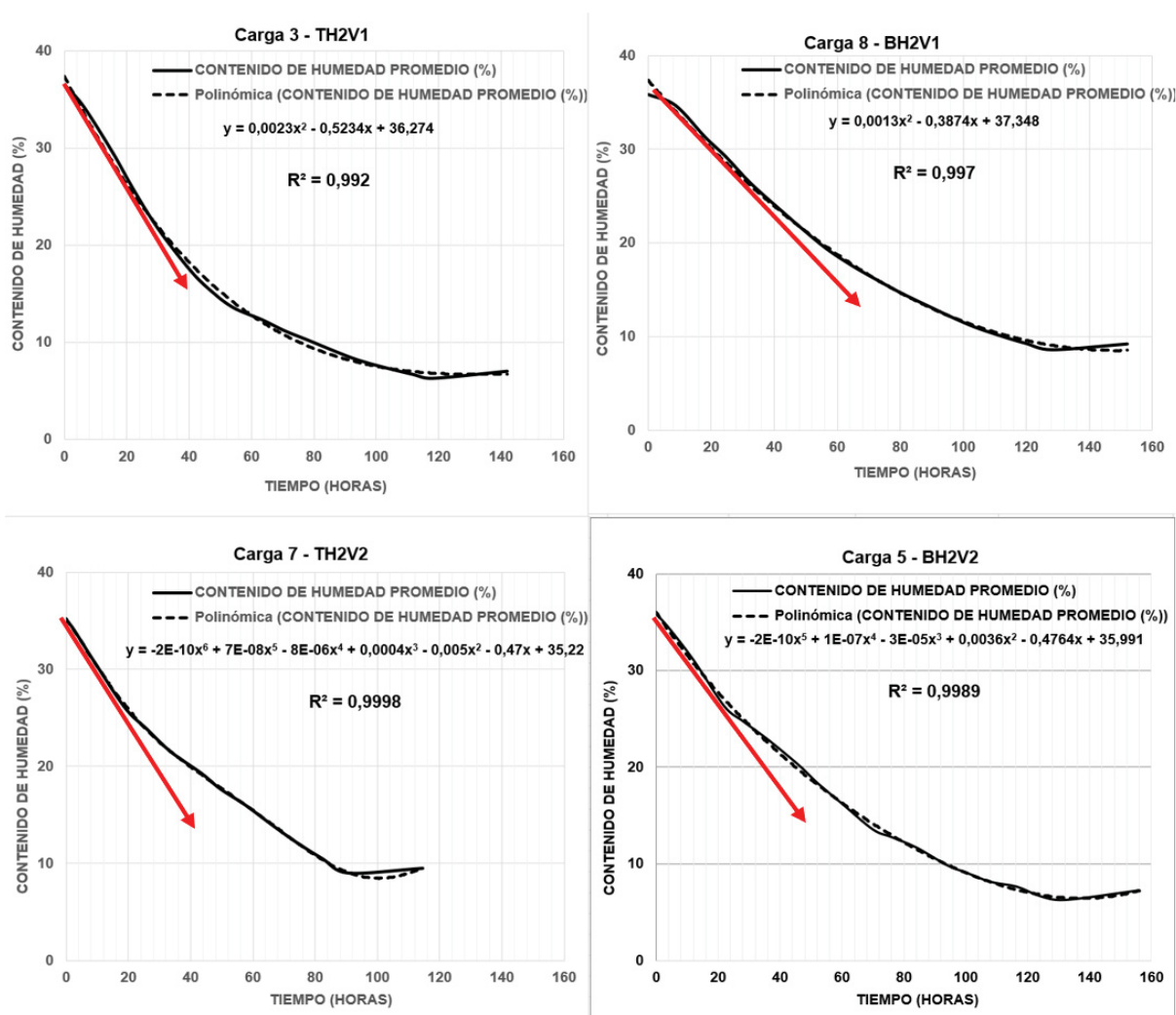


(*) B: base; T: topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el \approx PSF.
FUENTE: El autor (2020).

En relación al menor valor de la tasa de secado del agua higroscópica, es importante considerar que al realizarse el secado la madera de afuera hacia adentro la parte exterior tuvo una humedad menor a la del interior, en estas condiciones solo algunas células estuvieron en el PSF existiendo un gradiente continuo de

humedad entre el exterior y el interior de la madera, donde el agua ligada al requerir más energía para cambiar de estado que el agua libre y predominar el movimiento por difusión que el de capilaridad, influyó gradualmente en la disminución de la tasa de secado de las cuatro cargas de madera con humedad inicial en el PSF (FIGURA 22), lo cual es concordante con lo indicado por Denig, Wengert y Simpson (2000).

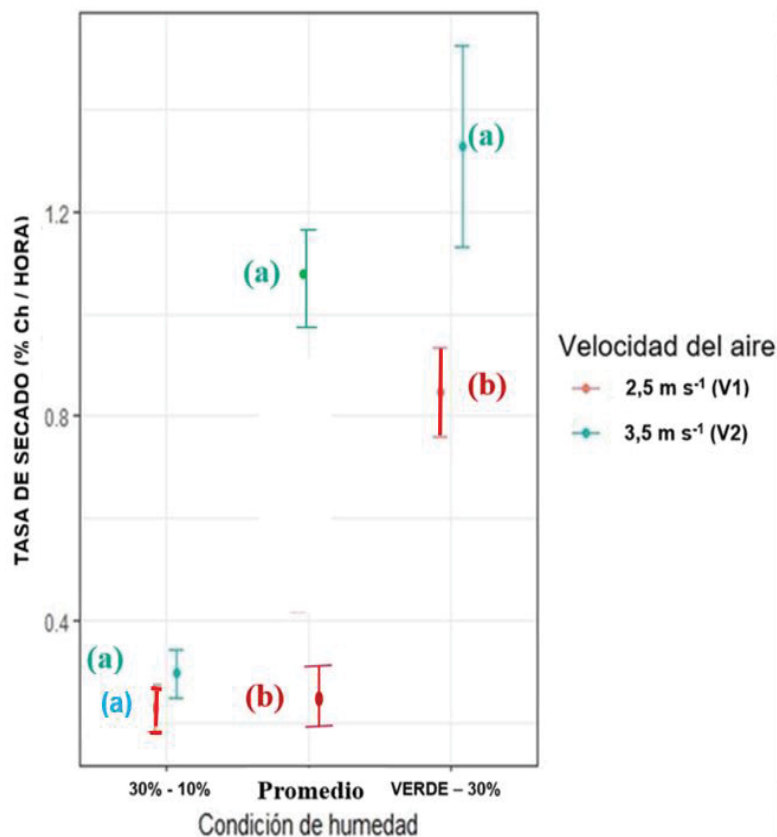
FIGURA 22 - CURVAS DEL SECADO ARTIFICIAL DESDE EL 35% AL 10% DE HUMEDAD DE CUATRO CARGAS DE MADERA DE *Tectona grandis* de 33 años DEL PERÚ.



(*) B: base; T: topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el PSF.
 FUENTE: El autor (2020).

El ANOVA de las tasas de secado promedio del tipo de agua, libre y ligada (TABLA 20), mostró diferencias significativas con un valor de $p = 2,2 \text{ e-}16$, siendo la tasa de secado promedio del agua libre de 1,08 %CH h⁻¹ (a) significativamente mayor que la del agua higroscópica 0,27 %CH h⁻¹ (b) por la prueba de Tuckey a un nivel de confianza del 95% como se muestra en la FIGURA 23.

FIGURA 23 - EFECTO DEL TIPO DE AGUA Y LA VELOCIDAD DEL AIRE EN LA TASA DE SECADO DE MADERA DE *Tectona grandis* de 33 años DEL PERÚ.



Letras (a, b) iguales en columnas indican diferencias no significativas. Prueba de Tuckey.
FUENTE: El autor (2020).

Ello es coincidente con lo hallado por Klitzke (2002), al secar madera de *Pinus taeda* de 30 años de la Estación experimental do Canguiri de la Universidad Federal do Parana, determinó la reducción de la tasa de secado a partir del 30 % (PSF), por el cambio de las condiciones de secado de capilaridad (agua libre) por difusión (agua higroscópica).

Lo cual es congruente con lo encontrado por Berberovic y Milota (2011) al secar madera de western hemlock encontraron que la humedad inicial se correlaciona positivamente con la velocidad de secado, el impacto de la humedad inicial en la velocidad de secado varía a medida que la tabla se seca a un contenido de humedad más bajo.

El efecto del incremento de la velocidad del aire (TABLA 20) en el incremento de la tasa de secado del agua libre (H1) de 0,85 (V1) a 1,32 %CH h⁻¹ (V2) fue del 55,3%, mientras en el agua ligada (H2) el efecto fue menor del 0,25 y 0,28 %CH h⁻¹ observándose un incremento del 12%. Estos incrementos se deben a la relación

directa proporcional entre la tasa de secado y la velocidad del aire, y la diferencia del incremento en los dos tipos de agua se debe a que tanto la tasa de secado y la velocidad del aire están relacionados directamente con el nivel de humedad de la madera que determina la presencia del tipo de agua. Lo cual concuerda con lo indicado por Simpson (1997), y lo hallado por Santini y Haselein (2002) con madera de *Pinus elliottii*, Klitzke (2002) con madera de *Pinus taeda* y Loiola (2015) con madera de teca.

El ANOVA de las tasas de secado promedio observadas (TABLA 20) por efecto de la velocidad del aire, mostró que las diferencias fueron significativas con un valor de $p = 3,963e-07$. Determinándose con la prueba de Tuckey con un valor de $p = 0,018$ que la tasa de secado del agua libre con la velocidad de aire V2 (a) fue significativamente mayor que con velocidad del aire V1 (b), mientras la prueba de Tuckey con un valor de $p = 0,359$ determinó que la tasa de secado del agua ligada con la velocidad del aire V2 (a) no fue significativamente mayor que con velocidad del aire V1 (a) a un nivel de confianza del 95% como se muestra en la FIGURA 23.

El efecto de la posición de la madera en la altura del fuste (TABLA 20) en la tasa de secado fue contradictorio al no observarse una tendencia, determinándose del contenido de Humedad verde (H1) al PSF (H2) una tasa de secado mayor en 16% con madera de base (B) que con la madera de topo (T), y del PSF (H2) al Contenido de humedad final (10%) una tasa de secado mayor en 12% con madera de topo (T) que con la madera de base (B).

Este resultado se explica por el valor de $p = 0,152$ obtenido en el ANOVA de las tasas de secado promedio observadas por efecto de la posición de la madera en la altura del árbol (TABLA 20), el cual nos indica que las diferencias de las tasas de secado de ambos tipos de madera si bien existen estadísticamente no fueron significativas, acorde a las diferencias no significativas halladas por Bonduelle et al. (2015) al analizar las variaciones de las propiedades físicas de la madera de teca de 18 años en la altura del fuste, como la densidad de influencia comprobada en la tasa de secado.

Las diferencias significativas hallados en el presente estudio en la madera tres niveles altura del fuste en cuanto a la densidad y contenidos de extractivos no influyeron en los resultados de la tasa de secado para establecer diferencias

significativas, consideramos que ello se debe porque las diferencias significativas de la densidad y contenido de extractivos se deben a que ambas propiedades disminuyen de la base (0,25 m) a la mitad de la altura (3,75m) para luego incrementarse sin superar el valor del de la base a mayor altura (7,25 m), y las maderas empleadas para el secado consideradas como cercanas a la base (B) y topo (T) provienen de entre estos tres niveles de altura considerados.

Al respecto Cremonez et al. (2015) confirman el efecto de la edad sobre el incremento del valor de la densidad, la proporción de duramen, el contenido de extractivos y su influencia negativa sobre la tasa de secado y el tiempo de duración del proceso.

Concordando con ello Moya, Bond y Quezada (2014) señalan que el incremento de la proporción del duramen está directamente relacionado con la edad, siendo la principal característica relacionada con la acumulación de extractivos. Lo cual, según Ahmed y Chun, (2011) favorece a la formación de tilosis que disminuyen la permeabilidad de la madera para el desplazamiento del agua en el proceso de secado.

En el presente estudio se determinó una tasa de secado promedio general de $0,55 \%CH h^{-1}$ ($2,5 m s^{-1}$) con la madera de teca de 33 años, menor a la encontrada por Berrocal et al (2017) al secar madera de 11 años de Costa Rica con tasas de secado promedio entre 1,2 a 2,1 $\%CH h^{-1}$. Betancurt, Herrera y Mejia (2000) con madera de teca de 9 años con programas de secado suave, moderado y fuerte, registró tasas de secado promedio de 0,68; 0,72 y 0,96 $\%CH h^{-1}$ respectivamente.

Loiola (2015) con madera de teca de 20 años determino tasa de secado de agua libre de $2,9 \%CH h^{-1}$ ($2,5 m s^{-1}$) y de agua ligada de $0,69 \%CH h^{-1}$ ($2,5 m s^{-1}$) con temperaturas de 44 a 67 °C. mayores a las tasas de secado de $0,85 \%CH h^{-1}$ y $0,25 \%CH h^{-1}$ ($2,5 m s^{-1}$) del presente estudio con agua libre y ligada respectivamente de teca de 33 años con temperaturas de 50 a 70°C. A su vez Arruda (2013) al secar madera de teca de árboles de raleo de 9 a 13 años con temperaturas de 39°C a 53°C encontró tasas de secado de la madera en condición verde de $0,46 \%CH h^{-1}$ y abajo del PSF de $0,23 \%CH h^{-1}$ menores a las del presente estudio.

4.3.2.4 Consumo de energía.

4.3.2.4.1 Maderas con humedad inicial en verde

En la TABLA 21 se observa el consumo de energía total de la madera en secado artificial del contenido de humedad inicial promedio del 96% (verde) al 10%, y el efecto de las variables del estudio en el consumo de energía eléctrica promedio por porcentaje de agua extraída de cuatro cargas de madera.

TABLA 21 - CONSUMO DE ENERGIA PROMEDIO DEL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ CON HUMEDAD INICIAL VERDE.

Variables del estudio			Consumo de energía promedio	
			(kW h m ⁻³)	(kW h m ⁻³ % H ⁻¹)
Humedad en verde (H1) al PSF (H2)	Tipo de agua	Libre	1373,9	21,3
	Velocidad del aire m s ⁻¹	2,5 (V1)	1533,0	25,1
		3,5 (V2)	1214,8	17,4
	Posición de la madera en el fuste	Base (B)	1445,4	21,2
Topo (T)		1302,4	21,3	
PSF (H2) al 10% de humedad	Tipo de agua	Higroscópica	2711,6	124,4
	Velocidad del aire m s ⁻¹	2,5 (V1)	3026,0	138,2
		3,5 (V2)	2398,0	110,5
	Posición de la madera en el fuste	Base (B)	2922,1	134,0
Topo (T)		2501,0	114,8	
Promedio	Carga de madera		4085.50	47,2

kW h m⁻³: Kilowatt-hora por m⁻³; kW h m⁻³ %H⁻¹: Energía por porcentaje de humedad.

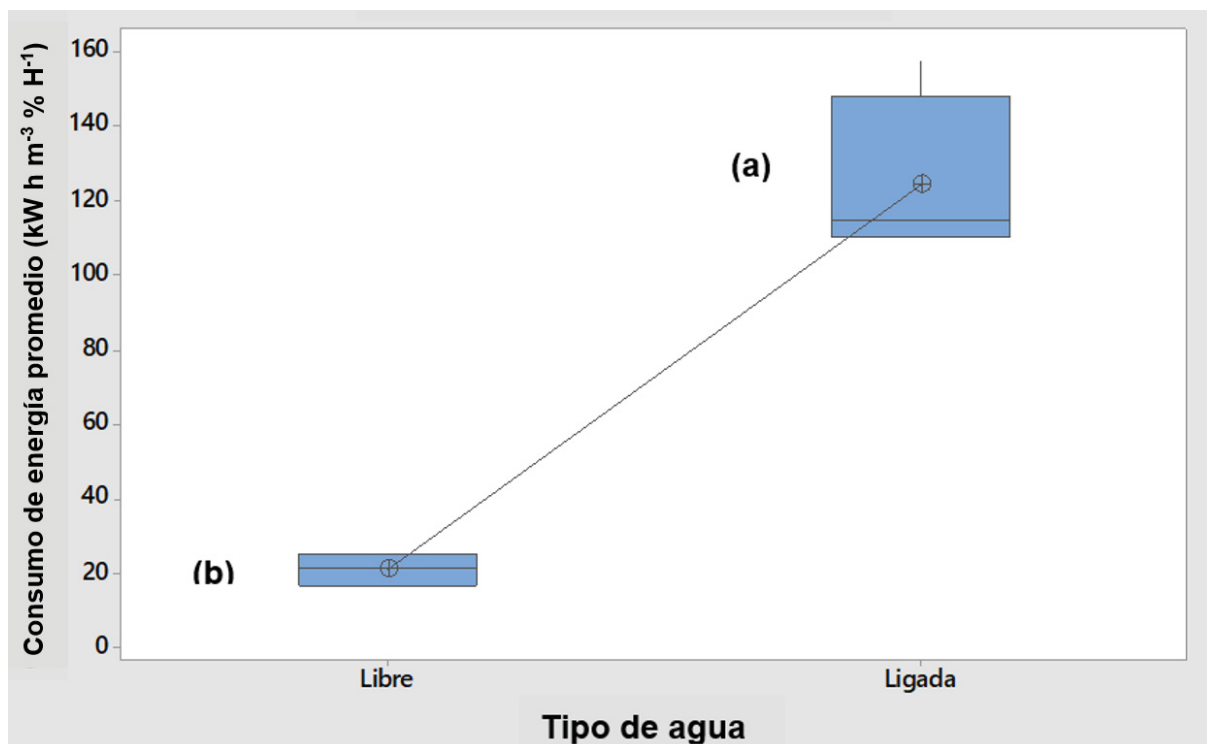
FUENTE: El autor (2021).

En relación al efecto del tipo de agua, se apreció que el consumo de energía (124,4 kW h m⁻³ % H⁻¹) por porcentaje de agua higroscópica (30% a 10%) fue mayor en 484,0% que el consumo (21,3 kW h m⁻³ % H⁻¹) del agua libre (95,4% a 30%), lo cual responde a la condición del agua libre ligada a la madera por fuerzas capilares, siendo sus requerimientos energéticos menores a los del agua higroscópica (SIMPSON, 1991; FERNÁNDEZ; CONDE, 2007), la cual se encuentra adherida a la pared celular por puentes de hidrogeno migrando durante el secado por medio del proceso de difusión, por lo cual la energía necesaria para su evaporación es mayor y depende exponencialmente de la humedad final, siendo mayor para humedades más bajas (SIMPSON, 1991; MDT, 2007).

Con el ANOVA de la energía consumida para extraer el agua libre y la del agua higroscópica se halló un valor de $p = 5,021 \times 10^{-5}$, determinándose la

existencia de diferencias significativas, siendo la energía consumida para extraer el agua higroscópica significativamente mayor por la prueba de Tuckey con un nivel de confianza del 95% como se indica en la FIGURA 24.

FIGURA 24 - CONSUMO DE ENERGIA POR EFECTO DEL TIPO DE AGUA EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS - PERÚ.



Letras iguales indican diferencias no significativas. Prueba de Tuckey.

FUENTE: El autor (2021).

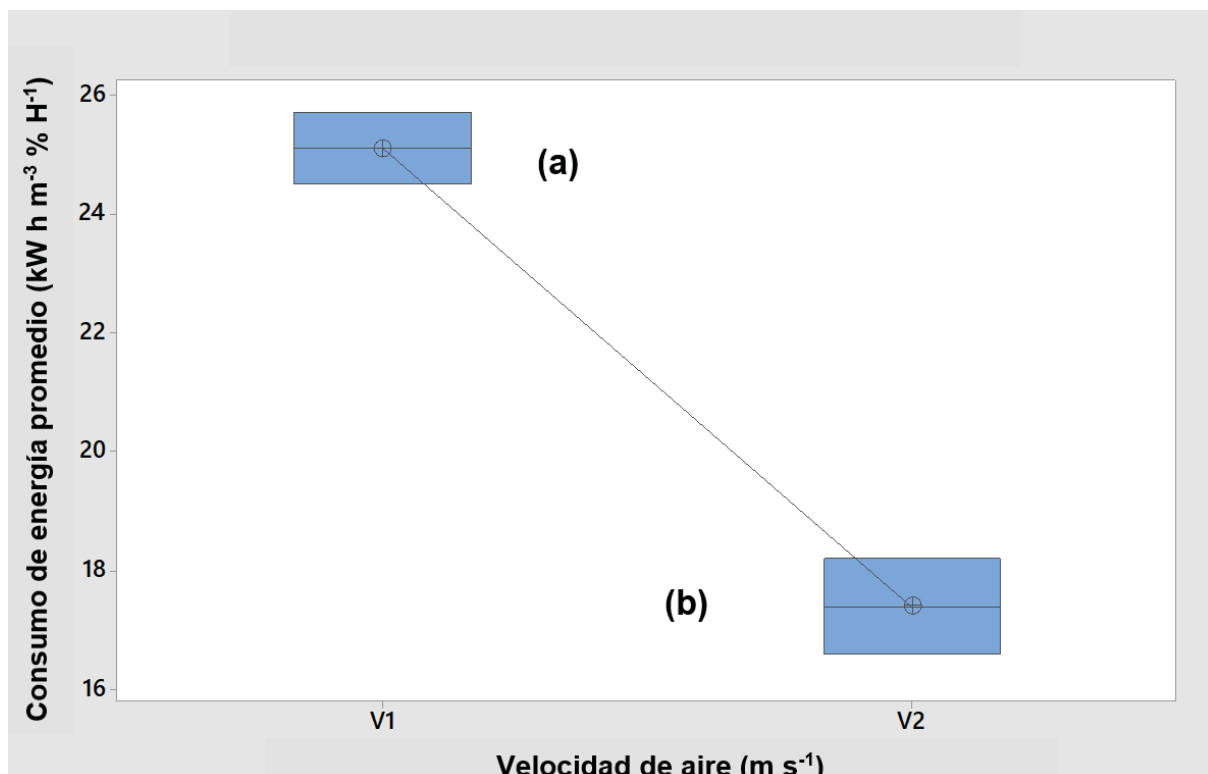
Con relación al efecto de la velocidad del aire en el consumo de energía promedio por porcentaje de agua libre (95,4% a 30%), en la TABLA 21 se observó que fue mayor en 44,3% con la velocidad de aire V1 (25,1 kW h m⁻³ % H⁻¹) en relación con el de la velocidad de aire V2 (17,4 kW h m⁻³ % H⁻¹).

El menor consumo de energía observado a mayor velocidad de aire (V2), se debe a las condiciones de alta humedad de la madera al inicio del proceso predominando el secado constante del agua libre por flujo capilar, lo que facilitó alcanzar una mayor tasa de secado con la mayor velocidad de aire (V2), (BACHRICH, 1980; SIMPSON, 1997), reduciéndose el tiempo de secado y por ende el consumo de energía (SIAU, 1984; KLITZKE, 2005).

En la FIGURA 25 se aprecia graficado el efecto de las dos velocidades de aire empleadas, cuyas diferencias fueron significativas al determinarse un valor de

$p = 0,016$ en el ANOVA del consumo de energía por porcentaje de agua libre extraída, siendo significativamente mayor el consumo de energía por efecto de la velocidad de aire V1 en relación con V2 por la prueba de Tuckey con un nivel de confianza del 95%.

FIGURA 25 - CONSUMO DE ENERGIA DEL AGUA LIBRE POR EFECTO DE DOS VELOCIDADES DE AIRE EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS - PERÚ.



Letras iguales indican diferencias no significativas. V1: 2,5 m s⁻¹; V2: 3,5 m s⁻¹.
FUENTE: El autor (2021).

Con relación al efecto de la velocidad del aire en el consumo de energía promedio por porcentaje de agua higroscópica (30% a 10%), se observó en la Tabla 21 que fue mayor en 25,1% con la velocidad de aire V1 (138,2 kW h m⁻³ % H⁻¹) en relación con el de la velocidad de aire V2 (110,5 kW h m⁻³ % H⁻¹).

El menor efecto de la mayor velocidad de aire en la disminución del consumo de energía en presencia del agua higroscópica en relación con el del agua libre, se debe a que a partir del PSF hasta la humedad final la influencia de la mayor velocidad del aire en la velocidad de secado se redujo a medida que disminuyó el contenido de humedad (BACHRICH, 1980; SIMPSON, 1997; SANTINE; HASELEIN, 2002; KLITZKE, 2002). Ello ocurre dado que el flujo de fluidos se

produce por el fenómeno de la difusión, donde la velocidad de secado está influenciada por las condiciones termodinámicas del flujo de aire y por las características intrínsecas de la propia madera, ocurriendo la velocidad de secado de manera decreciente, como función parabólica (KLITZKE, 2005; FERNANDEZ; CONDE, 2007).

El ANOVA del consumo de energía por porcentaje de agua higroscópica por efecto de las dos velocidades de aire empleadas determinó que las diferencias observadas no son significativas al encontrarse un valor de $p = 0,287$ y un nivel de confianza del 95%.

Al respecto Loiola (2015) al evaluar la influencia de las velocidades de circulación del aire de 1,5; 2,5 e 3,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el secado artificial de la madera de teca (*Tectona grandis*) de una plantación forestal de 20 años, observo que el incremento de la velocidad de aire no afectó en forma significativa el ciclo de secado abajo del punto de saturación de las fibras (PSF), concordando con MDT (2007), Simpson (1997), Santine y Haselein (2002) y Klitzke (2002), que afirman que la influencia de la velocidad del aire en la velocidad de secado disminuye a medida que disminuye el contenido de humedad.

Con relación al efecto de la posición de la madera de Base o Topo en el consumo de energía promedio por porcentaje de agua en la Tabla 21 se observó que en presencia de agua libre (95,4% a 30%) fue mayor en 0,71% con la madera de topo (T) ($21,34 \text{ kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$) en relación con el de la madera de base (B) ($21,19 \text{ kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$), y en presencia de agua higroscópica (30% a 10%) fue mayor en 16,7% con la madera de base (B) ($134,0 \text{ kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$) en relación con el de la madera de topo (T) ($114,8 \text{ kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$).

El mayor efecto en el consumo de energía promedio por porcentaje de agua de la madera de base con relación a la madera de topo en presencia de agua higroscópica, se debe a la presencia de enlaces químicos de este tipo de agua con el leño y a la dependencia del flujo de fluidos abajo del PSF al fenómeno de la difusión, que conjuntamente con la tendencia significativa observada de los valores de densidad y contenido de extractivos de disminuir con la altura del fuste (MARQUES, 2008; ARRUDA, 2013; LUKMANDARU; SAYUDHA, 2019), lo cual prolongo el secado de la madera de base incrementando el consumo de energía (SHOTTAFER; SHULER, 1974; FERNÁNDEZ; CONDE, 2007; MORESCHI, 2014).

El ANOVA del consumo de energía promedio por porcentaje de agua libre e higroscópica, determinó que las diferencias observadas no fueron significativas al determinarse valores de $p = 0,974$ y $p = 0,508$ respectivamente por efecto de la posición de la madera de Base o Topo a un nivel de confianza del 95%.

4.3.2.4.2 Maderas con humedad inicial en el PSF.

En la TABLA 22 se observa el consumo de energía total (3249,6 kW h m⁻³) de la madera en secado artificial del contenido de humedad inicial promedio del 36% (cercano al PSF) al 10%, fue menor en 25,7% con relación (TABLA 21) al de la madera con secado artificial del contenido de humedad inicial promedio del 96% (verde) al 10% (4085,5 kW h m⁻³), el ANOVA del consumo de energía total de las dos condiciones de humedad inicial en secado artificial hasta el 10% de humedad final, determinó que las diferencias no fueron significativas con un valor de $p = 0,112$.

TABLA 22 - CONSUMO DE ENERGIA DEL SECADO ARTIFICIAL DE MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS DEL PERÚ CON HUMEDAD INICIAL EN EL PSF.

Variables del estudio			Consumo de energía promedio	
			(kW h m ⁻³)	(kW h m ⁻³ % H ⁻¹)
PSF (H2) al 10% de humedad	Tipo de agua	Higroscópica	2899,4	133,2
	Velocidad del aire m s ⁻¹	2,5	3095,8	141,9
		3,5	2703,0	124,5
	Posición de la madera en el fuste	Base (B)	3537,0	145,1
		Topo (T)	2962,0	121,2
	Promedio	Carga de madera	3249,6	117,7

kW h m⁻³: Kilowatt-hora por m⁻³; kW h m⁻³/ %H: Energía por porcentaje de humedad.

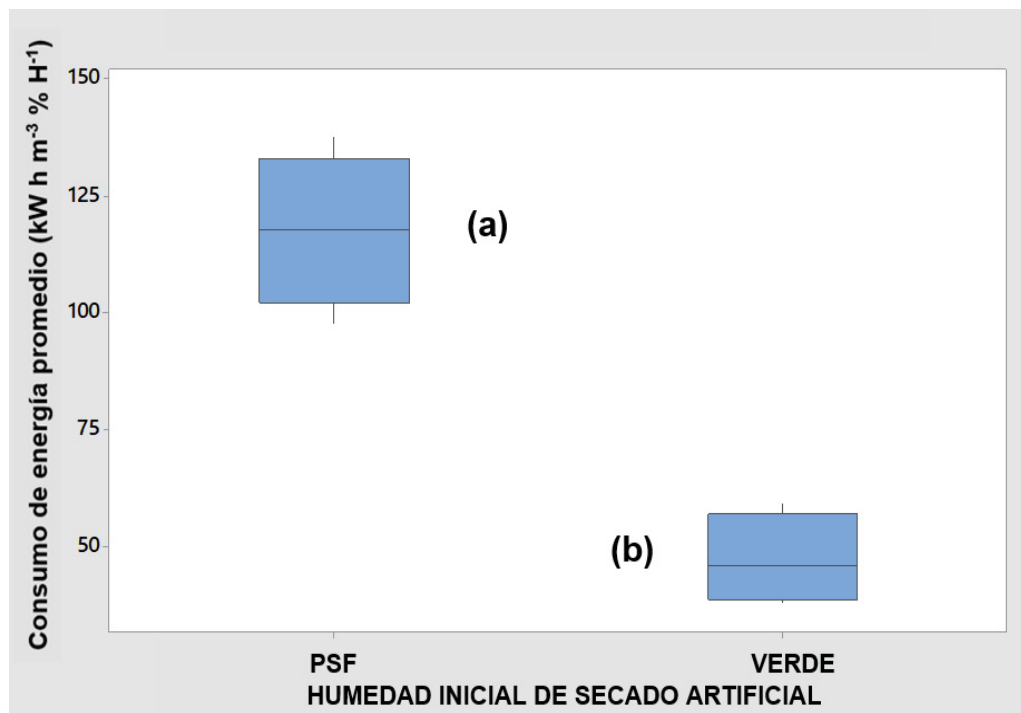
FUENTE: El autor (2021).

Asimismo la TABLA 22 muestra el efecto de las variables del estudio en el consumo de energía por porcentaje de agua higroscópica extraída, las cuales no mostraron diferencias significativas en el ANOVA con el consumo de energía por porcentaje de agua higroscópica extraída de la madera con contenido de humedad inicial promedio de secado artificial del 96% (verde), determinándose valores de $p = 0,556$ para el agua higroscópica, $p = 0,884$ y $p = 0,399$ para la velocidad de aire V1 y V2 respectivamente, $p = 0,696$ y $p = 609$ para la madera de base (B) y topo (T) respectivamente. Por lo cual las conclusiones relacionadas al ANOVA entre los

dos niveles de las variables del estudio, determinadas con la madera con humedad inicial de secado artificial del 96% (verde) con relación al agua higroscópica son válidas para las cargas con contenido de humedad inicial promedio del 36% (cercano al PSF).

Sin embargo el ANOVA y la prueba de Tuckey del consumo de energía total por porcentaje de agua extraída de las cargas con humedad inicial de secado artificial en el PSF ($117,7 \text{ kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$) fue significativamente mayor que el de las cargas de madera con humedad inicial de secado artificial en estado verde ($47,18 \text{ kW h m}^{-3} \% \text{ H}^{-1}$), al determinar un valor de $p = 0,000$ con un nivel de confianza del 95% como se muestra en la FIGURA 26. Lo cual explica la diferencia no significativa determinada por el ANOVA del consumo de energía total entre las condiciones de humedad inicial de secado artificial 96% y 36%, al ser los requerimientos de energía del agua higroscópica mayores por su condición de ligada al leño (SIMPSON, 1991).

FIGURA 26 - CONSUMO DE ENERGIA TOTAL POR PORCENTAJE DE AGUA EXTRAIDA EN DOS CONDICIONES DE HUMEDAD INICIAL EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS - PERÚ.



Letras iguales indican diferencias no significativas.

FUENTE: El autor (2021).

4.3.2.5 Defectos de secado

4.3.2.5.1 Humedad final de las cargas de madera

En la TABLA 23 se aprecia el contenido de humedad final promedio determinado en base a cinco muestras de control del proceso y de cinco maderas secas durante el proceso de secado de las ocho cargas, organizadas en base a la humedad inicial de madera verde y del PSF afectadas por las variables de posición de la madera en la altura del fuste y la velocidad del aire empleada en el secado artificial hasta el 10% de humedad.

TABLA 23 - HUMEDAD FINAL PROMEDIO ESTIMADO Y POR MÉTODO DE LA ESTUFA AL TERMINO DEL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS - PERÚ.

Humedad inicial	Cargas de madera		Humedad final promedio de cinco muestras por carga (%)			
	(#)	(*) Código	Muestras control	%CV	Maderas secas	%CV
Humedad de madera verde (H1)	1	B-H1V1	7,9	32,09	7,5	21,52
	2	T-H1V2	8,0	22,57	10,7	10,33
	4	B-H1V2	8,7	8,47	9,5	4,17
	6	T-H1V1	8,4	19,45	7,7	16,96
Humedad al \simeq PSF (H2)	3	T-H2V1	7,0	27,72	8,5	15,96
	5	B-H2V2	7,3	31,62	10,1	20,53
	7	T-H2V2	9,5	2,47	9,2	9,41
	8	B-H2V1	9,3	9,43	8,4	14,95
Promedio general			8,3		9,0	

(*) B: base; T: topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el \simeq PSF
FUENTE: El autor (2021)

Dado el menor tamaño de las muestras de control (0.3 m) en relación con las maderas secas (1,0 m), el efecto de la etapa de igualación con la mayor temperatura y la menor humedad relativa de proceso fue mayor (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000), mostrando mayor dispersión en el contenido de humedad final de las cinco muestras de control con respecto a la media, así seis de las cargas tuvieron coeficientes de variación menores al 30% con excepción del de dos de ellas con valores del 31,62% y 32,09%. Mientras el contenido de humedad final promedio de las ocho cargas en base a cinco maderas secas mostró coeficientes de variación menores al 30% confiables para el estudio (SALAS, 2018).

Los coeficientes de variación en base a la madera seca de las ocho cargas fluctuaron entre 4,17% y 21,52%, acordes con lo encontrado por Guzenda et al. (2002) al evaluar la calidad de secado en base al contenido de humedad final y las recomendaciones de calidad especificadas en la *European Drying Group* (EDG) en ocho empresas (cinco aserraderos y tres de muebles) de Polonia con tecnología y procedimientos estándares de secado, hallaron coeficiente de variación entre 5 y 17% mostrando que la distribución en los lotes de madera fueron uniformes propios de procesos de secado correctos.

En el presente estudio la meta del proceso de secado fue un contenido de humedad final del 10%, el contenido de humedad final promedio determinado en base a las maderas secas (9%) fue mayor en 8,4% al determinado en base a las muestras de control (8,3%), como se muestra en la FIGURA 27 mediante detectores portátiles de pines y de contacto (9,4%) en maderas secas de teca.

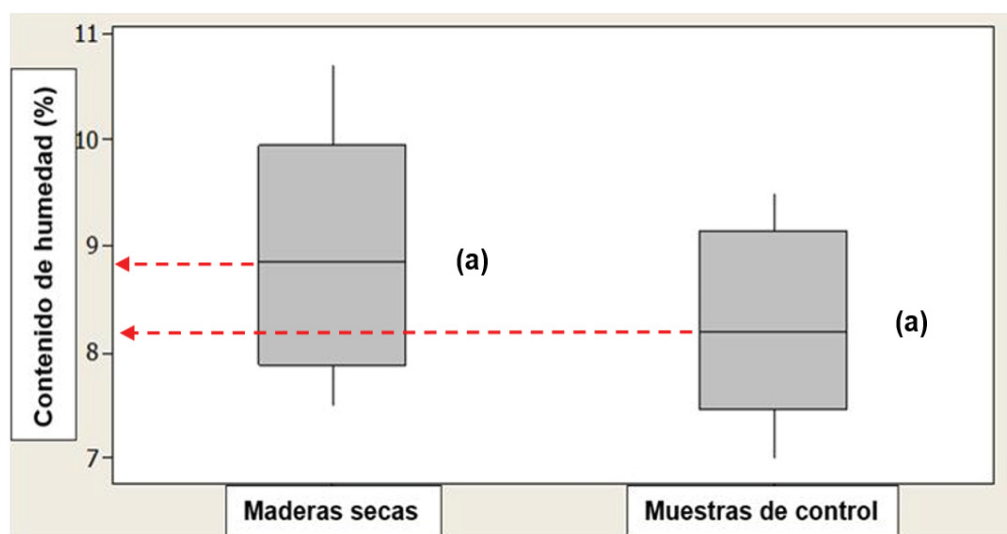
FIGURA 27 - MEDICIÓN DE LA HUMEDAD FINAL CON DETECTORES PORTATILES DE PINES Y CONTACTO EN MADERA SECA ARTIFICIALMENTE DE *Tectona grandis* DE 33 AÑOS - PERÚ.



FUENTE: El autor (2021).

Se comparó el promedio de las dos determinaciones de contenido de humedad final encontrando que la diferencia no es significativa como se muestra en la FIGURA 28, concluyéndose que las muestras de control de 0,3 m. de largo tuvieron el mismo ritmo de secado que las tablas de 1 m. de largo durante el proceso.

FIGURA 28 - PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL DE MUESTRAS DE CONTROL Y DE MADERAS SECAS DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA DE 33 AÑOS DEL PERÚ.



Prueba T-student, valor de $p = 0,065$ a un nivel de confianza del 95%

Medias con letras iguales indican diferencias no significativas.

FUENTE: El autor (2021).

Al respecto Quintanar (2018) indica que la humedad final de la madera es uno de los parámetros más importantes a considerar para los distintos propósitos en el que será utilizada. Al ser el producto la madera con un contenido de humedad final determinado, la calidad del proceso se mide por la uniformidad de la humedad final lograda.

A su vez Gu et al. (2004) al estudiar las fuentes potenciales de variación de la humedad final de la madera de roble rojo (*Quercus spp.*) y álamo amarillo (*Liriodendron tulipifera*) secos al horno, observaron que la variabilidad de la humedad final se redujo significativamente con la etapa de igualación, favoreciendo el procesamiento secundario de la madera y el rendimiento del producto final, lo cual concuerda con el presente estudio al lograr la humedad final significativamente

uniforme (FIGURA 28) en las ocho cargas de madera con tiempos de igualación diferentes (TABLA 19).

Al respecto Ducatti, Jankowsky y Andrade (2001) encontraron, en tres empresas con secadores convencionales situadas en Tiete, en São Paulo Brasil, que los programas de secado eran adecuados, identificando las deficiencias en las etapas de igualación y acondicionamiento final para lograr un patrón de calidad superior en la distribución del contenido de humedad final y las tensiones residuales respectivamente.

En relación al ancho de 1,0 m de la pila del estudio y la uniformidad del contenido de humedad final lograda, Liebl et al. (2017) al evaluar su influencia en la velocidad de secado, uniformidad del contenido de humedad final y defectos en el secado al aire de *Eucalyptus* spp., observaron que el ancho de 0,9 m a diferencia del de 1,8 m, ocasiono un aumento de la velocidad y calidad de secado, referida a un menor valor de contenido de humedad final, rango de humedad entre tablas y menores defectos de secado.

Otros investigadores en relación a los resultados hallados encontraron igualmente diferencias con la humedad final buscada. Así Betancur et al. (2000) al secar madera de teca de 9 años al 15 % de humedad final con programas suave, moderado y severo, determinó valores promedio de 13, 12 y 13% respectivamente. Al respecto Loiola (2015) al secar madera de 20 años al 10 % de humedad final encontró un contenido de humedad promedio de 11,87 %. Por su parte Berrocal et al. (2017) al secar madera de teca de 11 años al 10% el contenido de humedad final presento un rango de ± 2 %.

4.3.2.5.2 Gradiente de humedad

En el TABLA 24 se presenta el gradiente de humedad (G1 y G2) de ocho cargas de madera en base a seis tablas tomadas al azar de cada una según las recomendaciones de Simpson (1991), se aprecian valores de contenido de humedad promedio de las superficies (S1 y S2) y centro (Ce) empleados para determinar el gradiente de humedad. La dispersión de los valores con respecto a la media muestra un coeficiente de variación (CV) menor al 30 % siendo confiables para los objetivos del estudio (SALAS, 2018).

TABLA 24 - GRADIENTE DE HUMEDAD DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA EN SECADO ARTIFICIAL– COEFICIENTE DE VARIACION.

Altura del árbol	Cargas de madera	Superficie (s1)		Centro (ce)		Superficie (s2)		Gradiente de humedad	
		CH	CV	CH	CV	CH	CV	G1	G2
B < 3,5 m.	1BH1-V1	8,0	5,5	10,6	8,1	7,8	6,1	2,60	2,80
	4BH1-V2	9,0	11,6	11,2	19,5	9,1	14,3	2,20	2,10
	5BH2-V2	8,9	26,4	12,0	27,6	9,4	27,5	3,10	2,60
	8BH2-V1	8,8	11,9	9,4	24,2	7,1	14,5	0,60	2,30
T > 3,5 m	2TH1-V2	9,8	19,0	12,4	18,9	9,9	17,5	2,60	2,40
	3TH2-V1	8,1	5,7	9,1	15,6	8,4	10,3	1,00	0,70
	6TH1-V1	6,9	9,6	9,4	13,2	7,8	12,1	2,50	1,60
	7TH2-V2	8,5	7,8	9,5	12,5	8,6	5,4	1,10	0,90
Promedio general								1,95	1,95

B: base; T: Topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el \approx PSF

FUENTE: El autor (2019)

El ANOVA de la gradiente de humedad G1 (TABLA 24) de las ocho cargas mostró que existen diferencias significativas, principalmente por el efecto de la interacción entre las tres variables del estudio (p-valor=0,04). Por otro lado, el ANOVA de la gradiente de humedad G2 mostró que existen diferencias significativas por efecto de la posición de la madera en el árbol (p-valor=0,03), y la condición inicial de humedad (p-valor=0,02), mas no entre la velocidad del aire 2,5 ms⁻¹ con gradiente de humedad (1,75) y de 3,5 ms⁻¹ con gradiente de humedad (2,10) al determinarse un p-valor=0,19 con un nivel de confianza del 95 %.

Por lo cual al comparar con la prueba de Tukey los promedios de gradiente de humedad (G1 y G2) por efecto de las variables del estudio (TABLA 25), se halló que la madera del nivel de altura (B) tuvo significativamente un gradiente de humedad promedio (2,30) mayor que la madera del nivel de altura (T) (1,60). Asimismo, la madera con húmeda inicial de madera verde tuvo significativamente un mayor gradiente de humedad (2,35) que la madera con humedad inicial en el PSF (1,55).

Consideramos que estos resultados, en el caso de la variable posición de la madera en el árbol, se debe a la tendencia significativa del incremento del contenido de extractivos y densidad de la madera en dirección a la base del árbol hallado en este estudio (MORESCHI, 2014), que determinaron en la madera de base mayor humedad higroscópica y menor permeabilidad afectando la movilidad

del agua del centro a la superficie de la madera. Asimismo en el caso de la variable humedad inicial de secado, las maderas con tratamiento de secado al aire previo al artificial permitieron retirar parte del agua libre del centro que causaría enfriamiento de la zona central por su evaporación, facilitando el uso de la energía en el agua higroscópica y remanentes de agua libre (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

TABLA 25 - PROMEDIO DE GRADIENTE DE HUMEDAD DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA EN SECADO ARTIFICIAL.

Condición del Estudio	Cargas de madera	Muestras (#)	Gradiente de humedad			Prueba de Tuckey
			G 1	G 2	Promedio por tabla	
Promedios por condición de ubicación en la altura del árbol						
B (< a 3,5 m.)	4	24	2,10	2,50	2,30	a
T (> a 3,5 m.)	4	24	1,80	1,40	1,60	b
Promedios por condición de contenido de humedad inicial						
Verde (H1)	4	24	2,50	2,20	2,35	a
PSF (H2)	4	24	1,50	1,60	1,55	b
Promedios por condición de velocidad del aire de secado						
2,5 m/s (V1)	4	24	1,70	1,80	1,75	a
3,5 m/s (V2)	4	24	2,20	2,00	2,10	a

(*) Letras iguales en la columna por cada variable del estudio indican diferencias no significativas. B: base; T: Topo; V1: 2,5 ms⁻¹; V2: 3,5 ms⁻¹; H1: Humedad verde; H2: humedad en el \approx PSF
FUENTE: El autor (2019).

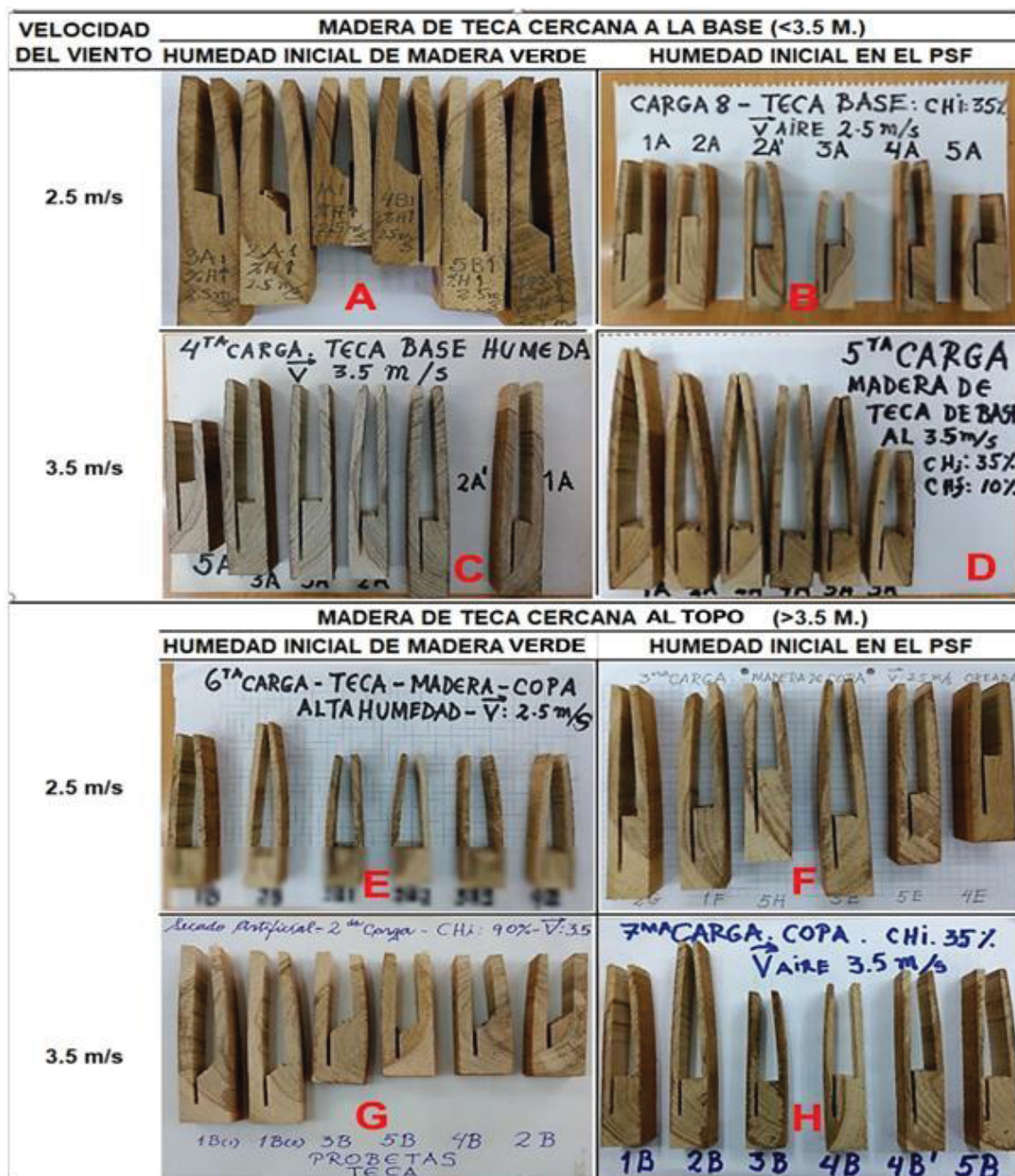
En el caso de la velocidad del aire a mayor velocidad fue mayor la gradiente de humedad sin llegar a ser significativa, lo cual es congruente con las diferencias no significativas hallado en el presente estudio sobre el efecto de la velocidad del aire en la velocidad de secado abajo del PSF, al depender la movilidad del agua higroscópica del centro a la superficie de la madera de la densidad, contenido de extractivos y el fenómeno de difusión (KLITZKE, 2005; FERNANDEZ; CONDE, 2007; MDT, 2007).

En el presente estudio el promedio general del gradiente de humedad de la madera de teca de 33 años dado la mayor edad y contenido de extractivos fue de 1,95 (TABLA 24), mayor al hallado por Loiola (2015) al secar maderas de teca de 20 años del municipio de Cuiabá, Mato Grosso en Brasil, quien hallo gradientes de humedad promedio en G1: 1,12 y G2: 1,26 directamente ligadas a las tensiones de secado según indica el autor.

4.3.2.5.3 Tensiones de secado

En la FIGURA 29 se presentan las imágenes de la evaluación de tensión de secado de ocho cargas de madera secadas artificialmente, mediante la prueba de tenedor y la metodología de Simpson (1991).

FIGURA 29 - TENSIONES DE SECADO EN MADERA DE TECA DE OCHO CARGAS DE MADERA POR SECADO ARTIFICIAL.



Leyenda: Cargas de madera (A, B, C, F y G), el 100% con ligera tensión (LT). Cargas de madera (E y H) el 83 % con ligera tensión (LT) y el 17% con tensión de secado (TS). Carga de madera (D) el 67% con tensión de secado (TS) y el 33% con ligera tensión (LT). FUENTE: El autor (2019).

En las cargas de madera (A, B, C, F, y G) el 100% de las probetas de tenedor muestran sus extremos tendiendo a inclinarse al interior pero sin tocarse, lo cual fue calificado como de ligera tensión de secado (LT). En dos cargas de madera (E y H) cinco probetas muestran ligera tensión de secado (83,30%) y una probeta tensión de secado (16,7%), llegándose a tocar los extremos de las probetas de tenedor. La carga (D) presentó dos probetas con ligera tensión de secado (33,30%) y cuatro con tensión de secado (66,70%), habiendo estado constituida por maderas cercanas a la base (B) con tratamiento previo de secado natural y velocidad de viento de 3,5 m/s.

La presencia de tensión de secado en promedio en las ocho cargas de madera fue con ligera tensión de secado el 87,50% y con tensión de secado el 12,50%, según Loiola (2015) cuanto mayor es la gradiente de humedad mayor es la incidencia de la tensión de secado, lo cual fue observado en la carga de madera D (5BH2-V2) que mostró el mayor valor de gradiente de humedad. (G1: 3,1; G2: 2,6) como se aprecia en el TABLA 24. Para aliviar la tensión de secado observada en la totalidad de las ocho cargas de madera, es necesario realizar un acondicionamiento final mayor al realizado de 24 horas en el presente estudio (DENIG; WENGERT Y SIMPSON, 2000).

Según Boone et al. (1988) el tratamiento de acondicionamiento debe ser el paso final del proceso de secado en horno después de alcanzar la humedad final objetivo y completar el tratamiento de igualación. El tiempo requerido para el acondicionamiento puede variar de 4 a 72 horas, dependiendo del espesor de madera, densidad de la especie, y la cantidad de estrés que se requiere aliviar. En general, el efectivo alivio del estrés se puede lograr en menos tiempo con tablas más delgadas o especies de menor densidad.

En promedio los resultados de tensión o estrés observados en las maderas del presente estudio fueron 87,50% con ligera tensión y 12,50% con tensión de secado, valores cercanos a los resultados hallados por Berrocal et al. (2017) al secar madera de teca de 11 años con el 100% de la madera con ligeras tensiones de secado. A su vez Loiola (2015) encontró al secar madera de teca de 20 años 84,60 % de muestras sin tensión de secado, 11,50 % con ligera tensión y 3,90 % con tensión de secado.

4.3.2.5.4 Colapso, Grietas en extremos y caras de tablas.

Se evaluó al 100% las 480 tablas que conformaron las ocho cargas del estudio según la Norma NTP 251.102 (2016), no observándose defectos de colapso, grietas en extremos y en las caras de las tablas al término del secado con el programa tipo moderado de la JUNAC (1989) como se aprecia en la FIGURA 30, resultado similar al obtenido por Loiola (2015) al secar madera de teca de 20 años.

FIGURA 30 - MADERA DE TECA DE 33 AÑOS DEL PERÚ SIN DEFECTOS DE GRIETAS EN EXTREMOS, CARAS Y COLAPSO VISIBLE AL TERMINO DEL SECADO ARTIFICIAL.



FUENTE: El autor (2020).

Para evitar la presencia del colapso y grietas en las caras de las tablas (principalmente en las cargas con humedad inicial de madera verde), se evitó inducir a un resecamiento superficial inicial con un contenido de humedad de equilibrio del 16% (85 % de humedad relativa y 50 °C) del primer nivel del programa de secado moderado de la JUNAC (1989), observado por Betancur, Herrera y Mejía (2000) en el secado de esta especie con el mismo programa de secado.

Por ello, la etapa de acondicionamiento inicial estuvo constituida de dos niveles (TABLA 7, p. 62), el primero tuvo un contenido de humedad de equilibrio del 19% (91 % de humedad relativa y 50 °C) y fue aplicado por 24 horas (JUNAC, 1989; FERNANDEZ; CONDE, 2007), y el segundo tuvo un contenido de humedad de equilibrio del 17,5% (87% de humedad relativa y 50 °C) permitiendo un descenso gradual de la humedad relativa acorde con la humedad relativa del primer nivel del programa moderado de la JUNAC (1989) en base a lo recomendado por Denig, Wengert y Simpson (2000) y experimentado con madera de eucalipto por Severo (2000) y Calonego et al. (2006).

La posibilidad del agrietamiento de los extremos fue controlada mediante a) El sellado con cera líquida de extremos de las tablas, b) El apilado de tablas sin espacios entre los cantos de las tablas evitando el direccionamiento del aire a los extremos de la pila, y c) El uso de direccionadores de viento frontal y posterior (FIGURA 10, p. 63), favoreciendo la velocidad y uniformidad del aire en las tablas (TOMASELLI, 1974; DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000; BEDELEAN, 2015).

Según Bedeleán (2015) en un análisis comparativo basado en diferentes opciones para la instalación de deflectores en la cámara de secado, midió la velocidad del aire en diferentes puntos ubicados en la cara de salida de la pila de madera, los resultados mostraron que la posición de los deflectores dentro del horno de secado tuvo un papel importante en la velocidad media del aire y su uniformidad dentro de la Pila de madera.

En general la presencia de defectos estructurales (grietas y colapso) está en relación directa con la contracción por lo que las maderas más densas son más difíciles de secar (KLITZKE 2005). La densidad (gravedad específica) de la teca fue determinada en 0,56 g cm⁻³, grano recto y T/R promedio de 2,5, fueron buenos predictores de la calidad de secado de la madera (SIMPSON 1991; DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000; MIRANDA; SOUSA; PEREYRA, 2011), tal como se observó en el presente estudio en la madera de teca (*Tectona grandis*).

Al respecto Alcoba (2009) en madera de 10 años del Valle del Sacta (Bolivia) no halló maderas con colapso. Arruda (2013) al secar madera de teca de árboles de raleo de 9 a 13 años de plantaciones de Cáceres Mato Grosso no observó maderas con colapso ni grietas en los extremos. Igualmente Loiola (2015) al secar madera de teca de 20 años no observó la manifestación de este defecto.

Advertimos que empleo un programa similar a los valores de contenido de humedad de equilibrio empleado en el presente estudio, pero con un menor gradiente de secado. Sin embargo Betancur, Herrera y Mejía (2000) con madera de teca de 9 años de Puerto Libertador – Colombia, encontró colapso en la madera con los programas de secado de la JUNAC tipo moderado y fuerte mas no con el suave.

4.3.2.5.5 Alabeos.

Se evaluó al 100% las 480 tablas que conformaron las ocho cargas del estudio según la Norma NTP 251.102 (2016), al término del secado con el programa tipo moderado de la JUNAC (1989), observándose en las tablas defectos de acanalado y combado como se muestra en la FIGURA 31.

FIGURA 31 - DEFECTOS DE ACANALADO Y COMBADO OBSERVADOS EN MADERA DE TECA DE 33 AÑOS DEL PERÚ AL TERMINO DEL SECADO ARTIFICIAL.



Fotos: Izquierda: acanalado; Derecha: combado.
FUENTE: El autor (2020).

En la TABLA 26 se aprecia el porcentaje promedio de madera con alabeos (61,3%) y madera rechazada por alabeo (2,7%) según la Norma NTP 251.114 – (2016). Asimismo el efecto de las variables del estudio sobre el porcentaje de maderas con alabeo y madera con rechazo por alabeo.

TABLA 26 - DEFECTOS DE SECADO EN EL SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE TECA CON LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.

Variables del estudio		Madera según norma (%) (*)			
		Con alabeo	Sin alabeo	Rechazada	Aceptada
Velocidad del aire	2,5	60,8 (a)	39,2	3,3 (a)	96,7
	3,5	61,7 (a)	38,3	3,8 (a)	96,2
Humedad inicial	Verde	57,5 (a)	42,5	5,8 (a)	94,2
	PSF	65,0 (a)	35,0	1,3 (a)	98,7
Posición en el árbol	Base	60,8 (a)	39,2	5,4 (a)	94,6
	Topo	61,7 (a)	38,3	1,7 (a)	98,3
Promedio		61,3	38,7	2,7	97,3

(*) Por variable del estudio, letras iguales indican diferencias no significativas entre promedios.
FUENTE: El autor (2019).

El efecto de la velocidad del aire (V1) y (V2) en el porcentaje de madera con alabeo y madera con rechazo, fue evaluado mediante el ANOVA y prueba de Tuckey encontrándose valores de $p=0,92$ y $p=0,89$ respectivamente indicando la no existencia de diferencias significativas, ello se debe a que la calidad de secado depende principalmente de la calidad de la madera, y la velocidad del aire influye en el desarrollo de grietas en las caras de la madera cuando el programa de secado es inadecuado a la especie (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000).

Al respecto Wallace y Avramidis (2016) afirman que se han realizado pocos trabajos para investigar cómo las velocidades de aire afectan la calidad del producto final en términos de distribución de humedad, contracción y desarrollo de defectos de secado.

El efecto de los niveles de humedad inicial (H1) y (H2) en el porcentaje de madera con alabeo y madera con rechazo, fue evaluado mediante el ANOVA y prueba de Tuckey encontrándose valores de $p=0,35$ y $p=0,10$ respectivamente indicando la no existencia de diferencias significativas, debido a que la extracción del agua libre altera la masa de la madera mas no sus propiedades físicas y mecánicas (SIMPSON, 1991; FERNÁNDEZ; CONDE, 2007), la importancia de las maderas con humedades elevadas está referida al mayor tiempo de secado y la susceptibilidad al colapso por la aplicación de un programa de secado muy severo (gradiente de secado muy alto) a la madera muy húmeda (DENIG; WENGERT; SIMPSON, 2000; SANTINI; HASELEIN, 2002).

Asimismo, el efecto de los dos niveles de la posición de la madera en la altura del árbol (B) y (T) en el porcentaje de madera con alabeo y madera con rechazo, fue evaluado mediante el ANOVA y prueba de Tuckey encontrándose valores de $p=0,92$ y $p=0,20$ respectivamente indicando la no existencia de diferencias significativas, debido a que el valor de la densidad básica de la madera de teca determinada en el presente estudio, si bien tiende a disminuir con la altura del fuste, a partir de la altura media del árbol tiende a incrementar su valor sin alcanzar al de la madera cercana a la base del árbol.

Con relación a ello Bonduelle *et al.* (2015) al analizar las variaciones de las propiedades físicas de la madera de teca de 18 años del municipio de Brasnorte estado de Mato Grosso en Brasil, no observó grandes variaciones en sentido axial, afirmando que no hay necesidad de diferenciar la madera.

El porcentaje promedio de los alabeos observados con mayor frecuencia fueron: acanalado (26,6%), combado (11,9 %), curvado (0,6%), acanalado y combado (20,4%) y otros alabeos (1,9%).

Lo cual es coincidente con lo observado por Alcoba (2009) en madera de 10 años del Valle del Sacta (Bolivia) donde encontró que los alabeos tipo acanalado y curvado fueron los de mayor frecuencia.

Igualmente en parte por Arruda (2013) quien al secar madera de teca de árboles de raleo de 9 a 13 años de plantaciones de Cáceres Mato Grosso, encontró mayor frecuencia en alabeos de combado y curvado. Mientras que Berrocal *et al.* (2017) al secar madera de 11 años de Costa Rica encontró revirado, combado y acanalado.

A su vez Loiola (2015) al secar madera de teca de 20 años observó alabeos tipo combado y curvado con flechas aceptables según norma NBr-14806, no presentando grietas en extremos ni en las caras de las tablas porque se controlaron las causas del agrietamiento y se trabajó con madera de calidad, concluyendo que son aptas para la manufactura.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En función de los objetivos y resultados se concluye que:

- La excentricidad, la densidad, la contracción y el porcentaje de extractivos mostraron tendencia a disminuir significativamente del nivel b (cerca a la base) hacia la media altura del árbol (m) e incrementar a mayor altura o topo (t) sin llegar a superar a la base.
- La madera de teca procedente de la base ($B \leq 3,5$ m), y la madera procedente de topo ($T \geq 3,5$ m) de la altura del árbol no influyeron significativamente en el tiempo, tasa y calidad de secado de la madera.
- El tiempo de secado artificial de la madera mostro relacion directa significativa con el nivel de humedad inicial e inversa con la velocidad del aire.
- La tasa de secado artificial mostró relación directa significativa con la presencia de agua libre y la velocidad del aire.
- El consumo energía para la evaporación del agua libre fue significativamente menor que para la evaporación del agua higroscópica, incrementándose a mayor humedad inicial y a menor velocidad de aire.
- El secado de la madera de teca con el programa tipo moderado de la JUNAC presento incidencia de defectos de alabeo, los cuales no comprometen su uso para la elaboración de productos solidos de madera.

En base a las conclusiones del estudio, se recomienda:

- Transferir los conocimientos sobre las características de secado de la madera de teca al sector industrial forestal para mejorar la producción.
- Ampliar los estudios sobre las características de secado de la madera de teca en plantaciones en desarrollo en otras regiones del Perú.
- Emplear el sistema de secado natural y artificial para optimizar el consumo de energía y tiempo del proceso de secado de la madera.
- Emplear el cambio de velocidad del aire para optimizar el consumo de energía y tiempo del proceso de secado de la madera.

REFERENCIAS

- ALDANA, P. E. **Medición Forestal**. Texto para la carrera Ingeniería Forestal. Pinar Del Rio, Cuba, 2008.
- AHMED, S. A.; CHUN, S. K. **Permeability of *Tectona grandis* L. f. as affected by wood structure**. Wood Science and Technology, v. 45, p. 487–500, 2011.
- AKACHUKU, A. E.; ABOLARIN, D. A. O. **Variations in pith excentricity and ring width in teak (*Tectona grandis* L.f.)**. Trees: Structure and Function, Berlin, v. 3, n. 1, p. 111-116, 1989.
- ALCOBA, C. R. **Desarrollo de un programa de secado convencional para maderas de teca (*Tectona grandis* Lin. F.), a escala de laboratorio**. Tesis. Biblioteca ESFOR. Universidad Mayor de San Simón, 2009.
- ANANIAS, R. A. **Física de la Madera**. Departamento de Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio-Bio. Chile. 1992.
- ANANIAS, R. A. et al. **Energy Consumption in Industrial Drying of Radiata Pine**. Drying Technology, v. 30, p. 774–779, 2012.
- AQUINO, G. V. L. et.al. **Evaluación de programas de secado para madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus*)**. Madera y Bosques, v. 16, n. 2, p. 35-46, 2010.
- ARCE, N.; MOYA, R. **Wood characterization of adult clones of *Tectona grandis* growing in Costa Rica**. CERNE, v. 21, n. 3, p. 353-362, 2015.
- ARÓSTEGUI, A. **Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas**. Documento de trabajo No 2. Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002. Lima, Perú, 1982.
- ARRUDA, M. T. **Secagem da madeira juvenil de *Tectona grandis* L.f.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras. UFLA, 2013.
- AVRAMIDIS, S. **Bound wáter migration in wood**. Department of Wood Science, The University of British Columbia. Vancouver. Canada, 2018.
- BACHRICH, J. L. **Dry kiln handbook**. Vancouver: H.A. Simons (international) Ltd., 1980.
- BEDELEAN, B. **Influence of various options to baffles setup on air velocity and its uniformity in a drying kiln**. Pro Ligno. Brasov, Rumania, v. 11, n. 4, p. 355-359, 2015.
- BERBEROVIC, A.; MILOTA, M. **Impact of Wood Variability on the Drying Rate at Different Moisture Content Levels**. Forest Products Journal, v. 61, n. 6, p. 435 – 432, 2011.

BERGMAN, R. **Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes**. Chapter 13, Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Forest Products Laboratory, 2010.

BERROCAL, A. et al. **Schedule modification of drying rate to decrease the drying time of juvenile tectona grandis I. Wood**. Escuela de Ingeniería Forestal, Costa Rica. Wood and fiber science, v. 49, n. 4, p. 373–385, 2017.

BETANCUR, S. C.; HERRERA, J.; MEJIA, L.C. **Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis* L.f.) de Puerto Libertador (Córdoba)**. Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín, v. 53, n. 1, p. 913-939, 2000.

BHAT, K.M. **A note on heartwood proportion and wood density of 8-Year-old teak**. Indian Forester. Dehra Dun, v. 121, n. 6, p. 514-517, 1995.

BHAT, M. K.; PRIYA B. P.; RUGMINI, P. **Characterisation of juvenile wood in teak**. Wood Science and Technology, v. 34, p. 517–532, 2001.

BHAT, H. I. et. al. **Antifungal activity of heartwood extracts and their constituents from cultivated *Tectona grandis* against *Phanerochaete chrysosporium***. Wood research, v. 55, n. 4, p. 59–66, 2010.

BLANCO, F. J. et al. **Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil**. Madera y Bosques, v. 20, n. 1, p. 11–20, 2014.

BONDUELLE, G. M. et al. **Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco**. Floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 671–680, 2015.

BOONE, R. S. et al. **Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical**. Forest Products Laboratory. Madison, USA, 1988.

BOONE, R. S. et al. **Quality drying of hardwood lumber**. Forest Products Laboratory. Madison, USA, 1992.

BRAZ, R. L. et al. **Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao Ar Livre**. Floresta e Ambiente, v. 22, n. 1, p. 117-123, 2015.

BROCCO, F. V. et al. **Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative**. Journal of Cleaner Production, v. 142, p. 2093–2099, 2017.

BROCCO, F. V. **Extratos de resíduos industriais da madeira de teca para proteção da madeira a organismos xilófagos**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, 2019.

BULNES, F. et al. **“Informe de evaluación forestal de la plantación de “Teca” (*Tectona grandis*) en el fundo la Génova - Junin”**. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú, 2007.

CALONEGO, W. F. et al. **Qualidade da Secagem de *Eucalyptus grandis* Mediante Vaporização Simultânea em Toros e em Madeira Serrada**. Silva Lusitana, v. 14, n. 2, p. 169-180, 2006.

CALVO, C. J. **Visión general: Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica**. Centro Científico Tropical PROARCA/CAPAS, 2000.

CAMINO, R.; MORALES P. J. **Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades**. Serie técnica/CATIE, Costa Rica, n. 397, 2013.

CANAL, D. W. **Efeito da idade e posição radial nas propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira de *Tectona grandis***. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Viçosa, 2017.

CARDOSO, S. et al. **Anatomical variation of teakwood from unmanaged mature plantations in East Timor**. J Wood Sci, v. 61, p. 326–333, 2015.

CASIN, R. F.; LAXAMANA, M. G.; TAMAYO, G. Y. **Kiln Drying Schedules of some Philippine Commercial Wood Species**. The Phil. Lumb. v. 26. N.3, p. 14-26, 1980.

CASSENS, L. D.; SERRANO, J. R. **Growth stress in hardwood timber**. Proceedings of the 14th Central Hardwood Forest Conference. Ohio, USA, 2004.

CASTRO, F.; RAIGOSA, J. **Crecimiento y propiedades físico – mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de abangares, Costa Rica**. Revista Agronomía Costarricense, v. 24, n. 2, p. 07-23, 2000.

CENTRO DE INNOVACIÓN PRODUCTIVA Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE LA MADERA (CITE MADERA). **La industria de la madera en el Perú. Edición técnica Cite madera**. FAO. Lima–Perú, 2018.

CENTRO PARA LA INVESTIGACION FORESTAL INTERNACIONAL (CIFOR) **Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro**. Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR, 2017.

CHAGAS, F. S. **Propriedades da madeira *Tectona grandis* (L.f.), visando a sua utilização para peças preservadas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1987.

CHUMBIMUNE, V. S.Y. **Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de ulcumano (*Retro phyllum rospigliosii*). de una plantación de 32 años asociada con café en Villa Rica-Perú**. Tesis de Ing. Forestal–UNALM, 2017.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CONNERS, T. **Hardwood dry kiln operation a manual for operators of small dry kilns**. University of Kentucky, 2012.

ÇOTA, H.; LATO, E.; QUKU, D. **Determination of mechanical properties in Teak wood (*Tectona Grandis LF*)**. Albanian j. agric. sci.; (Special edition, Proceedings – ICOALS), Agricultural University of Tirana, 2018.

CREMONEZ, D. V. et al. **Influence of the age on specific gravity and janka hardness in the wood of teak (*Tectona grandis L.F.*) for floor**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v. 9, n. 35, p. 300-305, 2015.

CRESPO, G. R. et al. **Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis L.F.*) de Quevedo y Balzar**. Ciencia y Tecnología, v. 1, n. 2, p. 55-63, 2008.

DENIG, J.; WENGERT, M. E.; SIMPSON, T. W. **Drying hardwood lumber**. Service, Forest Products Laboratory. Madison, USA, 2000.

DEOMANO, E. C. **Influence of some anatomical structures and physical properties on drying rates of selected industrial tree plantation species**. Thesis (Master of Science). College of Forestry and Natural Resources. Los Baños. Philippines, 1995.

DUCATTI, M. A.; JANKOWSKY, P. I.; ANDRADE, A. **Condições operacionais de secagem convencionais em indústrias de madeira no município de Tietê SP**. Scientia Forestalis, n. 59, p. 01–113, 2001.

ECKELMAN, A. C.; BAKER, L. J. **Heat and air requirements in the kiln drying of wood**. Depart. of forestry and Natural Resources and Agric. Engineering. Purdue University. Research bulletin, n. 933, 1976.

FERNÁNDEZ, G. S. J.; CONDE, G. M. **Manual técnico de secado de maderas**. AITIM. Madrid, España, 2007.

FERNÁNDEZ, S. J. **Modelaje de parámetros de albura y duramen en árboles de *Tectona grandis* l.f. en plantaciones forestales de distintas edades en costa rica**. Tesis de Magister. Escuela de Ingeniería forestal. Cartago Costa Rica, 2018.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; MONTEIRO, T. C. **Pith eccentricity in *Eucalyptus* clone stems cultivated on different topographies**. Cerne, v. 14, n. 4, p. 335–340, 2008.

FONSECA, G. W. **Manual para productores de teca (*Tectona grandis L. f*)**, Heredia, Costa Rica, 2003.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). **Air drying of lumber**. Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, USA, 1999.

FRANKLIN, L. **Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood**. *Nature*, 155, 51, 1945.

GARCÍA, V. A. **Contribución de las propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* proveniente de dos plantaciones en Hidalgo**. Tesis para optar el título de Ing. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México, 2005.

GEANKOPLIS, J. C. **Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación**. 4^{ta}. Edición, Compañía Editorial continental. México, 2006.

GLASS, V.S.; ZELINKA, L. S. **Moisture Relations and Physical Properties of Wood**. Chapter 4, *Wood handbook—Wood as an engineering material*. Madison, WI: U.S. Forest Products Laboratory, 2010.

GLOBAL GREEN GROWTH INSTITUTE (GGGI) **Cadenas de valor en el sector forestal del Perú**. Informe diagnóstico y desarrollo estratégico. SERFOR. MINAGRI- Perú, 2015.

GOCHE, T. J. R. et al. **Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii***. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del medio ambiente*, v. 6, n. 1, p. 83–92, 2000.

GOMEZ, P.; MOYA, R. **Comportamiento y costos de secado al aire y preservación por inmersión difusión de madera de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand de plantaciones de rápido crecimiento en el norte de Costa Rica**. *Revista Forestal, Costa Rica*, v. 5, n. 13, p. 1-13, 2008.

GU, H. et al. **Potential sources of variation that influence the final moisture content of kiln-dried hardwood lumber**. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, v. 54, n. 11, p. 65–70, 2004.

GUZENDA, R. et al. **Moisture content of timber after drying - estimation of drying quality**. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, v. 5, n. 2, 2002.

HARDIYANTO, B. E.; PRAYITNO, A. T. **Log qualities, wood properties and processing of teaklog from community teak plantation in Java and eastern Indonesia**. Technical Report ITTO PPD 121/06 Rev. v. 2, n. 1, 2007.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA) **Plan Nacional de Reforestación**. INRENA. PRONAMACH, FONDEBOSQUES, IIAP. Lima, Perú, 2005.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY (IAWA). **List of microscopic features hardwood identification**. IAWA Bulletin, Leiden, v. 10, n. 3, p. 220-359, 1989.

JANKOWSKY, P. I.; **Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e Universidade de São Paulo. Circular Técnica, n. 191, São Paulo, 2000.

JANKOWSKY, P. I.; DOS SANTOS, V. G. **Drying behavior and permeability of *Eucalyptus grandis* lumber**. Maderas. Ciencia y tecnología, v. 7, n. 1, p. 17-21, 2005.

JEREMIC, D.; COOPER, P.; SRINIVASAN, U. **Comparative analysis of balsam fir wetwood, heartwood, and sapwood properties**. Canadian Journal of Forests Research, v. 34, p. 1241–1250, 2004.

JUACIDA, P. R.; INZUNZA, D. L. **Pautas de control de calidad para madera secada artificialmente**. Publicación Docente No. 21 Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile, 1986.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). **Manual del Grupo Andino para el secado de maderas**. Lima, 1989.

KEOGH, M. R. **The Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector**. Forestry Department. FAO, Roma, Italia, 2009.

KLITZKE, R. J. **Uso do inversor de frecuencia na secagem de madeira**. Tese do título de Doutor em Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná. 2002.

KLITZKE, R. J. **Manual de Secagem da Madeira – Módulo 01**. Curitiba – Brasil, DETF/UFPR, 2005.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. **Study of the consumption of electric energy in the kiln drying of wood using a converter of frequency**. Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology. Concepción, Chile. Paper Ws-28, p.1-9, 2008.

KOCH, P. **Drying Southern Pine at 240 °F. Effects of Air Velocity and humidity, Board Thickness and Density**. Forest Products Journal, V.22, n. 9, p. 62-67, 1972.

KOKUTSE, A. D. et al. **Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f)**. Forest Ecology and Management, Elsevier, p. 37- 48, 2012.

KOLLMANN, F. F. P; COTE J. W. A. **Principles of wood science and technology I – Solid wood**. Berlín: New York: SpringerVerlag,1968.

LAMB, F.M. **Targeting and achieving the final moisture content. Profitable solutions for quality drying of softwoods and hardwoods**. Charlotte, p. 54-56, 1994.

LIEBL, A. O. et al. **Influência dos Parâmetros Dimensionais da Pilha na Qualidade da Madeira de *Eucalyptus spp.* Submetida à Secagem ao Ar.** Floresta e Ambiente, v. 24, p. 1/10-10/10, 2017.

LIMA, I. L. et al. **Dimensoes anatomicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. Em funcao do espacamento e da posicao radial do tronco.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 61–68, 2011.

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) sob diferentes condicoes.** Título de Mestre em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2015.

LOIOLA, P. L. et al. **Drying of wood from *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus dunnii* and *Tectona grandis* in solar kiln, in Brazil.** Aust. J. Basic & Appl. Sci., v. 9, n. 5, p. 445-453, 2015.

LUKMANDARU, G.; SAYUDHA, I. G. N. **Colour Properties and Extractive Content in Young Teak Woods.** Department of Forest Products Technology, Faculty of Forestry, Universitas Gadjah Mada, 55281 Jogjakarta, 2019.

LUKMANDARU, G. y TAKAHASHI k. **Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. Fil.) wood as a function of tree age.** Ann. For. Sci, v. 65, p. 708p1-708p8, 2008.

MAEGLIN, R. **Juvenile wood, tension wood, and growth stress effects on processing aplying hardwoods.** In aplying the latest research to hardwood problems: proceedings of the 15th annual hardwood symposium of the hardwood research council. Memphis. US., p. 100-108, 1987.

MAHILD DRYING TECHNOLOGIES (MDT). **Secado de maderas.** 1^{ra} edición. D-72622 Nürtingen Germany, 2007.

MAJKA, J. **The influence of fan speed reduction on airflow uniformity in timber stack during kiln drying.** WOOD RESEARCH, v. 57, n. 3, p. 479-488, 2012.

MARQUES, B. H. M. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da amazônia para secagem com base em características anatômicas e físicas.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MEDINA, A. A. et al. **Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina.** Madera bosques, v. 19, n. 2, p. 7-19, 2013.

MENDIOLA, A. et al. **Estructuración económica y financiera de un instrumento de participación en negocios forestales: el caso de la teca en la región San Martín:** Universidad ESAN, – (Serie Gerencia para el Desarrollo; 58), 2016.

MILIC, G **Drying of hardwood timber-Science and industry** (Keynote lecture). 4th International Scientific Conference, Wood Technology & Product Design “, Ohrid, Republic of North Macedonia, v. IV, p. 1-6, 2019.

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO (MINCETUR). **Reporte comercial de productos madera**. Lima, Perú, 2018.

MIRANDA, I.; SOUSA, V.; PEREIRA, H. **Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor**. Journal of wood Science, v. 57, p. 171–178, 2011.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Atualização: setembro/ – Brasil, 2014.

MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L-f. proveniente do vale do Rio Doce, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. **A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations**. Wood Sci Technol, n. 48, p. 411–433, 2014.

MOYA R. R.; MUÑOZ A.F. **Wet pockets in kiln dried *Gmelina arborea* lumber**. Journal of Tropical Forest Science, v. 20, n. 1, p. 48–56, 2008.

MUNSELL COLOR. **Munsell soil color charts**. Baltimore, USA, Macbeth division of Kollmorgen Corporation, 1990.

MUÑOZ, A. F.; MORENO, P. P. **Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia* A. chev, Maderas de plantación en Costa Rica**. Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del ambiente, 2013.

MUÑOZ, F., H. J.; SÁENZ, R. J. T.; RUEDA, S. A. **Especies promisorias de clima tropical para plantaciones forestales comerciales en Michoacán**. Libro Técnico Núm. 11. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., Méxic, 2011.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.010.2014. **Madera. Método para determinar el contenido de humedad**, 2014.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.011.2014. **Madera. Método para determinar la densidad** 3^{ra} edición, 2019.

NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP) 251.012:2015 **MADERA. Método de determinación de la contracción**. 3^a Edición, 2015.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.101.1988. **Madera aserrada. Defectos. Definiciones y clasificación**, 2017.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.102.2016. **Madera y Carpintería para construcción. Madera aserrada. Defectos. Clasificación y métodos de medición**, 2016.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.114.2016. **Madera y Carpintería para construcción. Madera aserrada. Clasificación visual por grados de calidad. Procedimiento**, 2016.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.134.2005. **Secado de la madera. Apilado horizontal de la madera aserrada**, 2005.

OLIVEIRA, J. T.; HELLMEISTER, C. J.; FILHO, T. M. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto**. R. Árvore, viçosa-mg, v. 29, n. 1, p.115-127, 2005.

PELLISSARI, L. A. et al. **Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais**. Agrarian academy, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 1, n. 1, p. 127-145, 2014.

PANDEY, D.; BROWN, C. **La teca: una visión global**. Unasylyva 201, v. 51, p. 3-13, 2000.

PANSHIN, A; DE ZEEUW, C. **Texbook of wood technology**. 4 ed. New York, US, McGraw-Hill, 1980.

PEREYRA, O.; GELID, M. **Estudio de la variabilidad de la densidad basica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de misiones y norte de corrientes**. Revista Floresta, v. 33, n. 1, p. 3-19, 2002.

PÉREZ, L. D.; KANNINEN, M. **Heartwood, sapwood and bark content, and Wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica**. Silva Fennica, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2003.

PINTO, M. L. P. **Propriedades e características da madeira de teca (*Tectona grandis*), dependendo da idade**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2007.

PIZZOL, D. V. **Secagem natural da madeira de *Eucalyptus grandis* sob dois ambientes de exposição**. Dissertação para obtenção do título de Engenheiro. Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment/Building Research Establishment, 1974.

PREMRASMI, T.; DIETRICH, H. H. **Nature and distribution of extractives in teak (*Tectona grandis* Linn.) from thailand**. The Natural History Bulletin of British Museum, 1967.

QIU, H.; LIU, R.; LONG, L. **Analysis of Chemical Composition of Extractives by Acetone and the Chromatic Aberration of Teak (*Tectona Grandis* L.F.) from China.** MDPI. *Molecules*, p. 1–10, 2019.

QUINTANAR, O. J. **Methodology for evaluation of quality control in artificial wood drying.** *Revista de Investigación y Desarrollo*, v. 4, n. 13, p. 8-13, 2018.

Rios, P. D. et al. **Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus patula*.** *Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 38, e201501016, p. 1-5, 2018.

RIVERO, M. J.; MOYA, R. R. **Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años en Cochabamba, Bolivia** *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)*, v. 3, n. 9, p. 1–14, 2006.

RODRIGUEZ, A. R. et al. **Properties of the wood from commercial teak plantations.** *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, v. 5, n. 24, p. 12-25, 2014.

RODRIGUEZ, E. R.; ALFARO, C. S.; JAMANCA, G. N. **Transferencia de Masa.** Editorial UNAB. Universidad Nacional de Barranca. Perú, 2017.

ROJAS, V. A. **Balance of Energy in a Kiln of Drying Wood** Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba. *Tecnología Química*, v. XXXVI, n. 1, p. 20-35, 2016.

ROMERO, V. B. **Anatomía y propiedades físicas de *Schizolobium amamazonicum* Huber ex Ducke. Y *Tectona grandis* Linn f. – Satipo.** Tesis de Ingeniero Forestal. Huancayo Perú, 2010.

ROSAS, C. A. **Variabilidad en el árbol de las dimensiones de las fibras y de la densidad básica de la madera *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.** Tesis de Ing. Forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. México, 2003.

ROSEN N. H. **Kiln size affects energy required to dry lumber.** North Central Forest Experiment Station. Minnesota. Research Note NC – 256, 1980.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de eucalipto resultantes da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SALAS, B. A. (2018) **Métodos estadísticos para la Investigación Científica,** Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 2018.

SALIN, G. J. **The influence of some factors on the timber drying process, analyzed by a global simulation model.** Universidad del Bío – Bío. *Maderas. Ciencia y tecnología*, v. 7, n. 3, p. 195-204, 2005.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. **Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 99-106, 2002.

SANTOS V. R. **Otimização da secagem de madeira de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden]**. Dissertação apresentada na Universidade de São Paulo – Brasil, 2002.

SANTOS, V. R.; JANKOWSKY, P. I.; ANDRADE, A. **Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis***. *Scientia Forestalis* n. 63, p. 214-220, 2003.

SCARPARO, B. T. **Avaliação das propriedades da madeira de Teca (*Tectona grandis* L.f) no Estado de Goiás – Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 2015.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU (SENAMHI). <https://www.senamhi.gob.pe>. 2020.

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR). **Oferta y demanda de germoplasma y plantones de especies forestales maderables comerciales existentes en la Región Amazonas**. Ministerio de agricultura y riego. Perú, 2014.

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR). **Anuario forestal y de fauna silvestre 2017**. Ministerio de agricultura y riego. Perú, 2019.

SEVERO, D. E. T. **Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de madeira serrada de *Pinus elliottii***. Dissertação para obtenção do Título "Mestre em Ciências M.Sc." Universidade Federal do Paraná, 1989.

SEVERO, D. E. T. **Quality of sawn timber drying of *Eucalyptus dunnii***. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 10, n. 1: p.109-124, 2000.

SIAU, F. J. **Transport Processes in Wood**. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg. GmbH & Co. K. Berlin, Germany, 1984.

SIMATUPANG H.; ROSAMAH E.; YAMAMOTO K. **Importance of teakwood extractives on wood properties and for tree breeding**. Presented Products Research Lumpur at 3rd Conference 1995 (CFFPR-95), Forest Kuala, 1995.

SIMPSON, W.T. **Dry kiln operator's manual**. FPL–RN–266. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1991.

SIMPSON, W. T. **Effect of air velocity on drying rate of single eastern white pine boards**. Res. Note FPL–RN–266. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997.

SIMPSON, W. T. **Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1998.

SHOTTAFER, J.; SHULER, E. C. **Estimating Heat Consumption in Kiln Drying Lumber**. Technical Bulletins. Maine Agricultural and Forest Experiment Station. DigitalCommons at UMaine, 1974.

SKAAR, C. **Wood-water relation**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.

SMITH F.W.; HASHEMINJ. **Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales**. Cuarta edición. Mc. Graw Hill. México, 2006.

STAMM, A. J. **Wood and Cellulose Science**. New York, Ronald Press Company, 1964.

STEINER, Y. et al. **Optimizing the Air Velocity in an Industrial Wood Drying Process**. Journal Wood Science & Engineering, v. 6, p. 21-33, 2011.

STRAZE, A.; PERVAN, S.; GORISEK, Z. **Impact of various conventional drying conditions on drying rate and on moisture content gradient during early stage of beechwood drying**. 'The Future of Quality Control for Wood & Wood Products', 4-7th, Edinburgh The Final Conference of Cost Action E53, p. 40-47, 2010.

TAMARIT U.J. et al. **Volume estimation system for individual *Tectona grandis* L. f. trees through compatible taper/volume functions**. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, v. 5, n. 21, p. 58–75, 2014.

TELLES, A. R., et al. **Physico-mechanical properties of *Tectona grandis* L. f. wood from a commercial plantation in the State of Michoacán**. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, v. 8, n. 40, p. 37-56, 2017.

TENORIO C.; MOYA R. **Kiln Drying of *Acacia mangium* Willd Wood: Considerations of Moisture Content before and after Drying and Presence of Wet Pockets**. Drying Technology, v. 29, p. 1845–1854, 2011.

TEWARI, P. V.; MARISWAMY, K. M. **Heartwood, sapwood and bark content of teak trees grown in Karnataka, India**. Journal of Forestry Research, v. 24, n. 4, p. 721–725, 2013.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. **Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood**. Holz Roh Werkstoff, n. 65, p. 121-124, 2007.

TIEMANN, D. H. **The art of kiln drying timber its development, present status, and future possibilities**. International Institute of Agricultura. World Forestry Congress. Proof, n. 123, 1926.

TOLEDO E. **Un caso de éxito en plantaciones forestales con fines comerciales e industriales.** Reforesta Perú SAC; Revista Agro enfoque Perú. Año XXX – n. 203, p. 45–51, 2016.

TOMASELLI, I. **Condições da secagem artificial de madeiras serradas no paraná e santa catarina.** Dissertaao tese de Mestre em Ciências - M. Sc. Universidade Federal de Paraná. Curitiba – Brasil. 1974.

TONG L. **Moisture Transport in Wood and Wood-based Panels.** Swedish Institute for Wood Technology Research. Estocolmo, 1986.

TORRES, F.S. **Teak potential in Brazil. Ponencia presentada en el seminario regional Site, Technology and Productivity of Teak Plantations,** Chiang Mai, Tailandia. p. 26-29, 1999.

TRIANOSKI R. et al. **Variao longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 503-510, 2013.

TRUGILHO, P. F. et al. **Deformaao residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp.** Cerne, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

TUSET, R.; DURAN, F. **Manual de maderas comerciales, equipos y proceso de utilizacion: aserrado, secado, preservacion, descortezado, partículas.** Edit agrop. Hemisferio Sur. Montevideo. Uruguay, 1986.

VALERO, W. S.; REYES, C, E.; GARAY, A. D. **Study of the physical-mechanical properties of 20 years old *Tectona grandis* from plantations in the Experimental Unit of the Forest Reserve Ticoporo, Barinas State.** Revista Forestal Venezolana, v. 49, n. 1, p. 61-73, 2005.

VICENTE, V. T. A. et al. **Variao radial e axial da massa específica básica e das contraoes de madeira de quatro procedncias de Pinus.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa, n. 28, 2005.

VIGNOTE, P. S.; MARTINEZ, R. I. **Tecnología de la madera.** 3a edicion. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, Barcelona, México. 2006.

VIKBERG, T.; HGG, L.; ELUSTONDO, D. **Influence of fan speed on airflow distribution in a batch kiln.** Wood Material Science & Engineering, v. 10, n. 2, p. 197–204, 2015.

VISCARRA, S. **Guía para el secado de la madera en Hornos,** Documento Técnico 69/1998. Chemonics International. USAID/BOLIVIA. 1998.

WALLACE J.; AVRAMIDIS S. **Impact of airflow on hem-fir kiln drying.** Drying technology, v. 34, n. 11, p. 1354–1358, 2016.

WANNENG, P. X.; OZARSKA, B.; DAIAN, MS. **Physical properties of *Tectona grandis* grown in Laos**. Journal of Tropical Forest Science, v. 26, n. 3: p. 389–396, 2014.

WEAVER, P.L. ***Tectona grandis* L.f. Teca**. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1993.

WEBER, E. M. **Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. marion de diferentes edades, misiones, argentina**. Floresta, Curitiba, PR, v. 35, n. 3, p. 487 – 404, 2005.

WIEDENHOEFT, A. **Structure and Function of Wood. Chapter 3**, Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Forest Products Laboratory. 2010.

YPUSHIMA, P. A. **Caracterización biológica y química de la madera de teca (*tectona grandis*) en dos condiciones edafoclimáticas y su relación con el crecimiento**. tesis de doctorado. Universidad de Guadalajara. 2015.

ZEN, R. L. **Métodos combinados para secagem da madeira de Eucalyptus: présecagem ao ar livre com secagem em estufa convencional** Disertacion tese de Mestre. Universidad Federal de Paraná. Curitiba – Brasil. 2016.

ZEN, R. L. et al. **Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto**. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 7, n. 2, p. 291-298, 2019.

ZUÑIGA, C.C. **Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. procedente del Fundo Génova – Junín**. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. 2012.

APENDICE 1: IDENTIFICACION DE LA TECA (*Tectona grandis* L.f.).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo .203
APDO.456 - LA MOLINA LIMA PERU



CONSTANCIA

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por el Ing. FLORENCIO TEODORO TRUJILLO CUELLAR, docente de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis doctoral titulado: “Secado Artificial de la madera de Teca (*Tectona grandis* L.f.) de plantaciones de 33 años en el Perú”; corresponden a:

<u>Muestra</u>	<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
1	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae
2	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae
3	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae

Atentamente,



Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera

La Molina, 20 de Marzo de 2019

APENDICE 2: VOLUMEN DE TROZAS DE ARBOLES DE TECA.

➤ VOLUMEN DE MADERA DE 10 TROZAS DE LA PRIMERA EXTRACCION.

Árbol (#)	Ubicación troza	Extremo	Diametro mayor (m)	Diametro menor (m)	Diametro medio (m)	Área media (m ²)	Largo (m)	Volumen (m ³)
1	B	Mayor	0,420	0,400	0,410	0,112	3,000	0,336
		Menor	0,350	0,340	0,345			
	T	Mayor	0,340	0,330	0,335	0,075	3,000	0,225
		Menor	0,285	0,280	0,283			
2	B	Mayor	0,380	0,360	0,370	0,096	3,000	0,289
		Menor	0,335	0,325	0,330			
	T	Mayor	0,320	0,315	0,318	0,070	3,000	0,209
		Menor	0,280	0,275	0,278			
3	B	Mayor	0,390	0,390	0,390	0,108	3,000	0,323
		Menor	0,355	0,345	0,350			
	T	Mayor	0,340	0,335	0,335	0,074	3,000	0,221
		Menor	0,285	0,270	0,278			
4	B	Mayor	0,400	0,380	0,390	0,108	3,000	0,325
		Menor	0,360	0,345	0,353			
	T	Mayor	0,350	0,330	0,340	0,072	3,000	0,217
		Menor	0,275	0,260	0,268			
5	B	Mayor	0,400	0,370	0,385	0,104	3,000	0,312
		Menor	0,345	0,340	0,343			
	T	Mayor	0,335	0,330	0,333	0,072	3,000	0,216
		Menor	0,275	0,270	0,273			
Media	B							0,317
	T							0,217
Total (%)	B						59,3	1,583
	T						40,7	1,087
Total madera en pie								2,671

FUENTE: El autor (2019).

➤ VOLUMEN DE MADERA DE 10 TROZAS DE LA SEGUNDA EXTRACCION.

Árbol (#)	Ubicación	Extremo	Diametro mayor (m)	Diametro menor (m)	Diametro medio (m)	Área media (m ²)	Largo (m)	Volumen (m ³)
1	B	Mayor	0,350	0,290	0,320	0,071	3,000	0,212
		Menor	0,300	0,260	0,280			
	T	Mayor	0,300	0,260	0,280	0,053	3,000	0,159
		Menor	0,260	0,220	0,240			
2	B	Mayor	0,370	0,290	0,330	0,071	3,000	0,212
		Menor	0,290	0,250	0,270			
	T	Mayor	0,290	0,250	0,270	0,045	3,000	0,136
		Menor	0,230	0,190	0,210			
3	B	Mayor	0,290	0,270	0,280	0,050	3,000	0,150
		Menor	0,240	0,210	0,225			
	T	Mayor	0,240	0,210	0,225	0,035	3,000	0,105
		Menor	0,210	0,185	0,198			
4	B	Mayor	0,340	0,260	0,300	0,059	3,000	0,178
		Menor	0,280	0,220	0,250			
	T	Mayor	0,275	0,220	0,248	0,037	3,000	0,111
		Menor	0,210	0,165	0,188			
5	B	Mayor	0,310	0,300	0,305	0,062	3,000	0,185
		Menor	0,260	0,250	0,255			
	T	Mayor	0,260	0,245	0,253	0,042	3,000	0,127
		Menor	0,225	0,200	0,213			
Media	B							0,187
	T							0,128
Total (%)	B						59,5	0,937
	T						40,5	0,639
Total madera en pie								1,576

FUENTE: El autor (2019).

➤ VOLUMEN DE MADERA DE 10 TROZAS DE LA TERCERA EXTRACCION.

Árbol (#)	Ubicación	Extremo	Diametro mayor (m)	Diametro menor (m)	Diametro medio (m)	Área media (m ²)	Largo (m)	Volumen (m ³)
1	B	Mayor	0,310	0,330	0,320	0,073	3,000	0,219
		Menor	0,290	0,290	0,290			
	T	Mayor	0,290	0,290	0,290	0,063	3,000	0,188
		Menor	0,280	0,270	0,275			
2	B	Mayor	0,320	0,290	0,305	0,065	3,000	0,195
		Menor	0,280	0,260	0,270			
	T	Mayor	0,280	0,260	0,270	0,050	3,000	0,150
		Menor	0,240	0,230	0,235			
3	B	Mayor	0,280	0,270	0,275	0,049	3,000	0,147
		Menor	0,230	0,220	0,225			
	T	Mayor	0,230	0,220	0,225	0,034	3,000	0,101
		Menor	0,200	0,180	0,190			
4	B	Mayor	0,300	0,290	0,295	0,057	3,000	0,172
		Menor	0,250	0,240	0,245			
	T	Mayor	0,250	0,240	0,245	0,037	3,000	0,111
		Menor	0,190	0,190	0,190			
5	B	Mayor	0,265	0,265	0,265	0,044	3,000	0,133
		Menor	0,210	0,210	0,210			
	T	Mayor	0,210	0,210	0,210	0,033	3,000	0,099
		Menor	0,190	0,210	0,200			
Media	B							0,173
	T							0,130
Total (%)	B						57,1	0,866
	T						42,9	0,650
Total madera en pie								1,516

FUENTE: El autor (2019).

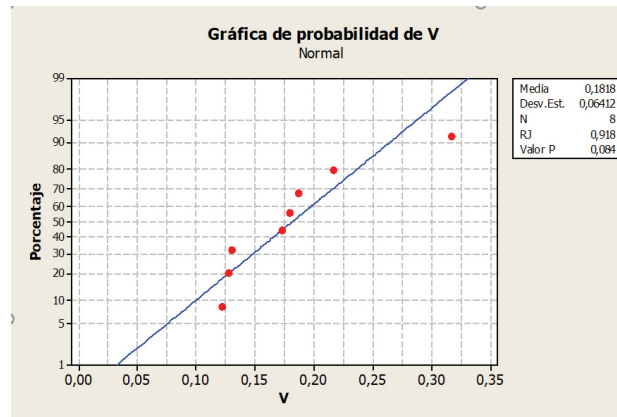
➤ VOLUMEN DE MADERA DE 10 TROZAS DE LA CUARTA EXTRACCION.

Árbol (#)	Ubicación	Extremo	Diametro mayor (m)	Diametro menor (m)	Diametro medio (m)	Área media (m ²)	Largo (m)	Volumen (m ³)
1	B	Mayor	0,350	0,270	0,310	0,065	3,000	0,195
		Menor	0,280	0,250	0,265			
	T	Mayor	0,280	0,230	0,255	0,040	3,000	0,119
		Menor	0,200	0,190	0,195			
2	B	Mayor	0,340	0,320	0,330	0,071	3,000	0,212
		Menor	0,270	0,270	0,270			
	T	Mayor	0,270	0,270	0,270	0,047	3,000	0,140
		Menor	0,220	0,215	0,218			
3	B	Mayor	0,310	0,265	0,288	0,055	3,000	0,165
		Menor	0,265	0,220	0,243			
	T	Mayor	0,265	0,220	0,243	0,039	3,000	0,117
		Menor	0,215	0,190	0,203			
4	B	Mayor	0,300	0,270	0,285	0,055	3,000	0,165
		Menor	0,260	0,230	0,245			
	T	Mayor	0,260	0,230	0,245	0,038	3,000	0,113
		Menor	0,200	0,185	0,193			
5	B	Mayor	0,295	0,260	0,278	0,054	3,000	0,161
		Menor	0,260	0,230	0,245			
	T	Mayor	0,260	0,230	0,245	0,041	3,000	0,122
		Menor	0,220	0,200	0,210			
Media	B							0,180
	T							0,122
Total (%)	B						59,5	0,899
	T						40,5	0,611
Total madera en pie								1,509

FUENTE: El autor (2019).

- ANALISIS ESTADISTICO DEL VOLUMEN DE MADERA DE TROZAS DE 20 ARBOLES APROVECHADOS EN CUATRO EXTRACCIONES.

Prueba de normalidad



Prueba de varianzas iguales: V vs. H

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
b	4	0,0361257	0,0687380	0,325542
t	4	0,0238048	0,0452944	0,214514

Prueba F (distribución normal). Estadística de prueba = 2,30; valor p = 0,511

Prueba de Levene (cualquier distribución continua). Estadística de prueba = 0,12; valor p = 0,737

ANOVA de dos factores: Volumen vs. Extracción; Nivel de altura.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Extracciones	3	0,0194325	0,0064775	21,66	0,016
Nivel de altura	1	0,0084500	0,0084500	28,26	0,013
Error	3	0,0008970	0,0002990		
Total	7	0,0287795			

S = 0,01729 R-cuad. = 96,88% R-cuad.(ajustado) = 92,73%.

Comparaciones de volúmenes promedio por árbol

Al comparar el volumen promedio por extracción y por nivel de altura, la prueba de Tukey muestra que la primera extracción muestra un volumen promedio por árbol significativamente mayor. Y la prueba de T-student con una $t=5.4$ y p valor = 0.012 muestra que el volumen promedio de las trozas del nivel de altura B son significativamente mayores que los de T con un 95% de confianza,

IC y Prueba T pareada: B; T

	N	Media	Desv.Est.	estándar
B	4	0,2143	0,0685	0,0343
T	4	0,1493	0,0455	0,0228
Diferencia	4	0,0649	0,0241	0,0120

IC de 95% para la diferencia media: (0,0266; 0,1032)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 5,40 Valor P = 0,012

FUENTE: El autor (2019)

APENDICE 3: ALBURA Y DURAMEN DE ARBOLES DE TECA.

PROPORCIÓN DE CORTEZA, ALBURA Y DURAMEN.

ARBOL N°	ALTURA PROMEDIO (m)	AREAS						
		DURAMEN		ALBURA		CORTEZA		TOTAL
		cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
1	b (0.25)	475.2	59.1	230.9	28.7	98.6	12.2	804.7
	m (3.75)	402.5	61.1	169.4	25.7	87.1	13.2	659.1
	t (7.25)	291.5	56.2	172.2	33.2	55.1	10.6	518.9
2	b (0.25)	481.7	61.5	209.3	26.7	92.2	11.8	783.2
	m (3.75)	425.2	60.6	214.0	30.5	62.5	8.9	701.7
	t (7.25)	310.6	58.0	170.8	31.9	54.1	10.1	535.4
3	b (0.25)	638.7	69.0	189.8	20.5	97.1	10.5	925.6
	m (3.75)	421.1	65.0	149.7	23.1	76.9	11.9	647.7
	t (7.25)	400.7	63.9	168.1	26.8	58.3	9.3	627.1
4	b (0.25)	525.9	67.5	151.4	19.4	101.8	13.1	779.1
	m (3.75)	461.5	66.0	169.9	24.3	67.7	9.7	699.1
	t (7.25)	361.3	62.8	154.2	26.8	59.8	10.4	575.3
5	b (0.25)	487.2	54.1	295.6	32.8	118.1	13.1	900.9
	m (3.75)	331.1	54.3	193.2	31.7	85.4	14.0	609.7
	t (7.25)	283.6	53.1	191.1	35.8	59.3	11.1	534.0

FUENTE: El autor (2019).

ANOVA DEL PORCENTAJE PROMEDIO DE ALBURA, DURAMEN Y CORTEZA DE ARBOLES DE TECA.

Fuente	Gl	Sc ajust.	Mc ajust.	Valor f	Valor p
Tejido	2	19041.0	9520.5	578.50	2e -16 (***)
Altura	2	0.0	0.0	0.0000	1.000
Interacción	4	115.5	28.9	1.7541	0.1596
Residual	36	592.5	16.5		

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 4: EXCENTRICIDAD DE ARBOLES DE TECA.

➤ EXCENTRICIDAD DE CINCO ARBOLES EN TRES NIVELES DE ALTURA.

ARBOL N°	ALTURA (m)	DIAMETRO CON CORTEZA			EXCENTRICIDAD	
		MAYOR (d1) (mm)	MENOR (d2) (mm)	PROMEDIO (mm)	DESVIACION (mm)	(%)
1	b (0.25)	369.0	319.0	344.0	24.6	7.2
	m (3.75)	290.3	263.2	276.8	10.0	3.6
	t (7.25)	256.0	235.0	245.5	11.3	4.6
	PROMEDIO	305.1	272.4	288.8	15.3	5.1
2	b (0.25)	374.0	349.0	361.5	27.9	7.7
	m (3.75)	297.0	257.0	277.0	12.4	4.5
	t (7.25)	236.0	220.0	228.0	15.0	6.6
	PROMEDIO	302.3	275.3	288.8	18.4	6.3
3	b (0.25)	391.0	357.0	374.0	15.9	4.3
	m (3.75)	315.0	290.0	302.5	13.8	4.6
	t (7.25)	250.0	231.0	240.5	13.0	5.4
	PROMEDIO	318.7	292.7	305.7	14.2	4.7
4	b (0.25)	384.0	365.0	374.5	24.4	6.5
	m (3.75)	297.0	293.0	295.0	11.0	3.7
	t (7.25)	238.0	236.0	237.0	13.0	5.5
	PROMEDIO	306.3	298.0	302.2	16.1	5.2
5	b (0.25)	387.0	343.0	365.0	18.5	5.1
	m (3.75)	314.0	283.0	298.5	11.1	3.7
	t (7.25)	235.0	220.0	227.5	10.3	4.5
	PROMEDIO	312.0	282.0	297.0	13.3	4.4

FUENTE: El autor (2019).

➤ ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LA EXCENTRICIDAD EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL.

Estadísticos descriptivos	Diametro			Excentricidad	
	Mayor (d1) (mm)	Menor (d2) (mm)	Promedio (mm)	Desviación (mm)	(%)
Media	308.9	284.1	296.5	15.48	5.167
Desv. Estándar	59.2	52.0	55.3	5.76	1.298
(CV)	19.17	18.29	18.65	37.22	25.13
Mínimo	235.0	220.0	227.5	10.00	3.600
Máximo	391.0	365.0	374.5	27.90	7.700

FUENTE: El autor (2019).

- PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA EXCENRICIDAD EN TRES NIVELES DE ALTURA DE CINCO ARBOLES DE TECA.

Prueba de normalidad.

Se corroboró del cumplimiento de normalidad (W de Shapiro = 0,98; p-valor=0,99) y homocedasticidad (Chi-cuadrado=3,75; p-valor=0,052). Con un F de 5,82 (p-valor=0,01),

```
Shapiro-Wilk normality test
data:  ri
W = 0.98556, p-value = 0.9941
```

Prueba de homocedasticidad

```
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 3.750248, Df = 1, p = 0.0528
```

- ANOVA DE LA EXCENRICIDAD EN TRES NIVELES DE ALTURA PROMEDIO DE CINCO ARBOLES DE TECA.

```
Analysis of Variance Table

Response: EM
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Altura    2  11.625   5.8127   5.8282 0.01704 *
Residuals 12  11.968   0.9973
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 5: MEDICIONES MICROSCOPICAS MADERA DE TECA.

➤ CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS DE LA MADERA A 0.25 M (b) DE ALTURA DEL ARBOL DE TECA 1.

ARBOL 1b	POROS M. TARDIA (µm)		POROS M. INICIAL (µm)		RADIOS				FIBRAS				VASOS		
	Diámetro tangencial	Numero mm2	Diámetro tangencial	Numero mm2	Altura (µm)	Ancho (µm)	Numero células		Numero mm	5 X 40 (µm)		8 X 4 (µm)		Longitud	Longitud
							Altura	Ancho		D. total	Lumen	Esp. Pared	D. total		
1	147.039	7	185.833	5	730.761	48.843	24	3	4	23.933	17.978	2.978	1105.070	246.953	246.953
2	123.636	7	188.317	8	733.132	62.323	22	4	4	26.979	18.384	4.298	1107.469	255.530	255.530
3	122.144	8	172.525	6	609.632	48.843	28	3	5	27.158	18.022	4.568	1179.537	200.191	200.191
4	119.512	7	168.799	8	735.070	66.604	36	3	5	18.748	13.471	2.639	1302.591	197.192	197.192
5	142.391	7	218.609	4	777.052	48.843	25	3	4	23.310	14.934	4.188	1307.425	185.973	185.973
6	163.724	8	171.458	7	721.852	53.468	31	3	4	26.468	18.982	3.743	1308.393	218.354	218.354
7	141.616	8	181.101	6	876.614	52.164	30	3	4	23.983	17.602	3.191	1335.619	212.152	212.152
8	99.743	7	193.442	6	756.156	53.284	28	3	4	25.986	17.431	4.278	1336.137	189.826	189.826
9	123.933	7	200.825	6	892.511	57.724	29	3	5	18.894	11.361	3.767	1340.854	225.791	225.791
10	124.031	8	163.724	5	677.512	45.209	27	3	5	24.720	15.234	4.743	1368.223	191.842	191.842
11	137.764	7	201.796	6	830.443	39.963	24	3	3	15.079	10.742	2.169	1472.802	264.550	264.550
12	111.135	6	203.306	7	701.623	53.468	20	3	3	22.314	14.376	3.969	1555.630	201.393	201.393
13	135.336	6	233.434	7	613.256	44.783	31	3	5	26.382	17.338	4.522	1567.674	203.886	203.886
14	126.413	7	193.126	6	707.356	39.564	37	3	4	18.759	13.375	2.692	904.842	257.177	257.177
15	133.507	6	185.656	7	895.346	44.783	36	3	4	21.763	14.763	3.500	1296.407	221.406	221.406
16	111.425	8	189.847	5	736.889	44.509	27	3	4	24.195	16.826	3.685	1169.971	270.470	270.470
17	124.255	5	171.888	7	717.517	44.509	30	3	5	23.231	17.563	2.834	1270.968	249.073	249.073
18	171.905	6	183.525	6	801.225	49.701	50	4	4	22.759	14.078	4.341	1402.802	161.536	161.536
19	143.542	7	147.921	6	974.305	49.455	35	3	5	22.858	14.625	4.117	1210.649	182.370	182.370
20	159.901	6	136.782	5	781.382	49.455	43	3	3	24.618	16.862	3.878	1398.476	212.472	212.472
21	108.745	7	150.802	6	751.725	44.509	43	3	4	29.193	22.519	3.337	1267.694	205.066	205.066
22	124.256	8	181.279	5	717.244	49.701	40	3	3	14.448	9.709	2.370	1337.366	233.670	233.670
23	165.147	9	169.601	6	688.058	49.455	36	3	1	26.356	21.004	2.676	1044.580	246.639	246.639
24	110.872	5	210.423	6	668.808	44.509	33	3	5	21.375	13.375	4.000	1390.293	134.816	134.816
25	129.297	8	202.383	6	742.411	54.624	27	3	4	33.203	24.145	4.529	1072.318	244.551	244.551
PROM	132.051	7	184.256	6	753.515	49.612	32	3	4	23.468	16.188	3.640	1282.152	216.515	216.515

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 7.25 M (t) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 1.

ÁRBOL 1t	POROS M. TARDIA (µm)		POROS M. INICIAL (µm)		RADIOS				FIBRAS				VASOS	
	Diametro tangencial	Numero mm2	Diametro tangencial	Numero mm2	Altura (µm)	Ancho (µm)	Numero células		Numero por mm	D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho						
		5 X 4 (µm)		8 X 4 (µm)										
1	129.012	7	200.797	7	839.845	43.714	72	3	4	26.033	14.763	5.635	1174.839	183.030
2	140.243	9	177.741	8	718.394	49.831	36	4	4	25.390	16.041	4.675	1387.751	302.955
3	151.696	8	202.322	8	623.667	39.750	32	2	3	18.650	9.393	4.629	1220.330	156.558
4	99.661	7	218.392	7	714.069	44.625	50	3	4	27.189	17.088	5.051	1233.162	255.294
5	110.872	6	190.041	6	739.465	45.436	39	3	4	28.489	19.627	4.431	1607.187	231.627
6	90.481	9	185.126	7	790.617	44.542	42	4	4	20.504	13.182	3.661	1452.901	184.221
7	116.705	7	201.347	6	833.959	49.831	20	3	5	25.103	16.163	4.470	1402.281	258.202
8	161.432	7	203.835	8	505.580	44.767	69	3	4	25.244	18.565	3.340	1241.458	172.465
9	147.921	7	173.187	6	894.729	44.542	51	3	3	20.914	12.722	4.096	1170.415	250.974
10	78.398	7	199.877	6	754.009	39.951	37	4	4	23.306	16.228	3.539	1416.407	142.485
11	144.559	6	212.977	6	784.138	35.061	43	3	5	30.328	19.223	5.553	1337.767	293.240
12	91.427	7	228.568	7	853.093	30.160	41	2	5	20.817	11.429	4.694	1457.586	274.868
13	125.535	7	205.696	7	791.236	36.097	44	3	4	18.855	12.928	2.964	1390.733	233.831
14	87.634	6	225.222	7	865.390	49.673	52	3	5	17.563	11.964	2.800	1532.605	290.242
15	79.896	7	208.708	7	826.128	44.783	44	3	5	24.117	16.390	3.864	1480.934	285.447
16	169.161	8	228.671	7	717.364	34.970	34	3	5	21.375	15.147	3.114	1453.302	259.629
17	144.184	7	194.326	6	599.515	34.970	25	3	4	23.309	15.771	3.769	1366.650	297.859
18	111.574	9	221.167	7	722.338	39.564	68	3	4	23.585	16.955	3.315	1329.920	169.198
19	117.552	6	174.218	5	578.639	39.564	31	3	5	29.672	26.753	1.460	1164.694	187.427
20	120.328	7	179.677	6	867.798	39.564	58	3	5	21.019	10.565	5.227	1336.560	252.919
21	106.758	7	169.305	8	684.680	36.632	24	2	7	24.220	19.593	2.314	1288.784	290.008
22	117.552	6	211.443	7	758.616	44.783	45	3	5	20.646	12.164	4.241	1331.722	256.120
23	142.391	6	195.643	6	588.842	30.082	28	3	5	18.963	12.281	3.341	1646.188	170.220
24	151.302	6	178.722	9	630.510	35.217	21	2	4	24.307	15.462	4.423	1557.712	199.095
25	158.529	6	198.620	8	744.634	41.783	46	3	4	28.750	20.986	3.882	1577.750	171.280
PROM	123.792	7	199.425	7	737.090	40.796	42	3	4	23.534	15.655	3.939	1382.386	230.768

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 0.25 M (b) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 2.

ÁRBOL 2b	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIOS					FIBRAS				VASOS	
	Diámetro tangencial	Número mm ²	Diámetro tangencial	Número mm ²	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número células		Número mm	D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud	
							Altura	Ancho							
	5 X 40 (μm)														8 X 4 (μm)
1	79.430	5	179.818	5	662.765	79.282	33	4	6	25.444	19.515	2.965	1082.766	226.126	
2	76.006	4	165.903	5	866.592	89.909	70	5	5	24.495	18.258	3.119	1001.893	248.849	
3	67.633	4	190.726	6	865.681	84.653	42	5	5	26.183	19.546	3.319	1330.482	250.990	
4	85.756	6	181.115	6	682.759	79.743	28	5	5	26.569	20.507	3.031	1340.681	218.298	
5	89.909	5	196.631	6	794.570	64.291	23	4	5	24.079	17.811	3.134	1376.737	223.995	
6	111.362	5	212.068	6	900.195	93.964	39	5	5	27.509	20.440	3.535	1403.170	222.898	
7	68.932	5	191.294	5	900.412	84.218	37	5	7	28.375	22.539	2.918	1418.101	253.642	
8	59.241	5	228.578	6	890.676	89.566	39	5	5	31.785	27.100	2.343	1589.906	250.990	
9	94.088	5	179.818	7	811.431	89.155	30	5	4	30.514	25.265	2.625	1529.000	219.063	
10	108.855	6	214.334	5	916.525	84.218	38	5	5	27.487	20.950	3.269	1391.487	253.114	
11	67.194	5	173.399	6	726.982	74.182	30	4	5	36.000	29.641	3.180	1497.866	272.584	
12	111.007	5	210.622	7	771.206	64.481	14	3	4	27.599	21.233	3.183	1506.034	270.490	
13	115.789	4	198.824	5	713.991	80.049	25	4	5	33.824	27.047	3.389	1237.846	232.303	
14	89.909	6	188.438	7	586.271	66.604	23	4	4	28.797	23.563	2.617	1237.159	192.688	
15	109.217	4	230.297	5	896.907	89.249	41	4	4	25.028	19.352	2.838	1414.177	259.766	
16	80.049	5	198.576	6	850.059	66.604	41	5	5	31.820	25.550	3.135	1485.550	231.823	
17	113.467	5	190.726	6	888.237	89.249	37	4	4	32.226	27.044	2.591	1646.126	245.738	
18	99.783	6	190.675	6	621.658	80.417	25	4	4	27.599	22.619	2.490	1438.018	186.094	
19	98.591	5	206.605	6	702.971	71.045	27	4	4	32.521	26.206	3.158	1394.366	180.437	
20	79.430	5	203.383	6	712.057	72.127	66	5	5	28.095	21.805	3.145	1478.076	245.602	
21	112.068	5	195.827	6	555.481	66.604	21	5	4	22.354	17.631	2.362	1265.854	244.555	
22	118.232	5	206.986	6	750.463	88.917	33	5	6	31.480	25.718	2.881	1434.438	165.817	
23	112.068	5	192.987	6	906.685	84.482	49	4	6	30.328	22.927	3.701	1687.501	203.111	
24	70.207	5	208.741	5	586.943	66.604	23	4	5	27.509	20.117	3.696	1485.691	236.112	
25	115.061	5	230.425	5	577.530	67.194	16	3	4	23.742	18.291	2.726	1305.671	191.236	
PROM	93.331	5	198.672	6	765.562	78.672	34	4	5	28.454	22.427	3.014	1399.144	229.053	

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 7.25 M (t) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 2.

ÁRBOL 2t	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIOS				FIBRAS				VASOS	
	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		Número por mm	D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho						
1	115.347	8	251.879	6	821.318	44.783	38	3	5	21.561	16.445	5.116	1448.914	213.287
2	57.673	7	248.309	6	841.319	64.291	64	4	4	19.299	13.609	5.690	1080.804	338.976
3	153.628	8	234.323	6	747.173	54.400	39	4	4	23.824	18.349	5.475	1242.813	280.328
4	108.575	8	237.794	6	836.436	50.434	15	3	5	19.693	13.750	5.943	1510.601	210.224
5	113.853	8	225.547	6	459.927	69.413	19	4	4	19.480	14.345	5.135	1252.990	192.313
6	122.843	6	269.289	6	929.746	64.481	41	4	4	16.390	11.087	5.303	1520.692	181.997
7	162.223	7	195.079	6	779.811	40.781	22	3	4	23.816	18.065	5.751	1409.223	334.023
8	81.111	7	258.160	8	588.696	54.624	30	4	5	25.968	20.736	5.232	1375.138	275.087
9	136.784	7	343.237	7	726.999	55.292	36	4	5	23.143	17.257	5.886	1326.128	258.202
10	91.190	5	221.002	6	890.402	59.345	52	4	5	17.751	14.239	3.512	1038.764	331.234
11	122.444	6	196.951	8	635.902	64.481	20	4	4	20.385	15.874	4.511	1327.510	256.031
12	185.174	5	207.060	6	667.710	64.481	37	4	4	20.624	16.460	4.164	1332.702	276.945
13	171.672	6	190.897	6	979.250	64.291	48	4	5	18.432	13.597	4.835	1289.637	330.459
14	124.354	6	254.426	7	734.101	54.767	35	4	3	12.394	7.927	4.467	1423.180	373.645
15	100.399	7	282.321	8	649.617	64.458	25	4	5	29.112	21.185	7.927	1152.677	313.116
16	134.881	7	228.299	8	903.084	59.500	40	4	5	17.369	12.727	4.642	1428.565	312.754
17	70.992	9	308.733	9	625.713	65.217	33	4	5	17.151	12.121	5.030	1474.645	323.843
18	167.779	7	208.545	6	896.698	45.061	20	3	5	26.917	21.421	5.496	1620.793	318.204
19	104.596	7	217.320	7	878.311	59.500	37	4	4	22.598	16.822	5.776	1453.954	175.457
20	155.616	7	276.469	8	614.518	44.900	21	3	4	19.970	15.452	4.518	1509.291	302.083
21	155.616	6	241.792	8	660.650	61.217	33	4	4	20.772	14.523	6.249	1209.479	245.290
22	89.388	8	213.612	9	873.357	59.706	39	4	5	20.761	15.893	4.868	1225.607	299.450
23	147.171	6	197.401	6	853.755	54.767	45	4	4	21.852	17.440	4.412	1443.641	177.890
24	113.176	7	174.390	7	674.497	64.649	29	4	5	25.254	20.159	5.095	1159.364	280.328
25	144.559	6	207.185	7	675.499	72.194	26	4	5	24.850	19.485	5.365	1173.705	209.865
PROM	125.242	7	235.601	7	757.780	58.281	34	4	4	21.175	15.959	5.216	1337.233	272.441

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 0.25 M (b) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 3.

ÁRBOL 3b	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIOS				FIBRAS				VASOS	
	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho						
1	140.750	7	243.535	7	762.900	74.182	31	4	7	22.178	17.353	4.825	1097.489	286.380
2	152.750	10	237.485	7	895.250	89.018	37	5	5	26.664	19.196	7.468	981.083	215.927
3	95.513	6	248.506	6	668.808	79.743	30	4	5	32.497	26.621	5.876	1130.492	290.491
4	141.703	8	245.536	8	628.092	84.218	28	5	5	20.794	14.692	6.102	1247.628	236.293
5	150.654	11	268.925	7	613.416	69.413	24	4	5	21.648	16.642	5.006	1302.482	208.330
6	142.391	8	222.270	7	742.626	79.127	30	4	6	16.045	11.243	4.802	1100.853	262.205
7	112.990	7	246.926	5	692.434	84.073	28	5	5	14.461	10.123	4.338	1220.354	280.941
8	106.528	8	284.138	6	831.204	79.743	34	4	5	21.926	16.981	4.945	1392.501	274.474
9	133.160	7	250.271	7	757.236	84.218	33	4	5	25.181	20.337	4.844	1292.075	270.418
10	90.246	8	214.259	6	604.985	74.182	26	4	5	23.990	18.799	5.191	1057.088	237.411
11	108.462	9	264.524	7	880.305	74.347	41	4	6	21.557	16.816	4.741	1368.328	276.896
12	134.531	6	209.876	6	687.863	79.282	27	5	5	17.841	12.542	5.299	1234.942	216.407
13	98.537	8	220.242	6	756.719	74.838	31	4	5	22.961	17.546	5.415	1061.709	209.871
14	97.416	7	193.946	6	583.647	89.155	22	5	5	20.066	14.234	5.832	1379.033	265.477
15	110.872	9	257.881	8	578.956	84.073	23	5	5	22.961	18.456	4.505	880.213	270.162
16	144.133	7	250.285	7	786.327	90.246	37	4	5	28.768	23.147	5.621	1290.994	241.116
17	152.745	7	260.206	7	855.921	79.743	37	5	6	33.869	28.926	4.943	1007.773	244.906
18	110.093	1	232.249	7	697.590	89.155	28	5	4	19.816	13.702	6.114	1131.248	254.721
19	168.583	8	226.352	7	677.978	89.566	30	4	5	18.171	14.501	3.670	1228.353	283.145
20	139.628	8	279.827	6	751.855	79.127	33	5	5	29.948	23.182	6.766	1390.978	238.234
21	92.629	6	267.014	7	812.275	89.155	30	5	5	31.332	26.127	5.205	1040.822	274.852
22	107.036	7	250.923	6	781.945	74.182	32	5	4	20.733	15.560	5.173	1317.993	242.781
23	163.098	9	275.042	7	845.803	69.236	33	5	5	23.810	18.450	5.360	1126.671	223.833
24	128.917	7	235.560	6	875.401	79.281	34	4	5	24.635	19.675	4.960	1319.056	234.385
25	138.123	9	280.661	8	779.431	76.771	37	4	4	19.874	14.053	5.821	1057.164	264.652
PROM	126.460	8	246.658	7	741.959	80.643	31	4	5	23.269	17.956	5.313	1186.293	252.172

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 7.25 M (t) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 3.

ÁRBOL 3t	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIO				FIBRAS				VASOS	
	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		Número por mm	D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho						
1	70.808	7	240.859	6	566.212	38.095	29	3	4	20.049	14.660	5.389	1057.341	276.816
2	150.410	6	223.642	7	801.980	49.755	36	3	4	26.225	20.592	5.633	1196.617	286.648
3	151.705	8	221.167	7	731.926	33.313	33	3	4	21.476	15.136	6.340	1010.994	256.168
4	87.634	6	261.549	7	768.553	47.111	31	3	4	25.724	19.874	5.850	1130.782	308.573
5	156.389	6	257.164	5	678.092	53.715	29	3	4	22.996	18.190	4.806	1083.273	200.431
6	89.155	7	192.365	7	814.370	37.188	36	3	4	23.157	17.841	5.316	1072.661	259.413
7	101.953	6	252.606	7	971.147	57.995	41	4	4	26.417	21.609	4.808	1180.924	279.756
8	116.402	7	241.113	7	764.454	49.583	33	3	4	19.497	14.185	5.312	1122.924	297.250
9	133.160	8	225.222	7	867.797	45.451	35	3	4	16.488	12.051	4.437	963.265	301.812
10	187.667	8	215.454	7	706.611	54.347	27	3	4	21.584	17.245	4.339	1060.691	282.632
11	131.961	6	232.489	6	644.702	53.874	23	3	4	21.165	17.279	3.886	1157.632	283.682
12	141.616	8	202.039	5	743.761	41.319	29	3	4	19.763	15.907	3.856	1074.911	284.565
13	121.197	6	202.216	7	665.819	55.292	28	5	4	24.602	19.389	5.213	1150.824	268.879
14	142.159	6	198.824	5	604.641	49.701	29	4	4	23.262	18.049	5.213	1088.173	265.259
15	86.215	8	236.839	6	663.594	49.455	32	3	4	27.513	22.194	5.319	1146.495	254.713
16	87.464	9	226.412	5	784.022	54.624	32	3	4	20.462	14.332	6.130	1028.256	269.155
17	164.291	6	233.696	5	633.023	44.405	35	4	4	19.431	13.608	5.823	1310.344	208.389
18	126.295	6	230.554	6	719.639	40.403	31	4	4	29.419	23.663	5.756	1068.577	249.216
19	91.539	6	238.002	6	600.960	52.418	30	4	4	21.340	15.402	5.938	1186.521	222.580
20	105.545	8	207.320	6	559.179	44.223	35	4	4	23.456	17.592	5.864	1189.920	188.974
21	131.120	9	226.281	8	674.088	40.403	26	4	4	22.655	17.835	4.820	1331.401	198.755
22	127.151	6	203.770	7	775.005	52.878	24	4	4	22.288	16.474	5.814	1239.026	255.950
23	101.254	5	202.946	5	503.321	48.410	32	3	4	31.019	25.904	5.115	1489.250	263.149
24	185.432	5	185.432	7	631.502	40.403	37	4	4	19.997	15.432	4.565	1219.454	258.839
25	198.824	7	210.012	7	648.274	44.223	32	4	4	24.776	18.824	5.952	1150.824	191.514
PROM	127.494	7	222.719	6	700.907	47.143	31	3	4	22.990	17.731	5.260	1148.443	256.525

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 0.25 M (b) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 4.

ÁRBOL 4b	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIOS				FIBRAS			VASOS	
	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		D. total	LUMEN 5 X 40 (μm)	Esp. Pared	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho					
1	168.790	8	218.299	5	628.323	50.793	27	4	30.803	25.067	5.736	1273.998	264.523
2	159.851	9	217.982	5	745.244	61.677	31	5	30.710	25.916	4.794	1465.865	263.325
3	133.209	8	190.984	6	725.836	58.162	42	4	22.228	16.378	5.850	1266.511	289.873
4	146.799	9	222.192	6	845.616	65.406	45	5	19.970	15.452	4.518	1969.368	271.493
5	137.935	9	186.968	6	726.888	59.943	37	4	19.837	15.972	3.865	1366.986	237.138
6	150.970	9	177.834	5	845.833	50.922	36	4	21.810	17.696	4.114	1423.951	310.554
7	137.649	8	222.015	6	838.111	54.542	38	4	13.749	8.650	5.099	1557.484	238.076
8	115.533	8	262.015	6	816.319	47.304	40	4	21.810	15.272	6.538	1263.334	237.294
9	159.912	8	239.940	4	867.377	47.165	39	4	18.037	12.448	5.589	1335.910	255.296
10	146.597	7	235.503	6	841.903	50.922	37	4	20.363	15.571	4.792	1511.229	235.367
11	173.399	7	173.399	7	787.587	65.305	36	4	23.532	18.063	5.469	1389.809	263.254
12	182.106	6	190.933	5	740.131	54.421	34	4	25.145	19.049	6.096	1604.150	290.417
13	155.411	7	205.698	4	700.552	58.162	29	4	23.296	18.460	4.836	1260.644	276.816
14	179.132	9	282.281	7	769.849	49.454	33	4	23.276	19.673	3.603	1047.905	251.148
15	174.848	8	197.880	5	830.895	59.345	37	4	24.429	18.335	6.094	991.490	289.231
16	119.102	8	252.267	5	873.865	55.292	29	3	20.244	15.310	4.934	1393.399	260.700
17	104.324	8	237.433	5	746.780	54.400	41	4	28.790	22.937	5.853	1230.205	239.982
18	156.154	8	252.993	6	930.390	64.291	49	4	30.867	23.905	6.962	1145.195	312.345
19	173.399	7	257.164	5	885.292	54.400	42	4	28.180	22.796	5.384	1458.276	281.874
20	133.893	7	247.273	6	728.662	49.454	32	3	18.391	14.898	3.493	1165.340	297.250
21	163.873	8	193.443	6	637.983	59.345	29	3	23.992	17.466	6.526	1163.518	301.102
22	154.580	8	232.489	4	811.431	54.400	36	3	26.106	20.039	6.067	1514.488	310.465
23	94.094	8	237.433	5	846.034	54.624	44	3	18.516	13.580	4.936	1576.313	306.396
24	183.049	8	227.974	5	905.140	61.564	35	5	25.840	20.672	5.168	1363.507	253.065
25	193.884	8	272.404	6	789.844	55.313	28	4	27.389	22.093	5.296	1349.636	314.746
PROM	151.940	8	225.392	5	794.635	55.864	36	4	23.492	18.228	5.264	1363.540	274.069

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 7.25 M (t) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 4.

ÁRBOL 4t	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIOS				FIBRAS				VASOS	
	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud	
							Altura	Ancho						5 X 40 (μm)
1	131.787	6	212.601	7	830.736	60.438	24	4	4	21.395	15.760	5.635	1252.634	214.776
2	92.201	6	219.063	7	691.533	40.203	37	4	4	17.035	12.089	4.946	1056.507	227.913
3	104.666	7	216.165	7	804.697	60.438	44	5	4	31.257	25.615	5.642	1449.527	252.925
4	134.038	7	264.808	8	941.439	52.418	47	4	4	27.036	22.031	5.005	1300.209	266.657
5	82.317	6	235.385	8	767.882	72.810	32	5	3	23.634	19.190	4.444	1486.325	232.546
6	179.837	7	224.699	6	932.841	48.410	49	4	4	27.949	22.594	5.355	1399.338	269.139
7	167.243	6	288.360	6	667.801	44.223	37	4	4	21.928	18.355	3.573	1356.894	204.923
8	158.144	5	297.572	7	812.453	52.263	63	4	4	27.446	22.005	5.441	1171.627	233.729
9	181.700	6	157.467	7	776.755	48.243	46	4	4	28.505	23.639	4.866	1115.796	274.659
10	128.544	9	281.458	8	763.893	68.463	40	5	8	26.855	21.584	5.271	1332.757	294.958
11	98.131	7	251.816	8	744.141	64.450	39	5	4	25.051	19.431	5.620	1216.556	248.282
12	134.078	6	212.726	7	832.206	66.304	36	5	5	40.182	34.234	5.948	1228.383	251.407
13	98.964	7	219.063	7	961.055	48.410	49	4	5	30.272	25.360	4.912	1447.340	170.730
14	106.567	7	209.872	7	624.457	55.673	27	4	4	24.221	19.196	5.025	1214.312	243.977
15	164.351	7	218.298	6	706.426	52.308	39	5	4	27.862	21.798	6.064	1210.402	223.485
16	111.362	6	193.446	6	880.977	52.308	38	4	3	23.217	18.475	4.742	1260.715	306.153
17	133.283	8	170.186	7	712.760	66.116	35	4	5	31.424	25.958	5.466	1438.552	314.776
18	159.912	9	245.223	6	624.500	49.038	31	4	4	26.340	22.194	4.146	1539.782	270.142
19	142.713	7	240.146	7	726.130	46.234	34	4	4	23.580	19.136	4.444	1373.341	275.942
20	164.351	6	316.385	7	722.862	55.673	36	4	3	23.147	18.049	5.098	1151.161	320.482
21	146.799	7	276.371	7	631.503	49.038	29	4	5	26.946	21.989	4.957	1251.507	319.174
22	129.075	6	286.941	6	667.123	45.886	37	4	4	33.787	29.467	4.320	1094.567	254.758
23	128.845	6	291.880	6	820.896	49.038	44	4	4	26.738	21.664	5.074	1408.815	195.549
24	119.970	7	252.199	6	843.468	43.000	45	4	4	25.620	19.781	5.839	1343.108	260.700
25	96.752	5	307.953	6	755.539	52.308	33	5	4	27.620	21.781	5.839	1474.067	290.801
PROM	131.825	7	243.603	7	769.763	53.748	39	4	4	26.762	21.655	5.107	1302.969	256.743

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 0.25 M (b) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 5.

ÁRBOL 5b	POROS M. TARDIA (μm)		POROS M. INICIAL (μm)		RADIOS				FIBRAS				VASOS	
	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Diámetro tangencial	Número por mm^2	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		Número por mm	D. total	LUMEN	Esp. Pared	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho						
1	90.921	7	273.121	6	857.326	43.688	40	3	5	32.385	27.824	4.561	1011.372	308.151
2	131.404	6	258.350	5	701.153	47.304	32	3	4	23.151	18.220	4.931	1168.639	259.413
3	136.067	7	249.684	5	762.590	39.909	45	3	4	22.330	17.117	5.213	1038.901	309.345
4	140.750	7	290.900	5	863.666	43.688	36	3	4	28.032	23.402	4.630	1125.857	235.585
5	169.016	7	335.016	4	718.802	43.537	35	4	4	26.686	21.340	5.346	1275.174	204.971
6	134.531	8	274.862	5	711.329	40.073	27	3	4	37.344	32.155	5.189	1462.948	224.369
7	170.528	6	264.385	5	798.179	47.304	36	4	4	24.207	18.247	5.960	1114.898	244.243
8	111.270	7	244.687	6	712.022	54.421	30	4	5	28.556	22.220	6.336	1360.185	232.026
9	184.048	7	289.552	5	638.794	36.461	33	3	3	27.711	21.862	5.849	1545.808	222.580
10	174.848	5	262.854	4	711.246	50.793	35	4	4	26.222	22.178	4.044	1509.851	281.082
11	169.954	7	270.919	5	689.157	44.877	32	3	4	22.864	15.914	6.950	1063.658	236.332
12	144.137	7	265.078	4	798.698	54.421	34	4	4	27.711	22.121	5.590	1278.982	214.195
13	186.228	6	254.919	5	609.782	50.793	27	3	4	40.459	36.165	4.294	1272.136	289.166
14	94.962	7	230.270	7	549.633	35.473	32	4	4	17.997	13.879	4.118	1052.716	199.502
15	95.076	8	231.632	6	584.535	35.473	37	3	4	30.168	25.417	4.751	845.991	224.576
16	95.418	6	232.410	5	688.955	35.906	31	3	5	30.383	26.047	4.336	1560.783	203.788
17	74.144	8	234.464	6	693.767	39.070	32	3	4	29.694	23.810	5.884	1184.454	247.119
18	87.245	6	236.871	5	695.593	41.750	27	3	4	32.313	26.317	5.996	1008.256	266.692
19	117.210	6	239.857	4	771.418	41.750	25	3	4	30.419	25.552	4.867	1155.975	280.751
20	118.827	6	240.694	5	775.286	41.750	26	3	4	25.753	21.346	4.407	1095.997	194.978
21	121.063	8	251.445	6	822.561	41.750	34	3	4	27.047	22.194	4.853	1233.209	243.672
22	122.081	7	251.589	5	840.430	42.241	31	3	4	31.007	25.051	5.956	1071.942	244.615
23	130.414	7	262.836	5	858.496	42.241	40	3	5	34.826	28.586	6.240	1303.590	183.838
24	141.781	7	265.083	5	937.472	45.418	42	3	5	35.569	30.102	5.467	1456.441	275.470
25	144.341	7	297.549	4	990.841	48.280	35	4	4	28.186	23.337	4.849	1096.889	179.437
PROM	131.451	7	260.361	5	751.269	43.535	33	3	4	28.841	23.616	5.225	1211.786	240.236

FUENTE: El autor (2019).

➤ CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA MADERA A 7.25 M (t) DE ALTURA DEL ÁRBOL DE TECA 5.

ÁRBOL 5t	POROS M. TARDIA (µm)		POROS M. INICIAL (µm)		RADIOS				FIBRAS			VASOS		
	Diámetro tangencial	Número mm ²	Diámetro tangencial	Número por mm ²	Altura (µm)	Ancho (µm)	Número de células		Número por mm	D. total 5 X 40 (µm)	LUME N	Esp. Pared	Longitud	Longitud
							Altura	Ancho						
1	96.346	6	217.556	6	530.114	33.922	25	4	5	30.744	25.674	5.070	1300.670	243.328
2	108.339	6	225.632	6	548.068	34.022	29	4	4	26.855	20.592	6.263	1327.697	248.469
3	131.712	6	243.844	6	563.679	39.141	30	4	4	24.489	19.118	5.371	1237.382	248.484
4	132.298	6	244.836	6	579.281	39.227	30	3	4	22.283	17.737	4.546	1000.664	244.551
5	133.076	8	250.129	6	584.593	41.750	32	3	4	19.455	15.372	4.083	1278.578	272.518
6	135.228	8	250.582	5	598.367	46.969	37	4	4	29.419	23.157	6.262	1097.668	231.585
7	135.837	6	255.090	5	647.209	49.578	34	4	4	23.067	17.306	5.761	1241.204	290.492
8	139.914	6	258.922	5	673.300	49.647	32	3	3	26.803	22.588	4.215	1243.673	244.091
9	143.085	6	269.329	6	694.094	49.647	33	4	4	22.594	17.678	4.916	1169.152	280.057
10	155.021	7	270.075	4	676.009	49.852	36	4	4	27.480	22.660	4.820	1104.237	246.629
11	164.072	7	271.674	4	681.172	52.448	41	4	3	30.402	24.626	5.776	1587.934	289.005
12	170.696	7	289.324	4	775.265	54.859	44	4	4	20.524	14.747	5.777	1091.660	251.407
13	170.967	8	292.320	6	897.932	57.465	48	4	4	22.737	18.355	4.382	1296.021	241.825
14	95.233	6	238.155	6	668.000	34.022	41	5	5	34.723	30.279	4.444	950.007	267.432
15	97.424	5	245.780	6	683.900	41.831	37	3	4	21.989	17.035	4.954	1495.743	268.207
16	112.476	6	251.598	5	688.880	44.436	45	4	4	25.747	20.928	4.819	1504.810	270.839
17	112.688	7	253.324	6	809.058	46.969	42	3	4	26.300	20.817	5.483	1448.342	237.177
18	115.286	6	256.795	5	829.929	47.041	41	4	5	29.901	24.588	5.313	1280.844	260.486
19	127.886	7	260.938	5	929.172	52.187	35	4	4	26.424	21.395	5.029	1243.678	326.459
20	133.487	6	263.560	5	678.215	54.797	36	4	3	23.947	18.824	5.123	1356.136	315.454
21	135.713	6	268.816	6	621.475	41.750	32	4	4	20.136	14.692	5.444	1142.280	271.665
22	143.539	6	272.389	6	663.033	47.041	39	3	4	25.291	20.867	4.424	1243.269	271.494
23	159.257	7	279.313	5	676.236	47.041	31	3	4	23.042	18.824	4.218	1516.084	287.195
24	162.675	7	280.420	7	683.656	52.187	33	4	4	20.462	15.900	4.562	1244.715	255.405
25	132.954	6	287.990	4	683.736	60.242	34	4	4	22.241	17.939	4.302	1471.371	232.186
PROM	133.808	6	259.936	5	682.575	46.723	36	4	4	25.082	20.068	5.014	1274.953	263.858

FUENTE: El autor (2019).

- PRUEBAS DE NORMALIDAD DE LAS CARACTERISTICAS ANATOMICAS DE MADERA DE TECA A 0.25 Y 7.25 METROS DE ALTURA PROMEDIO DE CINCO ARBOLES.

DIÁMETRO TANGENCIAL DE POROS EN MADERA TARDÍA.

Shapiro-Wilk normality test

data: ri - W = 0.99131, p-value = 0.145 - > ncvTest(mod) - Non-constant Variance Score Test
 Variance formula: ~ fitted.values - Chisquare = 0.2645678, Df = 1, p = 0.607
 > t.test(df\$diam_tan_mad_tard[df\$pos=="A"], + df\$diam_tan_mad_tard[df\$pos=="C"],
 + var.equal = T)

Two Sample t-test

data: df\$diam_tan_mad_tard[df\$pos == "A"] and df\$diam_tan_mad_tard[df\$pos == "C"]
 t = -0.36729, df = 248, p-value = 0.7137
 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0. 95 percent confidence interval:
 -8.817572 6.045828 - Sample estimates: mean of x mean of y; 127.0464 128.4323

DIÁMETRO TANGENCIAL DE POROS EN MADERA INICIAL Ó TEMPRANA

Shapiro-Wilk normality test

data: ri - W = 0.98793, p-value = 0.03421; > ncvTest(mod) - Non-constant Variance Score Test
 Variance formula: ~ fitted.values - Chisquare = 0.1464032, Df = 1, p = 0.702
 > t.test(df\$diam_tan_mad_temp[df\$pos=="A"], + df\$diam_tan_mad_temp[df\$pos=="C"],
 + var.equal = T)

Two Sample t-test

data: df\$diam_tan_mad_temp[df\$pos == "A"] and df\$diam_tan_mad_temp[df\$pos == "C"]
 t = -1.9994, df = 248, p-value = 0.05666
 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0. 95 percent confidence interval:
 -18.241116 -0.137044 - Sample estimates: mean of x mean of y; 223.0677 232.2568

PORO MM2 MADERA TARDÍA

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: df\$poro_mm2_mad_tard[df\$pos == "A"] and df\$poro_mm2_mad_tard[df\$pos == "C"]
 W = 8468, p-value = 0.2366. Alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

PORO MM2 MADERA INICIAL Ó TEMPRANA

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: df\$poro_mm2_mad_temp[df\$pos == "A"] and df\$poro_mm2_mad_temp[df\$pos == "C"]
 W = 5128, p-value = 9.238e-07. Alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

LONGITUD DE VASOS

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: df\$long_vasos[df\$pos == "A"] and df\$long_vasos[df\$pos == "C"]
 W = 6145, p-value = 0.003546. Alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

DIÁMETRO DE FIBRA

> shapiro.test(ri); Shapiro-Wilk normality test; data: ri - W = 0.99172, p-value = 0.1721
 > ncvTest(mod); Non-constant Variance Score Test ; Variance formula: ~ fitted.values
 Chisquare = 4.091934, Df = 1, p = 0.053088

Two Sample t-test

data: df\$diam_fibra[df\$pos == "A"] and df\$diam_fibra[df\$pos == "C"]
 t = 2.7023, df = 248, p-value = 0.007363; Aternative hypothesis: true difference in means is not
 equal to 0; 95 percent confidence interval: 0.4328523 2.7599957
 sample estimates: mean of x mean of y; 25.50504 23.90862

DIÁMETRO DE LUMEN

Shapiro-Wilk normality test
 data: ri; W = 0.99689, p-value = 0.9083; > ncvTest(mod); Non-constant Variance Score Test
 Variance formula: ~ fitted.values ; Chisquare = 1.631412, Df = 1, p = 0.20151
 > t.test(df\$diam_fibra[df\$pos=="A"]^0.5,
 + df\$diam_fibra[df\$pos=="C"]^0.5,
 + var.equal = T)

Two Sample t-test
 data: df\$diam_fibra[df\$pos == "A"]^0.5 and df\$diam_fibra[df\$pos == "C"]^0.5
 t = 2.5884, df = 248, p-value = 0.01021; Alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0; 95 percent confidence interval: 0.03680377 0.27108819
 sample estimates: mean of x mean of y
 5.024860 4.870914

ESPESOR DE PARED

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
 data: df\$esp_pared[df\$pos == "A"] and df\$esp_pared[df\$pos == "C"]
 W = 6167, p-value = 0.004009; Alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

LONGITUD DE FIBRAS

Shapiro-Wilk normality test
 data: ri; W = 0.99027, p-value = 0.09322; > ncvTest(mod); Non-constant Variance Score Test
 Variance formula: ~ fitted.values ; Chisquare = 3.217303, Df = 1, p = 0.072864
 > ggplot(df,aes(x=pos,y=long_fibra))+geom_boxplot()
 > t.test(df\$long_fibra[df\$pos=="A"],
 + df\$long_fibra[df\$pos=="C"],
 + var.equal = T)

Two Sample t-test
 data: df\$long_fibra[df\$pos == "A"] and df\$long_fibra[df\$pos == "C"]
 t = -0.027815, df = 248, p-value = 0.9778; Alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0; 95 percent confidence interval: -44.06599 42.83871
 sample estimates: mean of x mean of y
 1288.583 1289.197

NUMERO DE CELULAS EN LA ALTURA DE RADIO

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
 data: df\$alt_cel_rad[df\$pos == "A"] and df\$alt_cel_rad[df\$pos == "C"]
 W = 6308, p-value = 0.008451
 alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

NUMERO DE CELULAS EN EL ANCHO RADIO

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
 data: df\$anch_cel_rad[df\$pos == "A"] and df\$anch_cel_rad[df\$pos == "C"]
 W = 8601.5, p-value = 0.1328
 alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

RADIO POR MM

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
 data: df\$rad_mm[df\$pos == "A"] and df\$rad_mm[df\$pos == "C"]
 W = 9404.5, p-value = 0.00147; Alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

ALTURA DE RADIOS

Shapiro-Wilk normality test

data: ri; W = 0.99128, p-value = 0.1434; > ncvTest(mod); Non-constant Variance Score Test
 Variance formula: ~ fitted.values ; Chisquare = 1.720214, Df = 1, p = 0.18967
 > t.test(df\$alt_rad[df\$pos=="A"],
 + df\$alt_rad[df\$pos=="C"],
 + var.equal = T)

Two Sample t-test

data: df\$alt_rad[df\$pos == "A"] and df\$alt_rad[df\$pos == "C"]
 t = 2.3891, df = 248, p-value = 0.01764; Alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0; 95 percent confidence interval: 5.57793 57.95244
 sample estimates: mean of x mean of y
 761.3881 729.6229

ANCHO DE RADIOS

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: df\$anch_rad[df\$pos == "A"] and df\$anch_rad[df\$pos == "C"]
 W = 11046, p-value = 1.546e-08; Alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

CARACTERÍSTICAS ANATOMICAS MICROSCOPICAS DE LA *Tectona grandis* - COMPARACIÓN DE MEDIAS Y COEFICIENTE DE VARIACION (CV).

Características microscópicas	Promedios		Valor mínimo		Valor máximo		CV	
	B (*)	T (*)	b	t	b	t	b	t
Diámetro tangencial Poros madera tardía (μm)	127,1 a	128,4 a	59,2	57,7	193,9	198,8	24,0	22,7
Diámetro tangencial Poros madera temprana (μm)	223,1 a	232.3 a	136.8	157.5	335.0	343.2	16.6	15.4
Poros por mm ² . Madera tardía	6.9 A	6.8 A	1.0	5.0	11.0	9.0	21.4	14.5
Poros por mm ² . Madera inicial ó temprana	5.8 B	6.5 A	4.0	4.0	8.0	9.0	16.4	16.2
Longitud de vasos (μm)	242.4 B	256.1 A	134.8	142.5	314.8	373.7	14.9	17.5
N° células en altura de radio	33.3 B	36.4 A	14.0	15.0	70.0	72.0	24.1	27.8
N° células en ancho del radio	3.8 A	3.7 A	3.0	2.0	5.0	5.0	19.8	18.1
Altura de radio (μm)	761.4 a	729.6 b	549.6	459.9	990.8	979.3	13.0	15.2
Ancho de radio (μm)	61.7 A	49.3 B	35.5	30.1	94.0	72.8	27.1	19.1
N° radios por mm.	4.5 A	4.2 B	1.0	3.0	7.0	8.0	17.7	16.2
Diámetro de fibra (μm)	25.5 a	23.9 b	13.8	12.4	40.5	40.2	19.9	17.7
Diámetro de Lumen (μm)	19.7 a	18.2 b	8.7	7.9	36.2	34.2	25.6	23.9
Longitud de fibras (μm)	1288.6 a	1289.2 a	846.0	950.0	1969.4	1646.2	14.6	12.4
Espesor de pared (μm)	4.5 B	4.9 A	2.2	1.5	7.5	7.9	27.1	18.4

Prueba no paramétrica (A, B); Prueba paramétrica (a, b).

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 6: DENSIDAD, CONTRACCION TOTAL Y PARCIAL.
 ➤ CONTRACCION Y DENSIDAD EN TRES NIVELES DE ALTURA DE CINCO ARBOLES DE TECA.

ARBOL (N°)	ALTURA (m)	CANTIDAD DE PROBETAS	% CH PROM	CONTRACCION RADIAL % PROM	CONTRACCION TANGENCIAL % PROM	RELACION T/R PROM	CONTRACCION LONGITUDINAL % PROM	CONTRACCION VOLUMETRICA % PROM	DENSIDAD SATURADA PROM	DENSIDAD ANHIDRA PROM	DENSIDAD BASICA PROM
1		14	76.341	3.7122	6.8920	1.8566	0.1528	9.5217	1.1264	0.7110	0.6425
2	BASE	14	85.888	2.1552	5.8900	2.7329	0.2937	7.5172	1.0719	0.6299	0.5815
3	(b)	14	100.159	2.4274	6.9666	2.8700	0.1282	7.9424	1.1117	0.6074	0.5589
4	(0.25m)	14	71.038	3.0988	7.7941	2.5152	0.2248	9.3147	1.0175	0.6551	0.5925
5		14	103.299	3.8235	9.1360	2.3894	0.2999	10.7468	1.0939	0.6036	0.5379
PROMEDIO		70	87.3451	3.0434	7.3357	2.4728	0.2199	9.0085	1.0843	0.6414	0.5827
1		14	96.6290	3.0914	8.2184	2.6585	0.1128	9.8454	1.1022	0.6232	0.5615
2	MEDIO	14	79.1389	2.1896	5.8211	2.6585	0.1162	7.4494	0.9370	0.5651	0.5230
3	(m)	14	120.0395	2.3790	7.0366	2.9579	0.0702	8.5045	1.0912	0.5442	0.4980
4	(3.75m)	14	75.9037	3.1336	8.0158	2.5580	0.1770	8.8794	0.9946	0.6171	0.5618
5		14	97.3339	3.1235	7.9489	2.5449	0.3270	8.6509	1.0393	0.5789	0.5285
PROMEDIO		70	93.8090	2.7834	7.4082	2.6756	0.1606	8.6659	1.0329	0.5857	0.5345
1		14	82.4538	2.8350	6.6087	2.3311	0.2918	8.7620	1.1055	0.6681	0.6103
2	TOPO	14	72.3738	2.4795	6.2008	2.5009	0.1534	7.9068	0.9670	0.6096	0.5614
3	(t)	14	110.4390	2.0513	6.0931	2.9704	0.0960	7.4427	1.0825	0.5573	0.5158
4	(7.25m)	14	70.1309	2.9824	7.4281	2.4906	0.2105	8.5697	1.0504	0.6761	0.6181
5		14	89.9882	3.3847	6.8627	2.0276	0.3765	7.0986	1.0255	0.5861	0.5446
PROMEDIO		70	85.0771	2.7466	6.6387	2.4641	0.2256	7.9559	1.0462	0.6194	0.5701
PROMEDIO TOTAL		210	88.7437	2.8578	7.1275	2.5297	0.2021	8.5435	1.0545	0.6155	0.5624

FUENTE: El autor (2019).

- NORMALIDAD Y HOMOCEASTICIDAD DE LOS VALORES DE DENSIDAD BASICA, ANHIDRA Y SATURADA DE LA MADERA DE TECA.

Densidad

Densidad básica

Se eliminaron datos atípicos y se imputaron con la media del grupo. No se cumplen los supuestos por lo que se aplica logaritmo neperiano a la variable respuesta.

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test. data: ri
W = 0.99229, p-value = 0.3409

Homocedasticidad

Non-constant Variance Score Test. Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 3.489987, Df = 1, p = 0.061741

Densidad anhidra

No se cumplen los supuestos por lo que se aplica logaritmo neperiano a la variable respuesta. De esta forma se tiene que:

Normalidad

Shapiro-Wilk normality test. data: ri
W = 0.99229, p-value = 0.3409

Homocedasticidad

Non-constant Variance Score Test. Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 3.489987, Df = 1, p = 0.061741

- ANOVA DE LOS PROMEDIOS DE DENSIDAD BASICA EN TRES ALTURAS DE CINCO A RBOLES.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
ALTURA	2	0.21275	0.106375	15.233	6.887e-07 (***)
ARBOL	4	0.68395	0.170987	24.486	2.2e-16 (***)
RESIDUALES	202	1.41056	0.006983		

FUENTE: El autor (2019).

- ANOVA DE LOS PROMEDIOS DE DENSIDAD ANHIDRA EN TRES ALTURAS DE CINCO ARBOLES.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
ALTURA	2	0.08958	0.044790	13.357	3.564e-06 (***)
ARBOL	4	0.31768	0.079420	23.684	4.496e-16 (***)
RESIDUALES	202	0.67737	0.003353		

FUENTE: El autor (2019).

- TEST NO PARAMETRICO DE KRUSKAL-WALLIS PARA COMPARACION DE PROMEDIOS DE DENSIDAD SATURADA EN TRES ALTURAS DE CINCO ARBOLES.

ALTURA	DATOS. DSAT	RANK	STD	R	MIN	MAX	Q25	Q50	Q75
B	1.108631	135.84286	0.04769925	70	0.957	1.1867	1.08225	1.109	1.14475
M	1.049273	91.67857	0.0813041	70	0.843	1.176	0.98	1.0715	1.10875
T	1.043206	87.22464	0.08900163	69	0.850	1.195	0.978	1.0644	1.104

Densidad saturada

En este caso, por mucho que se trató de ajustar un modelo, no se pudo aplicar una prueba paramétrica. Por lo tanto, se aplicó la prueba de kruskal-wallis. la falta de ajuste se puede deber a muchas causas. El árbol 4, por ejemplo, tuvo una gran variabilidad en el contenido de humedad (de 39% a 100.26%). Desde un punto de vista forestal, por tanto, no es recomendable hacer una comparación pues se conoce de antemano que las condiciones de las probetas no son las mismas.

```

$statistics
  Chisq Df      p.chisq
  27.5654  2 1.033353e-06
$parameters
      test p.adjusted  name.t ntr alpha
Kruskal-Wallis      none datos$pos  3  0.05

$means
  datos.dsat  rank      std  r  Min  Max  Q25  Q50  Q75
B  1.108631 135.84286 0.04769925 70 0.957 1.1867 1.08225 1.1090 1.14475
M  1.049273  91.67857 0.08130410 70 0.843 1.1760 0.98000 1.0715 1.10875
T  1.043206  87.22464 0.08900163 69 0.850 1.1950 0.97800 1.0644 1.10400

$groups
  datos$dsat groups
B  135.84286      a
M   91.67857      b
T   87.22464      b

```

- NORMALIDAD Y HOMOCEDASTICIDAD DE LOS VALORES DE LA CONTRACCION LINEAL DE LA MADERA DE TECA.

Tangencial.

No se cumplen los supuestos por lo que se aplica logaritmo neperiano a la variable respuesta. De esta forma se tiene que:

Normalidad

```

Shapiro-Wilk normality test. data: ri
W = 0.9876, p-value = 0.06588

```

Homocedasticidad

```

Non-constant Variance Score Test. Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.973018, Df = 1, p = 0.32393

```


Radial

No se cumplen los supuestos por lo que se aplica logaritmo neperiano a la variable respuesta. De esta forma se tiene que:

Normalidad

```
Shapiro-Wilk normality test. data: ni
W = 0.99686, p-value = 0.9514
```

Homocedasticidad

```
Non-constant Variance Score Test. Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.555892, Df = 1, p = 0.21227
```

➤ ANOVA DE LOS PROMEDIOS DE CONTRACCION TANGENCIAL TOTAL DE TRES ALTURAS DE CINCO ARBOLES.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
ALTURA	2	0.3513	0.17566	3.4587	0.03335 (*)
ARBOL	4	2.2753	0.56883	11.2001	3.161-08 (***)
RESIDUALES	202	10.2592	0.05079		

➤ ANOVA DE LOS PROMEDIOS DE CONTRACCION RADIAL TOTAL DE TRES ALTURAS DE CINCO ARBOLES.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
ALTURA	2	0.2709	0.13547	2.3539	0.0976
ARBOL	4	6.0412	1.51031	26.2421	2e-16 (***)
RESIDUALES	202	11.6257	0.05755		

➤ TEST NO PARAMETRICO DE KRUSKAL-WALLIS PARA COMPARACION DE PROMEDIOS DE CONTRAC. VOLUMETRICA EN TRES ALTURAS DE CINCO ARBOLES.

Volumétrica

```
$statistics
      Chisq Df    p.chisq
7.934445  2 0.01892593

$parameters
      test p.adjusted name.t ntr alpha
Kruskal-Wallis      none datos$pos  3 0.05

$means
datos.cvool  rank  std  r  Min  Max  Q25  Q50  Q75
B  9.215897 118.39286 2.163326 70 5.2790 14.5768 7.487875 9.00725 10.715275
M  8.665919 106.73571 1.594780 70 5.3968 13.1376 7.624600 8.74150 9.752475
T  8.179135 89.65217 1.155229 69 5.6231 10.9445 7.360000 8.16020 8.982000
```

FUENTE: El autor (2019).

➤ DATOS Y ANALISIS ESTADISTICO DE LA CONTRACCION PARCIAL DE LA MADERA DE TECA.

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS DE BASE (B) - SECADO ARTIFICIAL PRIMERA CARGA – HUMEDAD INICIAL MADERA VERDE, VELOCIDAD DEL AIRE 2.5 M/S.

		MEDICION: inicial 26 DE ABRIL.				Final: 08 de mayo			
CODIGO ARBOL	MEDICION #	ESPESOR (mm)				ANCHO (mm)			
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
5B	1	26,23	25,60	0,63	2,40	117,66	113,30	4,36	3,71
5B	2	27,83	27,29	0,54	1,94	116,49	111,98	4,51	3,87
5B	3	27,02	26,42	0,60	2,22	160,50	154,00	6,50	4,05
5B	4	28,04	27,35	0,69	2,46	160,50	153,00	7,50	4,67
4B	5	28,59	27,99	0,60	2,10	183,00	176,00	7,00	3,83
4B	6	23,97	23,41	0,56	2,34	180,00	171,50	8,50	4,72
4B	7	27,71	26,98	0,73	2,63	180,00	173,00	7,00	3,89
4B	8	24,86	24,28	0,58	2,33	179,00	170,50	8,50	4,75
3B	9	27,80	27,15	0,65	2,34	129,96	123,87	6,09	4,69
3B	10	27,12	26,55	0,57	2,10	185,00	176,50	8,50	4,59
3B	11	24,66	24,12	0,54	2,19	183,00	173,90	9,10	4,97
3B	12	26,62	25,92	0,70	2,63	126,25	120,77	5,48	4,34
2B	13	24,25	23,69	0,56	2,31	185,00	178,10	6,90	3,73
2B	14	26,35	25,75	0,60	2,28	106,04	101,75	4,29	4,05
2B	15	27,21	26,62	0,59	2,17	158,00	151,69	6,31	3,99
2B	16	27,60	26,92	0,68	2,46	157,00	150,97	6,03	3,84
1B	17	27,31	26,58	0,73	2,67	143,52	136,70	6,82	4,75
1B	18	26,17	25,61	0,56	2,14	173,00	166,00	7,00	4,05
1B	19	25,77	25,29	0,48	1,86	117,43	112,00	5,43	4,62
1B	20	23,99	23,39	0,60	2,50	180,00	173,02	6,98	3,88
PROMEDIO					2,30				4,25

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS DE TOPO (T) - SECADO ARTIFICIAL SEGUNDA CARGA – HUMEDAD INICIAL MADERA VERDE,
VELOCIDAD DEL AIRE DE 3.5 M/S.

		MEDICION: inicial: 07 DE MAYO.				Final: 18 DE MAYO			
CODIGO ARBOL	MEDICION #	ESPESOR (mm)				ANCHO (mm)			
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
3T	1	28,59	28,19	0,40	1,40	105,89	101,24	4,65	4,39
1T	2	28,29	27,85	0,44	1,56	105,09	100,63	4,46	4,24
2T	3	26,97	26,41	0,56	2,08	113,17	108,30	4,87	4,30
4T	4	30,48	30,04	0,44	1,44	110,30	106,06	4,24	3,84
1T	5	26,16	25,49	0,67	2,56	160,90	155,00	5,90	3,67
2T	6	27,58	26,90	0,68	2,47	112,91	109,02	3,89	3,45
5T	7	27,16	26,52	0,64	2,36	116,46	111,56	4,90	4,21
4T	8	28,43	27,69	0,74	2,60	111,16	106,76	4,40	3,96
4T	9	28,00	27,37	0,63	2,25	111,12	107,10	4,02	3,62
3T	10	27,76	27,06	0,70	2,52	122,50	118,19	4,31	3,52
2T	11	27,52	26,83	0,69	2,51	115,34	111,34	4,00	3,47
2T	12	29,23	28,43	0,80	2,74	114,29	109,59	4,70	4,11
5T	13	28,50	27,67	0,83	2,91	116,45	112,43	4,02	3,45
5T	14	28,19	27,60	0,59	2,09	115,33	111,36	3,97	3,44
3T	15	29,00	28,30	0,70	2,41	123,15	117,84	5,31	4,31
4T	16	28,05	27,31	0,74	2,64	112,59	107,50	5,09	4,52
5T	17	27,35	26,75	0,60	2,19	111,19	105,95	5,24	4,71
3T	18	27,84	27,17	0,67	2,41	124,64	119,19	5,45	4,37
1T	19	28,03	27,16	0,87	3,10	130,78	125,51	5,27	4,03
1T	20	27,45	26,92	0,53	1,93	130,30	124,72	5,58	4,28
PROMEDIO					2,31				4,00

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL, TABLAS DE TOPO (T) - SECADO ARTIFICIAL TERCERA CARGA – HUMEDAD INICIAL PSF, VELOCIDAD DE AIRE DE 2.5 M/S.

CODIGO	MEDICION	MEDICION INICIAL: 16 DE MAYO				MEDICION FINAL: 24 DE MAYO			
		#	Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída
5T	1	26,79	26,24	0,55	2,05	131,18	126,34	4,84	3,69
5T	2	24,03	23,48	0,55	2,29	113,79	108,29	5,50	4,83
5T	3	28,56	27,95	0,61	2,14	113,24	108,50	4,74	4,19
5T	4	25,24	24,93	0,31	1,23	106,66	101,68	4,98	4,67
4T	5	27,73	27,24	0,49	1,77	138,03	133,03	5,00	3,62
4T	6	27,87	26,94	0,93	3,34	146,39	141,27	5,12	3,50
4T	7	29,00	28,28	0,72	2,48	147,04	142,04	5,00	3,40
4T	8	24,89	24,34	0,55	2,21	129,47	124,69	4,78	3,69
3T	9	28,66	28,06	0,60	2,09	136,61	132,00	4,61	3,37
3T	10	25,06	24,37	0,69	2,75	154,63	147,57	7,06	4,57
3T	11	26,26	25,84	0,42	1,60	100,12	96,62	3,50	3,50
3T	12	24,11	23,23	0,88	3,65	130,33	125,33	5,00	3,84
2T	13	24,32	23,62	0,70	2,88	133,59	127,52	6,07	4,54
2T	14	25,14	24,88	0,26	1,03	130,58	125,89	4,69	3,59
2T	15	27,59	26,95	0,64	2,32	108,69	103,19	5,50	5,06
2T	16	24,45	23,74	0,71	2,90	181,00	175,00	6,00	3,31
1T	17	26,55	26,18	0,37	1,39	129,75	125,09	4,66	3,59
1T	18	25,43	25,15	0,28	1,10	156,00	150,64	5,36	3,44
1T	19	26,21	25,26	0,95	3,62	139,65	134,30	5,35	3,83
1T	20	26,91	26,36	0,55	2,04	158,00	151,41	6,59	4,17
PROMEDIO					2,24				3,92

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS DE BASE (B) - SECADO ARTIFICIAL CUARTA CARGA – HUMEDAD INICIAL MADERA VERDE, VELOCIDAD DEL AIRE DE 3.5 M/S.

CODIGO ARBOL	MEDICION #	MEDICION: inicial 26 DE MAYO,				Final: 03 DE JUNIO			
		ESPESOR (mm)				ANCHO (mm)			
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
4B	1	27,31	26,64	0,67	2,45	158,00	151,00	7,00	4,43
3B	2	26,35	25,72	0,63	2,39	148,00	142,00	6,00	4,05
2B	3	25,48	24,90	0,58	2,28	162,00	155,00	7,00	4,32
1B	4	26,22	25,53	0,69	2,63	167,50	161,00	6,50	3,88
5B	5	27,08	26,35	0,73	2,70	161,00	154,00	7,00	4,35
2B	6	25,55	25,03	0,52	2,04	111,00	107,00	4,00	3,60
1B	7	24,71	24,26	0,45	1,82	127,00	122,00	5,00	3,94
3B	8	25,88	25,23	0,65	2,51	149,50	143,00	6,50	4,35
4B	9	26,59	26,04	0,55	2,07	157,00	151,00	6,00	3,82
1B	10	25,41	24,90	0,51	2,01	129,00	124,00	5,00	3,88
3B	11	29,00	28,37	0,63	2,17	147,50	142,00	5,50	3,73
4B	12	29,36	28,75	0,61	2,08	155,00	149,00	6,00	3,87
2B	13	24,27	23,58	0,69	2,84	162,50	154,00	8,50	5,23
1B	14	26,16	25,54	0,62	2,37	154,00	144,00	10,00	6,49
2B	15	25,86	25,21	0,65	2,51	163,00	155,00	8,00	4,91
1B	16	26,89	26,17	0,72	2,68	105,00	100,00	5,00	4,76
2B	17	26,70	26,00	0,70	2,62	153,50	144,00	9,50	6,19
1B	18	26,65	26,10	0,55	2,06	166,00	157,00	9,00	5,42
5B	19	28,14	27,42	0,72	2,56	104,00	100,00	4,00	3,85
2B	20	26,72	26,00	0,72	2,69	104,50	100,00	4,50	4,31
PROMEDIO					2,37				4,47

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS DE BASE (B) - SECADO ARTIFICIAL QUINTA CARGA – HUMEDAD INICIAL PSF, VELOCIDAD DEL AIRE 3.5.

CODIGO	MEDICION	MEDICION INICIAL: 4 DE JUNIO				MEDICION FINAL: 12 DE JUNIO			
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
		ESPESOR (mm)				ANCHO (mm)			
ARBOL	#	Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
3B	1	28,28	27,52	0,76	2,69	115,50	110,00	5,50	4,76
5B	2	28,71	27,84	0,87	3,03	140,47	135,00	5,47	3,89
4B	3	29,44	28,79	0,65	2,21	150,23	144,00	6,23	4,15
5B	4	26,39	25,77	0,62	2,35	131,00	125,50	5,50	4,20
3B	5	27,21	26,88	0,33	1,21	112,00	106,00	6,00	5,36
1B	6	28,96	28,16	0,80	2,76	172,90	166,00	6,90	3,99
2B	7	28,05	27,34	0,71	2,53	158,70	151,00	7,70	4,85
4B	8	30,12	29,33	0,79	2,62	146,99	142,00	4,99	3,39
1B	9	29,60	29,07	0,53	1,79	170,00	164,50	5,50	3,24
3B	10	29,61	28,63	0,98	3,31	100,05	94,50	5,55	5,55
2B	11	28,00	27,54	0,46	1,64	124,00	119,00	5,00	4,03
3B	12	28,80	27,95	0,85	2,95	103,00	99,00	4,00	3,88
5B	13	27,99	27,49	0,50	1,79	139,50	135,00	4,50	3,23
4B	14	27,86	27,14	0,72	2,58	148,70	143,00	5,70	3,83
2B	15	26,84	26,46	0,38	1,42	154,50	149,00	5,50	3,56
5B	16	27,54	26,67	0,87	3,16	142,40	136,00	6,40	4,49
2B	17	30,19	29,48	0,71	2,35	184,22	178,00	6,22	3,38
1B	18	29,27	28,46	0,81	2,77	172,00	166,00	6,00	3,49
4B	19	26,52	25,92	0,60	2,26	147,00	142,50	4,50	3,06
1B	20	26,94	26,49	0,45	1,67	170,00	163,00	7,00	4,12
TOTAL					2,35				4,02

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS DE TOPO (T) - SECADO ARTIFICIAL SEXTA CARGA – HUMEDAD INICIAL MADERA VERDE, VELOCIDAD DEL AIRE DE 2.5 M/S.

CODIGO ARBOL	MEDICION #	MEDICION: inicial 12 DE JUNIO				Final: 23 DE JUNIO			
		ESPESOR (mm)				ANCHO (mm)			
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
4T	1	31,17	30,41	0,76	2,44	105,30	101,00	4,30	4,08
2T	2	25,47	24,95	0,52	2,04	112,00	106,00	6,00	5,36
3T	3	28,80	28,31	0,49	1,70	105,60	102,00	3,60	3,41
4T	4	28,08	27,39	0,69	2,46	110,00	105,50	4,50	4,09
5T	5	27,79	27,18	0,61	2,20	106,50	103,00	3,50	3,29
5T	6	27,76	26,99	0,77	2,77	105,40	102,00	3,40	3,23
4T	7	26,66	26,23	0,43	1,61	106,00	102,00	4,00	3,77
4T	8	27,78	26,96	0,82	2,95	107,00	103,00	4,00	3,74
2T	9	32,05	31,07	0,98	3,06	106,23	101,00	5,23	4,92
4T	10	29,50	28,96	0,54	1,83	112,30	107,00	5,30	4,72
3T	11	30,89	30,03	0,86	2,78	107,00	103,00	4,00	3,74
3T	12	27,85	27,06	0,79	2,84	109,00	105,00	4,00	3,67
4T	13	25,81	25,46	0,35	1,36	112,00	107,00	5,00	4,46
4T	14	25,37	24,71	0,66	2,60	111,50	106,50	5,00	4,48
3T	15	27,15	26,46	0,69	2,54	106,00	102,00	4,00	3,77
3T	16	26,56	25,92	0,64	2,41	100,09	96,00	4,09	4,09
1T	17	25,92	25,36	0,56	2,16	100,00	96,00	4,00	4,00
1T	18	26,42	25,96	0,46	1,74	110,00	104,50	5,50	5,00
3T	19	27,52	27,02	0,50	1,82	108,96	104,00	4,96	4,55
5T	20	28,87	27,80	1,07	3,71	107,00	102,50	4,50	4,21
PROMEDIO					2,35				4,13

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS TOPO (T), SECADO ARTIFICIAL, SETIMA CARGA – HUMEDAD INICIAL PSF, VELOCIDAD DEL AIRE DE 3.5.

CODIGO ARBOL	MEDICION #	MEDICION INICIAL: 18 de Julio				MEDICION FINAL: 25 DE JULIO			
		ESPESOR (mm)		ANCHO (mm)		ESPESOR (mm)		ANCHO (mm)	
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
3T	1	26,36	25,77	0,59	2,24	106,50	102,00	4,50	4,23
5T	2	27,10	26,48	0,62	2,29	104,61	101,00	3,61	3,45
1T	3	26,71	26,01	0,70	2,62	138,50	134,00	4,50	3,25
2T	4	29,00	28,10	0,90	3,10	105,00	100,00	5,00	4,76
1T	5	26,25	25,50	0,75	2,86	139,50	134,50	5,00	3,58
2T	6	28,72	28,10	0,62	2,16	159,00	151,50	7,50	4,72
5T	7	28,91	28,33	0,58	2,01	137,00	130,00	7,00	5,11
3T	8	26,06	25,48	0,58	2,23	123,00	118,00	5,00	4,07
4T	9	26,45	25,91	0,54	2,04	136,84	131,50	5,34	3,90
5T	10	25,21	24,49	0,72	2,86	139,17	134,00	5,17	3,71
5T	11	25,28	24,63	0,65	2,57	140,80	136,00	4,80	3,41
2T	12	29,50	28,82	0,68	2,31	158,50	153,00	5,50	3,47
3T	13	27,03	26,48	0,55	2,03	121,00	116,00	5,00	4,13
4T	14	25,24	24,66	0,58	2,30	138,90	133,61	5,29	3,81
2T	15	27,28	26,59	0,69	2,53	162,33	156,87	5,46	3,36
4T	16	26,39	25,93	0,46	1,74	136,50	130,00	6,50	4,76
2T	17	27,30	26,40	0,90	3,30	162,60	156,00	6,60	4,06
5T	18	26,71	25,80	0,91	3,41	141,00	135,00	6,00	4,26
4T	19	26,81	26,28	0,53	1,98	127,50	121,00	6,50	5,10
1T	20	28,10	27,64	0,46	1,64	141,53	136,00	5,53	3,91
TOTAL					2,41				4,05

FUENTE: El autor (2019).

CONTRACCION PARCIAL DE TABLAS DE BASE (B), SECADO ARTIFICIAL, OCTAVA CARGA – HUMEDAD INICIAL PSF, VELOCIDAD DEL AIRE DE 2.5.

CODIGO ARBOL	MEDICION #	MEDICION INICIAL: 01 DE AGOSTO				MEDICION FINAL: 09 de agosto			
		ESPESOR (mm)		ANCHO (mm)		ESPESOR (mm)		ANCHO (mm)	
		Inicial	Final	Dimensión contraída	%	Inicial	Final	Dimensión contraída	%
3B	1	28,33	27,59	0,74	2,61	105,90	101,50	4,40	4,15
3B	2	26,98	26,56	0,42	1,56	104,00	100,50	3,50	3,37
5B	3	28,17	27,38	0,79	2,80	107,00	101,00	6,00	5,61
1B	4	28,27	27,50	0,77	2,72	106,00	101,00	5,00	4,72
4B	5	28,02	27,35	0,67	2,39	107,50	101,53	5,97	5,55
5B	6	27,44	26,90	0,54	1,97	109,00	104,00	5,00	4,59
3B	7	24,89	24,30	0,59	2,37	134,50	128,50	6,00	4,46
3B	8	26,75	26,32	0,43	1,61	104,00	100,00	4,00	3,85
5B	9	29,29	28,62	0,67	2,29	148,00	142,00	6,00	4,05
2B	10	25,32	24,76	0,56	2,21	135,00	130,50	4,50	3,33
2B	11	29,70	28,93	0,77	2,59	107,00	103,50	3,50	3,27
4B	12	28,19	27,42	0,77	2,73	109,00	103,50	5,50	5,05
4B	13	25,28	24,76	0,52	2,06	133,00	128,00	5,00	3,76
3B	14	25,65	25,25	0,40	1,56	132,00	127,50	4,50	3,41
3B	15	27,58	26,83	0,75	2,72	103,00	99,00	4,00	3,88
1B	16	29,98	29,30	0,68	2,27	100,00	95,00	5,00	5,00
5B	17	29,14	28,47	0,67	2,30	101,00	97,00	4,00	3,96
3B	18	30,55	29,99	0,56	1,83	134,53	130,00	4,53	3,37
3B	19	26,37	25,56	0,81	3,07	135,50	130,50	5,00	3,69
5B	20	26,53	26,03	0,50	1,88	148,65	142,00	6,65	4,47
TOTAL					2,28				4,18

FUENTE: El autor (2019).

ANOVA Y PRUEBA DE T DE LAS CONTRACCIONES PARCIALES TANGENCIAL Y RADIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA EN SECADO ARTIFICIAL.

1. Shapiro-Wilk normality test.

data: ri
W = 0.99596, p-value = 0.5854

> ncvTest(mod)

2. Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 3.902393, Df = 1, p = 0.051

3. Analysis of Variance Table

Response: valor^0.5

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
contraccion	1	20.7654	20.7654	817.8610	<2e-16	***
velocidad	1	0.0157	0.0157	0.6181	0.4324	
pos	1	0.0587	0.0587	2.3119	0.1294	
condicion	1	0.0566	0.0566	2.2291	0.1365	
contraccion:velocidad	1	0.0101	0.0101	0.3965	0.5294	
contraccion:pos	1	0.0363	0.0363	1.4315	0.2324	
velocidad:pos	1	0.0001	0.0001	0.0046	0.9457	
contraccion:condicion	1	0.0200	0.0200	0.7871	0.3757	
velocidad:condicion	1	0.0040	0.0040	0.1564	0.6928	
pos:condicion	1	0.0147	0.0147	0.5773	0.4480	
contraccion:velocidad:pos	1	0.0008	0.0008	0.0324	0.8572	
contraccion:velocidad:condicion	1	0.0123	0.0123	0.4841	0.4871	
contraccion:pos:condicion	1	0.0066	0.0066	0.2615	0.6095	
velocidad:pos:condicion	1	0.0668	0.0668	2.6317	0.1058	
contraccion:velocidad:pos:condicion	1	0.0056	0.0056	0.2188	0.6403	
Residuals	304	7.7185	0.0254			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> ri<-rstandard(mod)

> shapiro.test(ri)

4. Two Sample t-test

data: df\$valor by df\$contraccion

t = -28.543, df = 318, p-value < 2.2e-16

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-1.922803 -1.674822

sample estimates:

mean in group radial	mean in group tangencial
2.327937	4.126750

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 7: EXTRACTIVOS DE LA MADERA DE TECA

➤ PORCENTAJE PARCIAL Y PROMEDIO DE EXTRACTIVOS TOTALES EN TRES POSICIONES RADIALES Y TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL DE TECA.

Altura (m)	Ubicación Radial	Muestra (#)	Extractivos (A-T) (%)		Extractivos (Agua) (%)		Extractivos (Totales) (%)	Promedio Extractivos (Totales) (%)	
			Parcial	Promedio	Parcial	Promedio			
0.25	Albura	3	7.72		2.67		10.39		
			6.08	7.71	3.09	3.16	9.17	10.88	
			9.34		3.73		13.06		
	Duramen Externo	3	16.96		2.58		19.55		
			7.94	12.24	2.80	2.41	10.73	14.65	
			11.82		1.86		13.68		
	Duramen Interno	3	5.75		2.58		8.33		
			5.46	5.55	2.63	2.51	8.09	8.06	
			5.43		2.32		7.75		
	Promedio	9		8.50		2.70		11.20	
	3.75	Albura	3	5.94		3.09		9.03	
				7.14	6.32	2.96	3.10	10.10	9.43
5.89					3.26		9.15		
Duramen Externo		3	7.16		1.88		9.04		
			7.17	9.58	2.03	1.86	9.20	11.43	
			14.39		1.66		16.05		
Duramen Interno		3	5.14		2.30		7.45		
			5.25	5.37	1.96	2.13	7.21	7.50	
			5.70		2.13		7.83		
Promedio		9		7.09		2.36		9.45	
7.25		Albura	3	3.50		2.81		6.32	
				4.65	4.27	3.50	3.06	8.15	7.33
	4.66				2.86		7.51		
	Duramen Externo	3	7.88		1.94		9.82		
			6.29	6.87	2.81	2.42	9.09	9.29	
			6.44		2.52		8.96		
	Duramen Interno	3	7.13		1.69		8.82		
			6.80	6.92	1.95	1.94	8.75	8.86	
			6.84		2.17		9.02		
	Promedio	9		6.02		2.47		8.49	

FUENTE: El autor (2019).

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Altura de fuste	2	11.27	5.634	1.07	0.402
Error	6	31.71	5.285		
Total	8	42.98			

Prueba de Tukey y una confianza de 95%

Altura de fuste	N	Media	Agrupación
B	3	11.20	A
M	3	9.45	A
T	3	8.493	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS EN TRES POSICIONES RADIALES Y TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Altura de fuste	8	129.10	16.138	3.48	0.013
Error	18	83.51	4.639		
Total	26	212.61			

➤ PRUEBA DE TUCKEY DEL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS EN TRES POSICIONES RADIALES Y TRES NIVELES DE ALTURA DEL ARBOL.

POS_LONG	POS_RAD		LSMEAN	SE	DF	LOWER.CL	UPPER.CL	.GROUP
0.25	DURAMEN EXTERNO		0.00555	0.00165	18	0.000358	0.0107	a
0.25	ALBURA		0.00901	0.00165	18	0.003816	0.0142	ab
3.75	DURAMEN EXTERNO		0.00931	0.00165	18	0.004121	0.0145	ab
3.75	ALBURA		0.01134	0.00165	18	0.006147	0.0165	abc
7.25	DURAMEN EXTERNO		0.01164	0.00165	18	0.006453	0.0168	abc
7.25	DURAMEN INTERNO		0.01274	0.00165	18	0.007546	0.0179	abc
0.25	DURAMEN INTERNO		0.01545	0.00165	18	0.010257	0.0206	bc
3.75	DURAMEN INTERNO		0.01785	0.00165	18	0.012665	0.0230	c
7.25	ALBURA		0.01927	0.00165	18	0.014084	0.0245	c

Confidence level used: 0.95
 Conf-level adjustment: sidak method for 9 estimates
 P value adjustment: tukey method for comparing a family of 9 estimates
 significance level used: alpha = 0.05

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 8: SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE TECA.

➤ SECADO ARTIFICIAL - PRIMERA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 m/s.

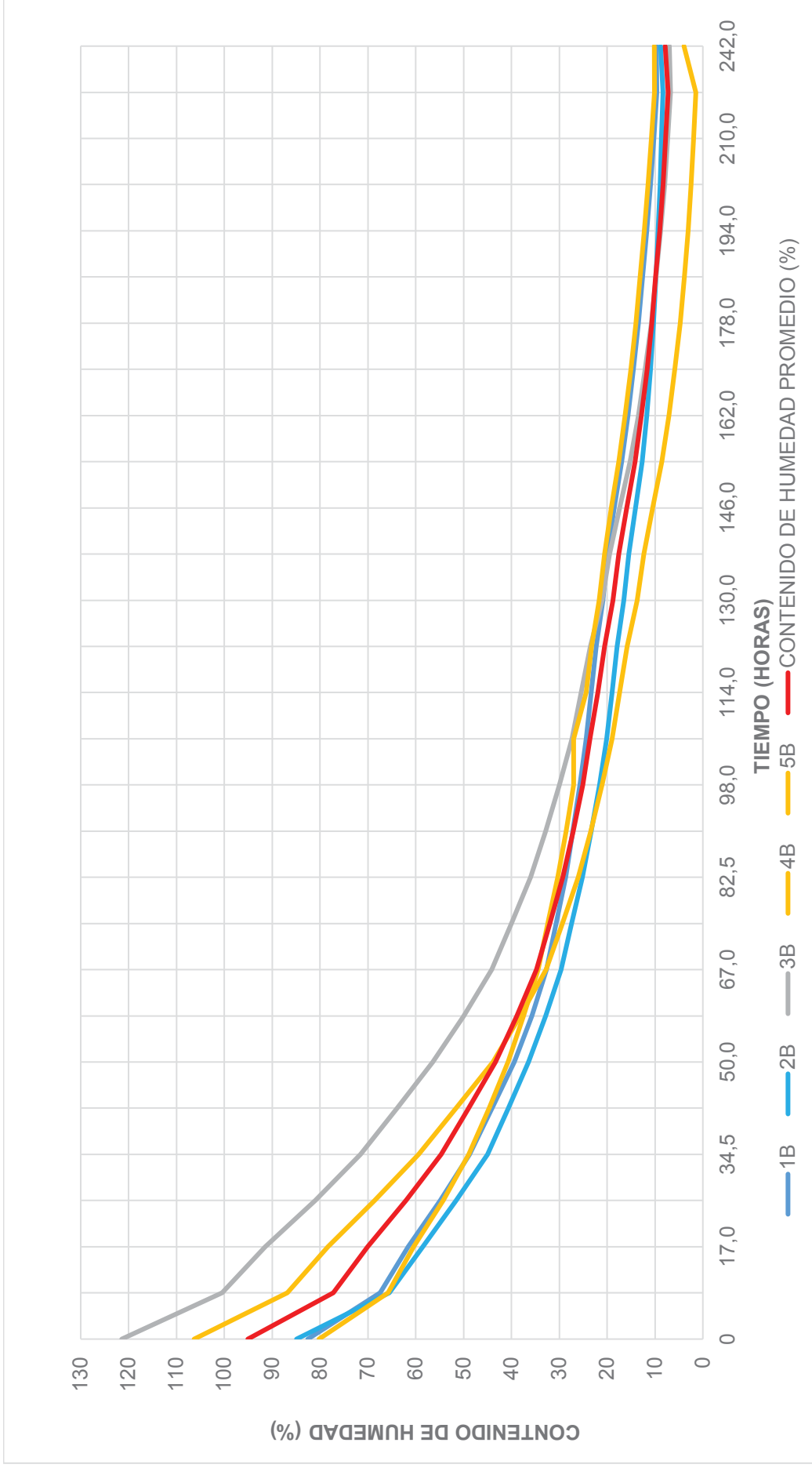
C	5 arboles	SECADO ARTIFICIAL - PRIMERA CARGA - MADERA CERCAÑA A LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 m/s															
		CODIGO DE TABLAS			1B			2B			3B			4B			5B
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
		114.8	110.9	95.4	104.7	136.9	143	146.5	144.3	146.5	144.3	146.5	144.3	146.5	144.3	146.5	144.3
	PESO HUMEDO (g)	114.8	110.9	95.4	104.7	136.9	143	146.5	144.3	146.5	144.3	146.5	144.3	146.5	144.3	146.5	144.3
	PESO SECO CONSTANTE (g)	64.2	58.6	50.7	56.3	59.4	65.6	60.5	77.7	66.2	77.7	66.2	77.7	66.2	77.7	66.2	77.7
	CONTENIDO DE HUMEDAD % CH	78.8	89.2	88.2	86.0	130.5	118.0	82.0	85.7	104.1	85.7	104.1	85.7	104.1	85.7	104.1	85.7
	PROMEDIO	84.0	87.1	87.1	85.9	124.2	111.3	83.9	85.9	111.3	83.9	111.3	83.9	111.3	83.9	111.3	83.9
	PESO HUMEDO (g)	1451	1296.5	1694	1797.3	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4	1465.4
	PESO SECO ESTIMADO (g)	788.4	693.1	755.5	977.6	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7	693.7

PROCESO DE SECADO ARTIFICIAL													
FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
26 DE ABRIL, 2018	22:00	0.0	0	1439.3	82.5	1281.5	84.9	1672.8	121.4	1761.7	80.2	1431.0	106.3
	09:30	11.5	11.5	1320.0	67.4	1147.2	65.5	1514.0	100.4	1620.9	65.8	1296.1	86.8
27 DE ABRIL	15:00	5.5	17.0	1274.1	61.6	1098.9	58.6	1446.5	91.5	1568.5	60.4	1237.4	78.4
	24:00	9.0	26.0	1220.7	54.8	1050.0	51.5	1367.0	80.9	1508.1	54.3	1169.5	68.6
	08:30	8.5	34.5	1172.6	48.7	1005.0	45.0	1296.2	71.6	1455.4	48.9	1105.5	59.4
	16:00	7.5	42.0	1135.4	44.0	974.5	40.6	1237.9	63.9	1414.2	44.7	1051.4	51.6
28 DE ABRIL	24:00	8.0	50.0	1099.0	39.4	945.6	36.4	1182.1	56.5	1375.2	40.7	998.1	43.9
	08:30	8.5	58.5	1070.2	35.7	920.7	32.8	1132.8	49.9	1343.8	37.5	968.5	38.2
	17:00	8.5	67.0	1046.1	32.7	898.4	29.6	1088.7	44.1	1314.5	34.5	921.1	32.8
	24:00	7.0	74.0	1030.0	30.6	883.0	27.4	1057.9	40.0	1294.3	32.4	897.1	32.0
30 DE ABRIL	08:30	8.5	82.5	1014.7	28.7	867.3	25.1	1027.4	36.0	1273.8	30.3	874.2	29.2
	16:00	7.5	90.0	1002.4	27.1	854.5	23.3	1003.4	32.8	1257.1	28.6	856.2	23.4
	24:00	8.0	98.0	991.3	25.7	842.9	21.6	981.8	30.0	1241.4	27.0	839.7	21.1
	08:30	8.5	106.5	980.6	24.4	832.4	20.1	962.3	27.4	1241.4	27.0	825.4	19.0
01 DE MAYO	16:00	7.5	114.0	972.4	23.3	824.8	19.0	947.6	25.4	1216.2	24.4	814.5	17.4
	24:00	8.0	122.0	964.2	22.3	817.5	18.0	933.2	23.5	1204.6	23.2	803.5	15.8
	08:00	8.0	130.0	953.1	20.9	807.6	16.5	914.8	21.1	1189.3	21.7	788.9	13.7
02 DE MAYO	16:00	8.0	138.0	945.2	19.9	800.4	15.5	902.7	19.5	1178.6	20.6	779.1	12.3
	24:00	8.0	146.0	934.4	18.5	790.7	14.1	886.7	17.4	1164.6	19.1	766.5	10.5
	08:00	8.0	154.0	922.1	17.0	780.8	12.7	870.2	15.2	1148.9	17.5	753.3	8.6
03 DE MAYO	16:00	8.0	162.0	911.9	15.7	774.2	11.7	857.5	13.5	1136.3	16.2	743.0	7.1
	24:00	8.0	170.0	902.7	14.5	768.7	10.9	846.3	12.0	1124.7	15.0	734.1	5.8
	08:00	8.0	178.0	894.7	13.5	764.3	10.3	837.0	10.8	1114.7	14.0	726.6	4.7
04 DE MAYO	16:00	8.0	186.0	887.8	12.6	761.0	9.8	829.3	9.8	1106.1	13.1	720.7	3.9
	24:00	8.0	194.0	880.8	11.7	757.7	9.3	821.9	8.8	1097.1	12.2	714.9	3.1
05 DE MAYO	08:00	8.0	202.0	874.7	10.9	754.9	8.9	815.9	8.0	1089.4	11.4	710.5	2.4
	16:00	8.0	210.0	869.4	10.3	752.8	8.6	811.0	7.3	1082.7	10.8	707.0	1.9
24:00	8.0	218.0	864.3	9.6	750.8	8.3	806.5	6.8	1076.4	10.1	703.8	1.5	
06 DE MAYO	24:00	24.0	242.0	865.0	9.7	754.0	8.8	808.3	7.0	1076.5	10.1	720.8	3.9

DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO INICIAL, SECADO PROPIAMENTE DICHO, IGUALACION Y ACONDICIONAMIENTO FINAL

FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - PRIMERA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 m/s.



FUENTE: El autor (2019).

➤ SECADO ARTIFICIAL - SEGUNDA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.

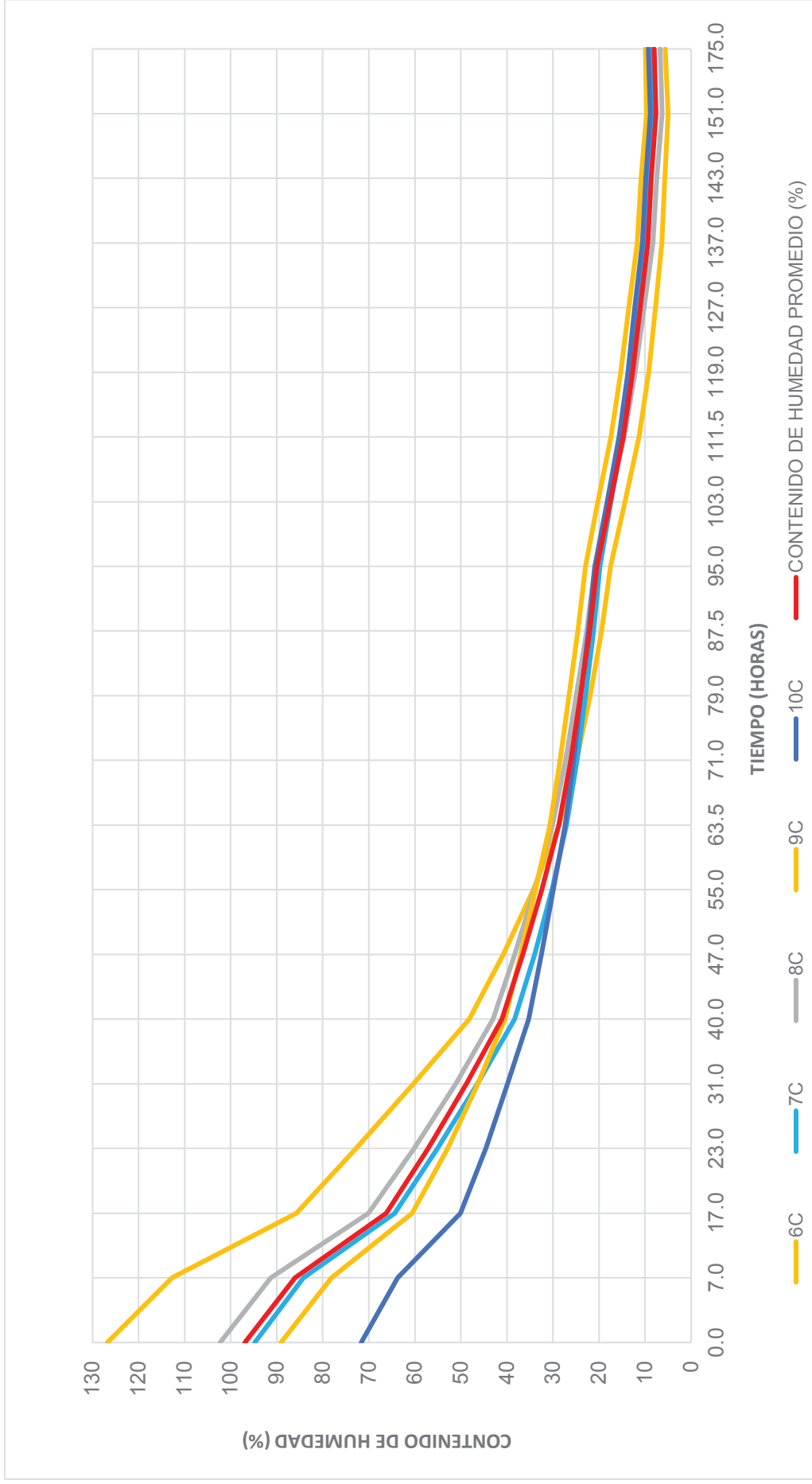
SECADO ARTIFICIAL - SEGUNDA CARGA - MADERA CERCANA A LA COPA DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S																
C	CODIGO DE TABLAS	6C			7C			8C			9C			10C		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
5 arboles																
PESO HUMEDO (g)		87.5	98.2	85.5	93.8	95.2	83.6	85	68.4	72.8	79					
PESO SECO CONSTANTE (g)		38.4	43.5	43.5	48.6	48.8	39.9	44.2	36.8	43.2	45.2					
%CH		127.9	125.7	96.6	93.0	95.1	109.5	92.3	85.9	68.5	74.8					
PROMEDIO		126.8	94.8	100.9	102.3	89.1	71.6									
PESO HUMEDO (g)		1108.2	1000.9	1061.6	961.4	1011.2										
PESO SECO ESTIMADO (g)		488.6	513.9	524.8	508.4	589.1										
B																

SECADO ARTIFICIAL

FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)
09 DE MAYO 2018	17:00	0.0	0.0	1108.2	126.8	1000.9	94.8	1061.6	102.3	961.4	89.1	1011.2	71.6	96.9						
	24:00	7.0	7.0	1039.7	112.8	946.5	84.2	1003.9	91.3	905.7	78.1	964.7	63.8	86.0						
	10:00	10.0	17.0	907.6	85.8	844.9	64.4	892.7	70.1	816.5	60.6	884.1	50.1	66.2						
10 DE MAYO	16:00	6.0	23.0	844.2	72.8	797.1	55.1	840.4	60.2	777.3	52.9	851.8	44.6	57.1						
	24:00	8.0	31.0	783.4	60.3	752.3	46.4	792.9	51.1	744.0	46.3	823.8	39.8	48.8						
	09:00	9.0	40.0	724.1	48.2	710.7	38.3	750.3	43.0	714.1	40.4	796.9	35.3	41.0						
11 DE MAYO	16:00	7.0	47.0	688.1	40.8	688.3	33.9	725.7	38.3	696.7	37.0	780.7	32.5	36.5						
	24:00	8.0	55.0	655.9	34.2	669.2	30.2	703.0	34.0	680.2	33.8	765.2	29.9	32.4						
	08:30	8.5	63.5	628.6	28.7	652.9	27.1	682.7	30.1	664.5	30.7	750.4	27.4	28.8						
12 DE MAYO	16:00	7.5	71.0	610.1	24.9	641.2	24.8	667.7	27.2	653.0	28.4	739.4	25.5	26.2						
	24:00	8.0	79.0	595.9	22.0	631.8	23.0	655.6	24.9	643.1	26.5	729.9	23.9	24.0						
	08:30	8.5	87.5	583.5	19.4	622.8	21.2	643.7	22.7	633.4	24.6	720.2	22.3	22.0						
13 DE MAYO	16:00	7.5	95.0	574.3	17.5	615.5	19.8	634.3	20.9	625.1	22.9	712.3	20.9	20.4						
	24:00	8.0	103.0	558.9	14.4	603.2	17.4	618.2	17.8	611.3	20.2	696.6	18.2	17.6						
	08:30	8.5	111.5	543.9	11.3	590.2	14.9	601.0	14.5	596.7	17.4	681.2	15.6	14.7						
14 DE MAYO	16:00	7.5	119.0	533.8	9.2	580.9	13.0	588.5	12.1	586.1	15.3	670.2	13.8	12.7						
	24:00	8.0	127.0	526.5	7.8	573.3	11.6	578.6	10.3	577.4	13.6	661.0	12.2	11.1						
	10:00	10.0	137.0	519.5	6.3	565.2	10.0	568.3	8.3	567.9	11.7	651.3	10.6	9.4						
15 DE MAYO	16:00	6.0	143.0	516.7	5.7	561.4	9.2	563.8	7.4	563.5	10.8	647.0	9.8	8.6						
	24:00	8.0	151.0	513.0	5.0	556.5	8.3	557.8	6.3	557.6	9.7	641.2	8.8	7.6						
	24:00	24.0	175.0	516.1	5.6	557.9	8.6	559.9	6.7	558.8	9.9	643.8	9.3	8.0						
DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL																				

FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - SEGUNDA CARGA-MADERA DE TOPO DEL ARBOL-VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.



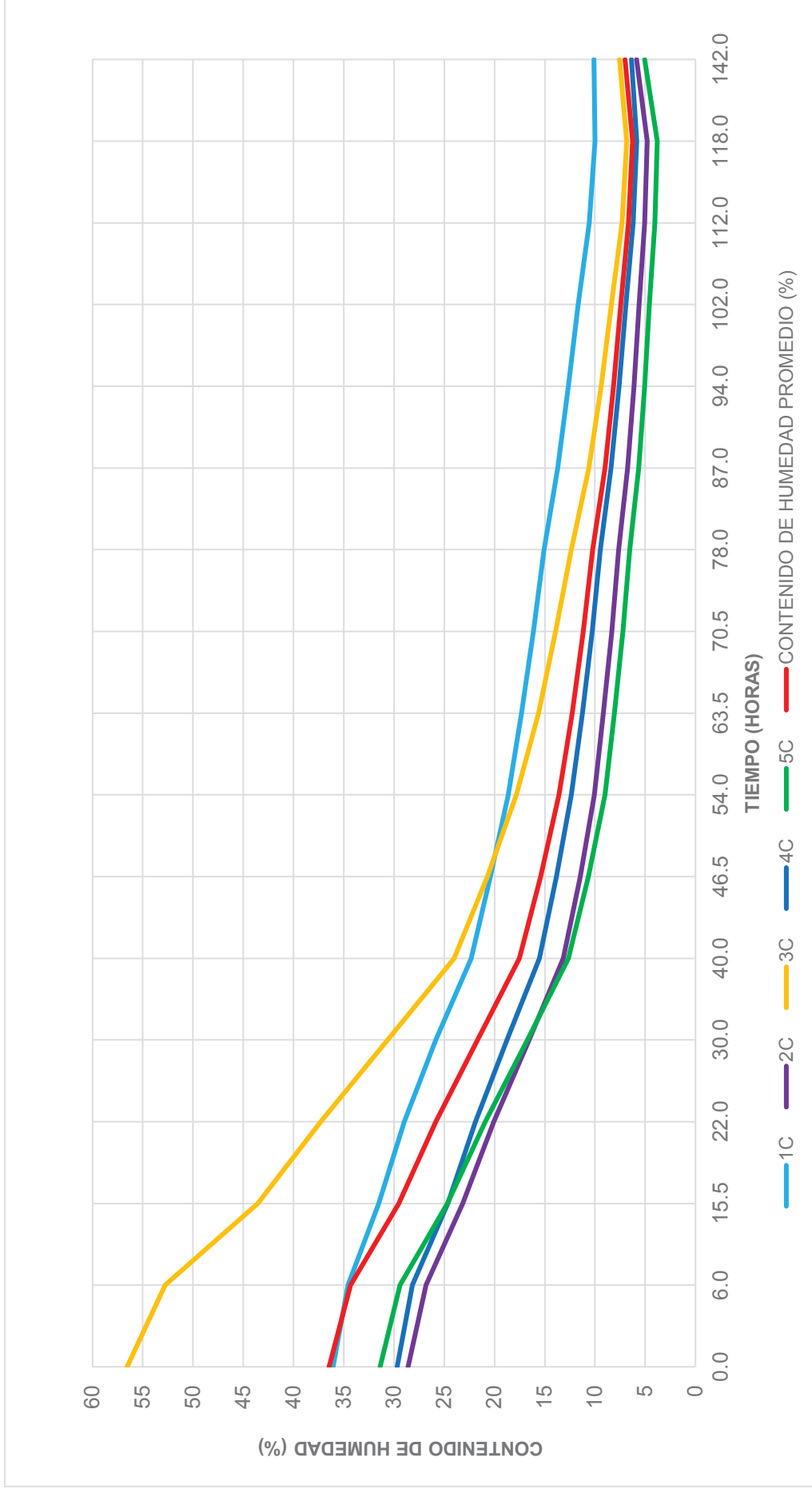
FUENTE: El autor (2019).

➤ SECADO NATURAL Y ARTIFICIAL - TERCERA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.

		SECADO NATURAL - SECADO ARTIFICIAL - TERCERA CARGA - MADERA CERCANA A LA COPA DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S															
C	CODIGO DE TABLAS	1C			2C			3C			4C			5C			
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	
		5 arboles															
	MUESTRA DE CONTENIDO DE HUMEDAD	114	118.1	75.5	132.4	86.6	125.9	84.2	87.2	69.1	69.1	84.2	87.2	69.1	69.1	69.1	
	PESO SECO CONSTANTE (g)	64	64.9	45.5	56.8	50.7	53.8	46.1	48.4	33.7	34.2	46.1	48.4	33.7	34.2	34.2	
	% CH	78.1	82.0	65.9	133.1	70.8	134.0	82.6	80.2	105.0	102.0	82.6	80.2	105.0	102.0	102.0	
	PROMEDIO	80.0			68.4			133.6			81.4			103.5			
	PESO HUMEDO (g)	1455	982.6	583.6	1653.9	982.6	1653.9	1105.3	1105.3	918.7	918.7	1105.3	1105.3	918.7	918.7	918.7	
	PESO SECO ESTIMADO (g)	808.1	583.6	708.1	609.3	583.6	708.1	609.3	609.3	451.3	451.3	609.3	609.3	451.3	451.3	451.3	
B		SECADO NATURAL															
FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
27 DE ABRIL 2018	16:30	0	0	1455.0	80.0	982.6	68.4	1653.9	133.6	1105.3	81.4	1105.3	81.4	918.7	103.5	93.4	93.4
29 DE ABRIL	16:30	24.0	24.0	1342.7	66.2	902.4	54.6	1533.5	116.6	1013.3	66.3	1013.3	66.3	853.3	89.1	78.5	78.5
30 DE ABRIL	14:00	21.5	45.5	1314.2	62.6	883.6	51.4	1503.4	112.3	990.8	62.6	990.8	62.6	814.0	80.3	73.9	73.9
02 DE MAYO	13:30	23.5	69.0	1252.6	55.0	842.4	44.3	1425.8	101.3	939.5	54.2	939.5	54.2	761.7	68.8	64.7	64.7
04 DE MAYO	13:30	24.0	93.0	1203.1	48.9	812.0	39.1	1349.1	90.5	894.5	46.8	894.5	46.8	712.6	57.9	56.6	56.6
06 DE MAYO	18:00	28.5	121.5	1159.6	43.5	783.3	34.2	1262.4	78.3	849.9	39.5	849.9	39.5	663.3	47.0	48.5	48.5
07 DE MAYO	13:30	19.5	141.0	1150.7	42.4	778.4	33.4	1244.5	75.7	841.4	38.1	841.4	38.1	652.7	44.6	46.8	46.8
08 DE MAYO	13:30	24.0	165.0	1137.4	40.7	769.6	31.9	1214.6	71.5	827.8	35.9	827.8	35.9	636.8	41.1	44.2	44.2
09 DE MAYO	17:00	27.5	192.5	1121.3	38.8	759.6	30.2	1177.6	66.3	811.9	33.3	811.9	33.3	618.0	36.9	41.1	41.1
10 DE MAYO	13:30	20.5	213.0	1113.3	37.8	754.7	29.3	1158.4	63.6	804.9	32.1	804.9	32.1	609.6	35.1	39.6	39.6
11 DE MAYO	16:00	21.5	234.5	1105.1	36.8	749.5	28.4	1133.3	60.0	798.0	31.0	798.0	31.0	601.8	33.3	37.9	37.9
12 DE MAYO	16:30	24.5	259.0	1095.3	35.5	742.8	27.3	1115.1	57.5	790.2	29.7	790.2	29.7	593.2	31.4	36.3	36.3
13 DE MAYO	08:30	16.0	275.0	1063.6	31.6	742.7	27.3	1108.8	56.6	789.0	29.5	789.0	29.5	591.8	31.1	35.2	35.2
		SECADO ARTIFICIAL															
FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
16 DE MAYO 2018	18:00	0.0	0.0	1099.6	36.1	750.5	28.6	1108.7	56.6	790.2	29.7	790.2	29.7	593.0	31.4	36.5	36.5
	24:00	6.0	6.0	1087.5	34.6	740.1	26.8	1081.7	52.8	781.0	28.2	781.0	28.2	584.0	29.4	34.3	34.3
	09:30	9.5	15.5	1062.8	31.5	718.9	23.2	1016.8	43.6	759.5	24.7	759.5	24.7	562.8	24.7	29.5	29.5
	16:00	6.5	22.0	1042.2	29.0	700.7	20.1	972.1	37.3	742.6	21.9	742.6	21.9	545.7	20.9	25.8	25.8
	24:00	8.0	30.0	1016.9	25.8	680.1	16.5	925.0	30.6	723.6	18.8	723.6	18.8	526.8	16.7	21.7	21.7
	10:00	10.0	40.0	988.5	22.3	660.4	13.2	878.1	24.0	704.0	15.5	704.0	15.5	508.4	12.6	17.5	17.5
	16:30	6.5	46.5	973.0	20.4	650.4	11.4	854.8	20.7	693.7	13.9	693.7	13.9	495.4	10.6	15.4	15.4
	24:00	7.5	54.0	958.8	18.6	642.2	10.04	834.3	17.8	684.5	12.3	684.5	12.3	492.0	9.0	13.6	13.6
	09:30	9.5	63.5	948.1	17.3	637.0	9.2	818.8	15.6	677.8	11.2	677.8	11.2	487.8	8.1	12.3	12.3
	16:30	7.0	70.5	938.6	16.1	632.2	8.3	806.6	13.9	672.0	10.3	672.0	10.3	483.9	7.2	11.2	11.2
	24:00	7.5	78.0	929.8	15.1	628.1	7.6	795.7	12.4	666.9	9.5	666.9	9.5	480.9	6.5	10.2	10.2
	09:00	9.0	87.0	918.8	13.7	623.0	6.8	783.3	10.6	660.4	8.4	660.4	8.4	476.8	5.6	9.0	9.0
	16:00	7.0	94.0	910.3	12.6	619.4	6.1	774.5	9.4	655.6	7.6	655.6	7.6	474.2	5.1	8.2	8.2
	24:00	8.0	102.0	902.5	11.7	616.4	5.6	767.3	8.4	651.5	6.9	651.5	6.9	472.0	4.6	7.4	7.4
	10:00	10.0	112.0	893.7	10.6	613.2	5.1	760.0	7.3	647.1	6.2	647.1	6.2	469.6	4.0	6.6	6.6
	16:00	6.0	118.0	888.9	10.0	611.6	4.8	756.6	6.8	644.9	5.8	644.9	5.8	468.5	3.8	6.3	6.3
	16:00	24.0	142.0	889.6	10.1	617.9	5.9	761.7	7.6	648.1	6.4	648.1	6.4	474.2	5.1	7.0	7.0
DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL																	

FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - TERCERA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.



FUENTE: El autor (2019).

➤ SECADO ARTIFICIAL - CUARTA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.

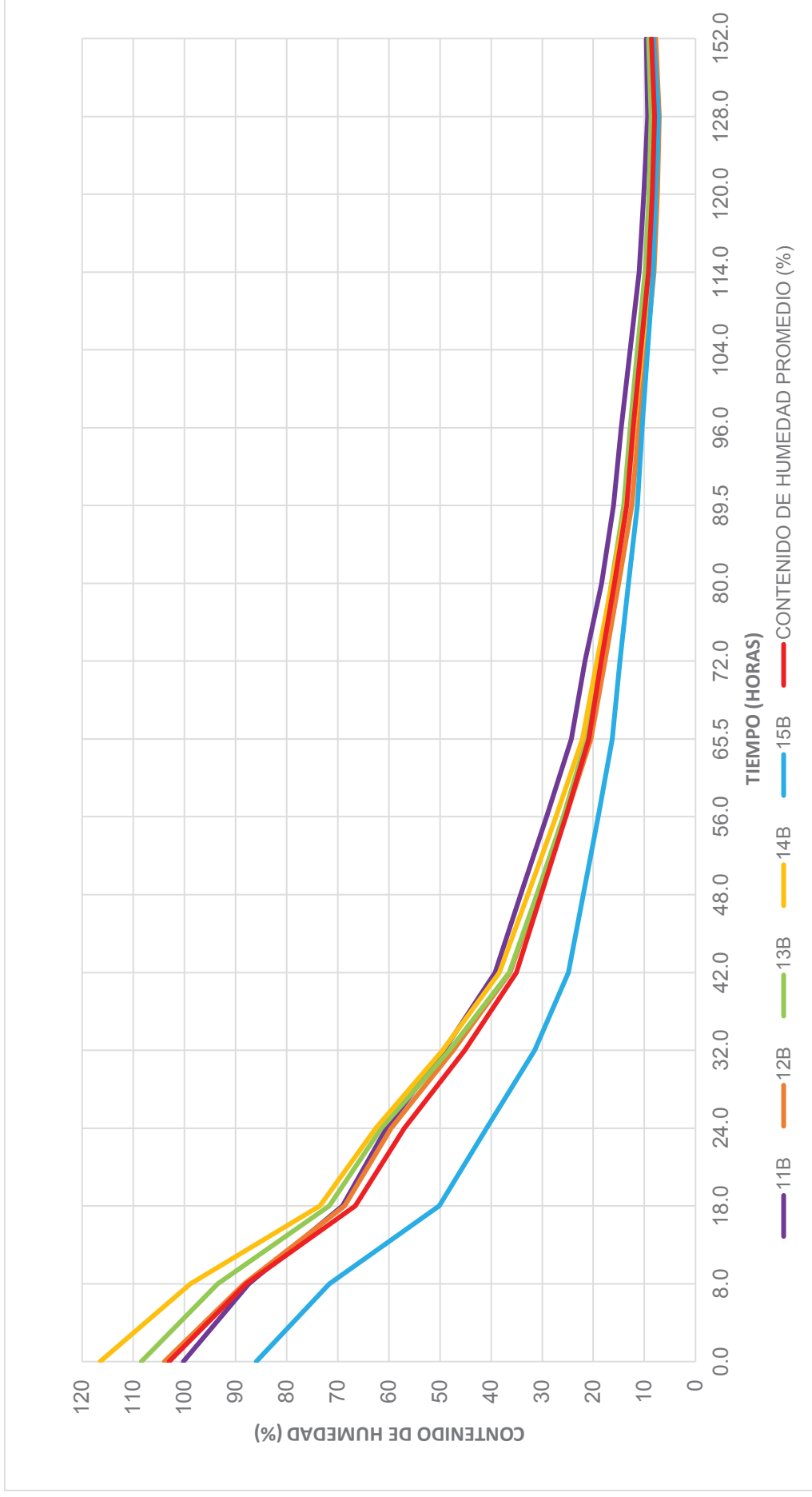
		SECADO ARTIFICIAL - CUARTA CARGA - MADERA CERCANA A LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S															
C	5 Arboles	11B			12B			13B			14B			15B			
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2		
	PESO HUMEDO (g)	114.6	108.9	95.6	98.1	105.4	102.6	109.3	112.5	109.3	112.5	74.4	70.8				
	PESO SECO CONSTANTE (g)	58	53.7	46.8	48.2	50.3	49.5	49.8	52.7	40.2	37.9						
	%CH	97.6	102.8	104.3	103.5	109.5	107.3	119.5	113.5	85.1	86.8						
	PROMEDIO	100.2	103.9	108.4	116.5	85.9											
B	MUESTRA	1358.1												1278	1308.3	864.8	
	CONTROL	678.4												601.7	613.2	604.4	465.1

FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)		PESO SECO (g)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		PESO HUMEDO (g)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		PESO HUMEDO (g)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)
				M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	
26 DE MAYO DEL 2018	16:00	0.0	0.0	1358.1	100.2	1226.8	88.7	103.9	1278.0	108.4	1308.3	116.5	864.8	85.9	103.0			
	24:00	8.0	8.0	1271.1	87.4	1133.1	88.3	93.5	1186.6	93.5	1201.5	98.8	798.3	71.6	87.9			
	10:00	10.0	18.0	1147.1	69.1	1014.8	68.7	71.7	1052.8	71.7	1048.3	73.5	698.1	50.1	66.6			
	16:00	6.0	24.0	1088.8	60.5	960.0	59.6	61.4	990.0	61.4	982.4	62.6	655.2	40.9	57.0			
27 DE MAYO	24:00	8.0	32.0	1012.4	49.2	887.0	47.4	48.1	908.3	48.1	903.4	49.5	611.6	31.5	45.2			
	10:00	10.0	42.0	944.7	39.3	820.1	36.3	36.5	836.9	36.5	836.2	38.4	580.8	24.9	35.1			
	16:00	6.0	48.0	910.6	34.2	787.3	30.9	31.0	803.4	31.0	802.7	32.8	567.1	21.9	30.2			
	24:00	8.0	56.0	876.0	29.1	754.5	25.4	25.9	771.8	25.9	769.4	27.3	553.7	19.1	25.3			
29 DE MAYO	09:30	9.5	65.5	843.4	24.3	724.5	20.4	21.3	744.0	21.3	738.3	22.2	540.9	16.3	20.9			
	16:00	6.5	72.0	825.2	21.6	708.3	17.7	18.9	729.1	18.9	721.1	19.3	533.7	14.8	18.5			
	24:00	8.0	80.0	803.3	18.4	692.1	15.0	16.5	714.1	16.5	703.5	16.4	526.0	13.1	15.9			
	09:30	9.5	89.5	787.2	16.0	676.4	12.4	14.1	699.4	14.1	686.2	13.5	517.9	11.4	13.5			
30 DE MAYO	16:00	6.5	96.0	776.9	14.5	668.3	11.1	12.8	691.7	12.8	677.2	12.1	513.6	10.4	12.2			
	24:00	8.0	104.0	765.2	12.8	659.4	9.6	11.4	683.0	11.4	667.3	10.4	508.6	9.4	10.7			
	10:00	10.0	114.0	753.1	11.0	650.6	8.1	9.9	673.9	9.9	657.6	8.8	503.6	8.3	9.2			
	16:00	6.0	120.0	746.8	10.1	646.3	7.4	9.1	669.2	9.1	662.9	8.0	501.1	7.7	8.5			
01 DE JUNIO	24:00	8.0	128.0	741.9	9.4	644.3	7.1	8.7	666.5	8.7	650.7	7.7	498.7	7.2	8.0			
	24:00	24.0	152.0	743.4	9.6	648.6	7.8	9.2	669.4	9.2	655.6	8.5	503.3	8.2	8.6			

DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL

FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - CUARTA CARGA-MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.



FUENTE: El autor (2019).

➤ SECADO NATURAL Y ARTIFICIAL - QUINTA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.

C	SECADO NATURAL - SECADO ARTIFICIAL - QUINTA CARGA - MADERA CERCANA A LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S									
	CODIGO DE TABLAS					10B				
MUESTRA PARA %CH	PESO HUMEDO (g)		PESO SECO CONSTANTE (g)		M1		M2		M10B	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
1275.6	125.5	120.1	101.9	83.4	118.3	106.3	103.7	109	103.7	109
85.4	53.1	53.8	62.4	42.3	66.7	67.7	58.5	58.5	58.5	58.5
135.4	136.3	134.4	92.5	84.3	94.1	96.7	84.5	86.3	84.5	86.3
1560.4	135.4	134.4	92.5	84.3	94.1	96.7	84.5	86.3	84.5	86.3
687.9	1560.4	1371.4	1004.2	1286	1286	1286	1275.6	1275.6	1275.6	1275.6
	683.0	728.0	513.9	710.9	710.9	710.9	687.9	687.9	687.9	687.9

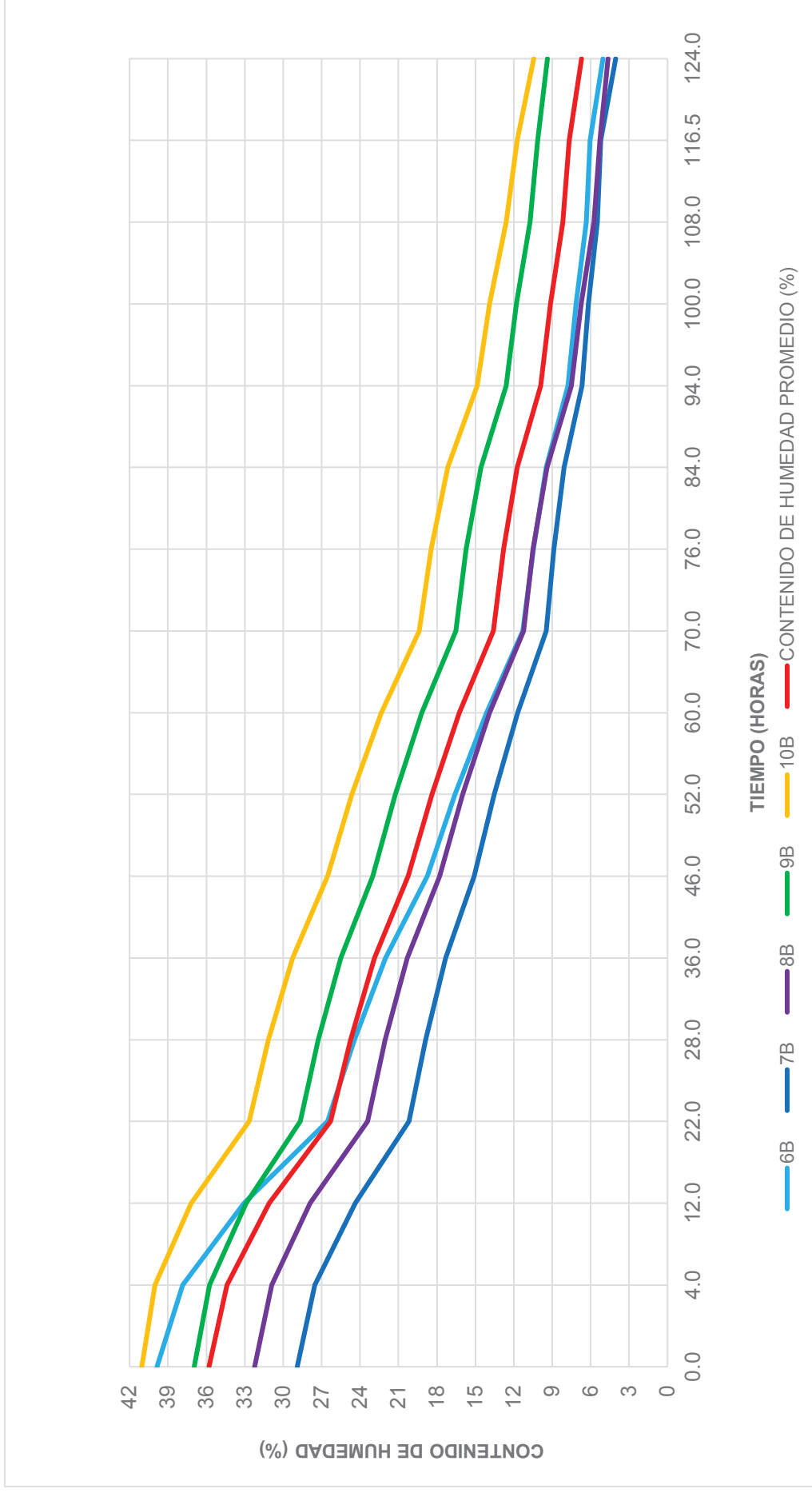
B	SECADO NATURAL									
	TIEMPO PARCIAL (HORAS)		TIEMPO ACUMULADO (HORAS)		PESO HUMEDO (g)		PESO SECO (g)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
11 DE MAYO, 2018	0.0	0.0	1560.4	1371.4	88.4	1004.2	85.4	1286.0	81.1	1275.6
12 DE MAYO	24.5	24.5	1503.3	1330.6	82.8	987.6	88.3	1256.1	76.9	1237.6
13 DE MAYO	16.0	40.5	1488.7	1294.6	81.4	985.0	86.4	1250.1	76.1	1229.4
14 DE MAYO	24.5	65.0	1488.7	1250.9	78.3	987.6	85.4	1250.1	73.8	1229.4
15 DE MAYO	23.5	90.0	1401.3	1117.4	72.5	900.1	75.1	1199.9	69.0	1176.8
16 DE MAYO	24.5	113.5	1339.1	1027.9	65.9	883.1	67.9	1162.4	63.7	1142.5
17 DE MAYO	24.5	138.0	1287.8	942.2	60.6	836.2	62.7	1134.4	59.5	1116.2
18 DE MAYO	24.0	162.0	1249.6	865.5	56.7	817.9	59.1	1115.9	57.2	1102.3
19 DE MAYO	31.0	193.0	1184.9	802.2	51.4	791.4	55.3	1085.9	55.3	1079.2
20 DE MAYO	28.5	221.5	1132.3	764.4	48.3	785.3	53.3	1079.2	52.7	1079.2
21 DE MAYO	24.0	245.5	1102.1	728.0	45.3	769.5	51.3	1063.5	51.3	1063.5
22 DE MAYO	24.0	269.5	1077.8	692.6	42.8	749.5	48.3	1043.5	47.7	1043.5
23 DE MAYO	24.5	294.0	1054.4	657.1	40.8	730.3	45.3	1034.9	46.7	1034.9
24 DE MAYO	24.0	318.0	1030.0	621.6	38.6	720.2	43.9	1024.9	45.0	1024.9
25 DE MAYO	24.0	342.0	1004.1	589.9	37.5	724.9	42.1	1024.9	44.2	1019.6
26 DE MAYO	18.5	360.5	1033.0	558.9	37.1	722.8	40.6	1021.9	43.9	1017.3
27 DE MAYO	25.0	385.0	1013.4	529.4	35.4	714.8	39.1	1013.3	42.7	1009.2
28 DE MAYO	30.5	405.5	985.0	500.1	33.1	703.1	36.8	1000.5	40.9	996.9
29 DE MAYO	21.5	427.0	976.4	473.3	32.4	694.2	35.1	996.5	44.4	993.1
30 DE MAYO	24.5	451.5	963.5	454.3	31.0	684.1	33.9	980.4	43.5	987.4
31 DE MAYO	24.0	475.5	956.7	443.3	30.2	681.7	34.6	987.4	39.1	984.4
01 DE JUNIO	21.5	502.0	946.1	427.8	30.2	681.7	33.3	981.7	38.3	979.5
02 DE JUNIO	24.0	526.0	940.3	418.8	29.8	684.6	33.2	978.8	37.9	976.9
03 DE JUNIO	24.0	550.0	932.3	406.6	29.2	681.0	32.5	974.4	37.2	972.6
04 DE JUNIO	23.5	573.5	927.2	399.9	28.9	679.6	32.2	972.4	36.9	970.3

	SECADO ARTIFICIAL									
	TIEMPO PARCIAL (HORAS)		TIEMPO ACUMULADO (HORAS)		PESO HUMEDO (g)		PESO SECO (g)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
12:00	0.0	0.0	927.2	938.5	28.9	679.6	32.2	972.4	36.9	970.3
16:00	4.0	4.0	913.8	928.5	27.5	672.7	30.9	963.9	35.8	963.1
24:00	8.0	12.0	882.2	905.5	24.4	667.3	27.9	943.6	32.9	943.7
04 DE JUNIO, 2018	10.0	22.0	838.8	874.9	20.2	634.2	23.4	913.7	28.7	912.7
16:00	6.0	28.0	824.9	865.6	18.9	627.2	22.0	903.7	27.3	902.3
24:00	8.0	36.0	808.9	854.1	17.3	618.3	20.3	891.2	25.5	889.2
05 DE JUNIO	10.0	46.0	787.2	838.0	15.1	605.4	17.8	873.4	23.0	870.5
16:00	6.0	52.0	772.9	826.5	13.5	596.2	16.0	861.0	21.3	857.4
06 DE JUNIO	8.0	60.0	756.7	813.3	11.7	585.4	13.9	846.2	19.2	841.6
24:00	10.0	70.0	737.9	797.1	9.5	571.7	11.2	827.3	16.5	821.3
07 DE JUNIO	6.0	76.0	732.4	792.7	8.9	567.9	10.5	821.6	15.7	814.8
16:00	8.0	84.0	725.7	786.8	8.1	562.3	9.4	813.5	14.6	805.9
24:00	10.0	94.0	714.5	776.7	6.7	552.6	7.5	799.6	12.6	790.2
08 DE JUNIO	6.0	100.0	710.3	773.0	6.2	548.6	6.7	793.9	11.8	783.5
24:00	8.0	108.0	705.1	768.0	5.2	541.0	5.7	786.3	10.7	774.5
08 DE JUNIO	8.5	116.5	703.1	766.0	5.2	541.0	5.3	786.3	10.1	774.5
16:00	7.5	124.0	696.4	757.5	4.0	537.8	4.6	776.6	9.4	769.8
24:00	8.0	132.0	694.1	757.1	4.0	534.3	4.0	772.5	8.8	767.6
10 DE JUNIO	24.0	156.0	704.6	767.3	5.4	540.9	5.2	776.4	10.2	766.3

DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL

FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - QUINTA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.



FUENTE: El autor (2019).

➤ SECADO ARTIFICIAL - SESTA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 2.5 M/S.

		SECADO ARTIFICIAL - SESTA CARGA - MADERA CERCA A LA COPA - VELOCIDAD DEL AIRE: 2.5 MS														
		16C			17C			18C			19C			20C		
C		CODIGO DE TABLAS														
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2			
5 Arboles		77.6	80	43.1	43.6	67.7	71.9	53.7	52.6	83.4	76.4					
PESO HUMEDO (g)		38.4	38.8	23.8	23.7	39.6	41.9	27.9	27.2	45.5	42.1					
PESO SECO CONSTANTE (g)		102.1	106.2	81.1	84.0	71.0	71.6	92.5	93.4	83.3	81.5					
%CH																
PROMEDIO		104.1	82.5			71.3		92.9		82.4						
5 Arboles		983.8	551.4	683.3	947.2	501.1	354.2	519.3								
PESO HUMEDO (g)		481.9														
PESO SECO ESTIMADO (g)																

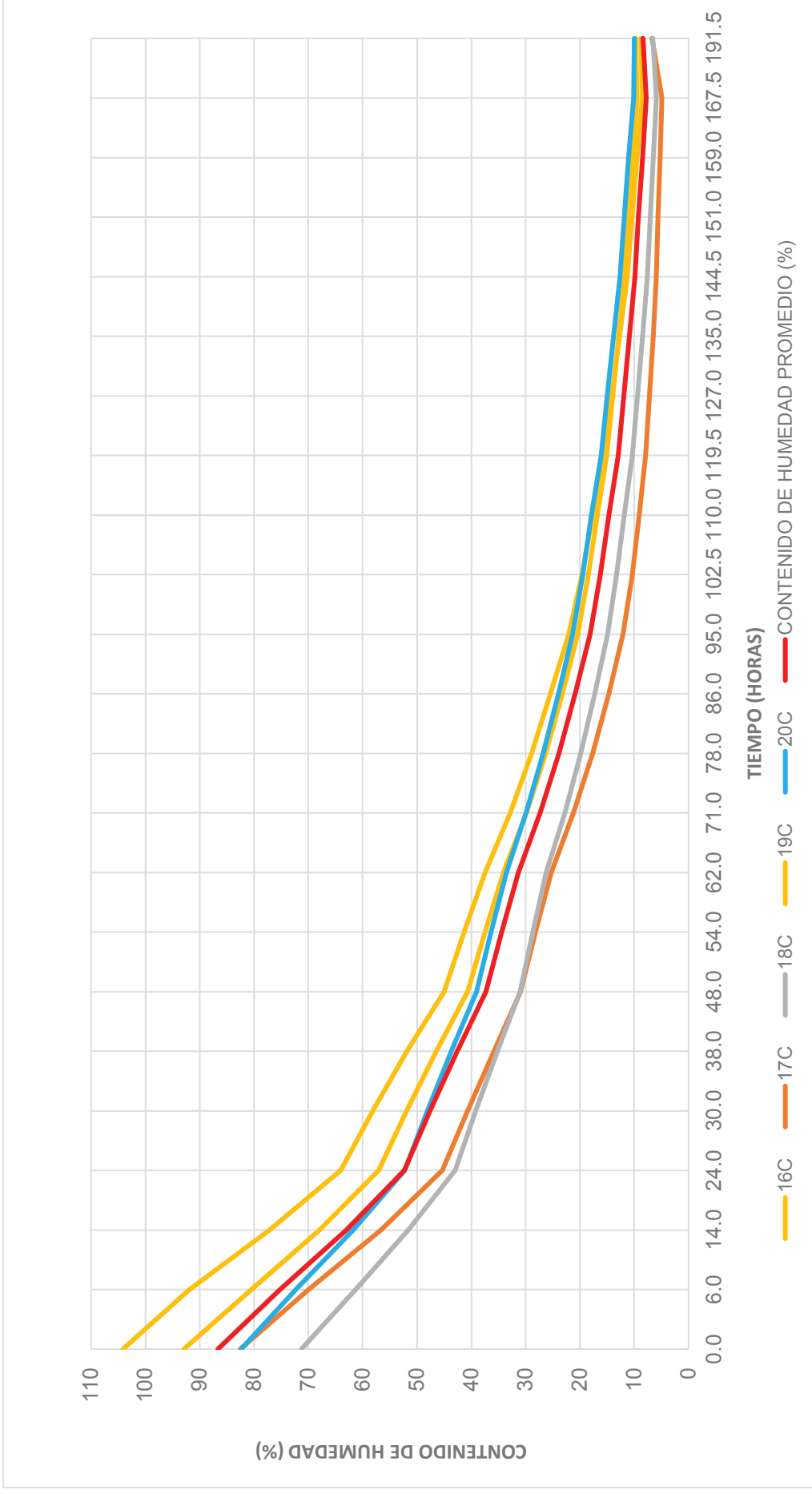
SECADO ARTIFICIAL

FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)
13 DE JUNIO, 2018	10:00	0.0	0.0	983.8	104.1	551.4	82.5	683.3	71.3	947.2	92.9	83.4	82.4	86.7
	16:00	6.0	6.0	924.5	91.8	513.4	70.0	808.3	61.3	894.9	80.5	72.3	75.2	75.2
	24:00	8.0	14.0	853.8	77.2	473.1	56.6	759.7	51.6	839.9	68.0	61.7	63.0	63.0
14 DE JUNIO	10:00	10.0	24.0	790.6	64.0	439.1	45.4	716.2	42.9	790.7	57.1	52.3	52.3	52.3
	16:00	6.0	30.0	762.0	58.1	425.0	40.7	697.3	39.2	769.0	52.0	48.1	47.6	47.6
	24:00	8.0	38.0	731.7	51.8	410.4	35.9	677.2	35.2	746.1	46.5	43.7	42.6	42.6
15 DE JUNIO	10:00	10.0	48.0	699.0	45.0	395.5	31.0	656.5	31.0	721.9	40.7	39.0	37.3	37.3
	16:00	6.0	54.0	681.2	41.3	387.2	28.2	644.7	28.7	708.2	37.4	36.4	34.4	34.4
	24:00	8.0	62.0	662.6	37.5	378.4	25.3	632.5	26.2	693.7	34.1	33.6	31.3	31.3
16 DE JUNIO	09:00	9.0	71.0	640.2	32.8	366.2	21.2	615.3	22.8	459.9	29.9	29.9	27.3	27.3
	16:00	7.0	78.0	621.3	28.9	355.4	17.6	600.4	19.8	447.4	26.3	26.7	23.9	23.9
	24:00	8.0	86.0	604.4	25.4	346.3	14.6	587.7	17.3	436.5	23.2	24.0	20.9	20.9
17 DE JUNIO	09:00	9.0	95.0	588.1	22.0	338.5	12.1	575.8	14.9	426.5	20.4	21.3	18.1	18.1
	16:30	7.5	102.5	576.5	19.6	333.4	10.4	567.4	13.2	419.4	18.4	19.5	16.2	16.2
	24:00	7.5	110.0	566.9	17.6	329.5	9.1	560.4	11.8	413.6	16.8	17.9	14.6	14.6
18 DE JUNIO	09:30	9.5	119.5	556.4	15.5	325.9	7.9	552.8	10.3	407.5	15.1	16.1	13.0	13.0
	16:00	7.5	127.0	549.8	14.1	323.8	7.2	548.1	9.4	403.6	14.0	15.0	11.9	11.9
	24:00	8.0	135.0	543.1	12.7	321.8	6.5	543.4	8.5	399.7	12.9	13.8	10.9	10.9
19 DE JUNIO	09:30	9.5	144.5	536.5	11.3	320.1	6.0	539.0	7.6	395.9	11.8	12.6	9.9	9.9
	16:00	6.5	151.0	532.3	10.5	319.1	5.6	536.4	7.1	393.4	11.1	11.9	9.2	9.2
	24:00	8.0	159.0	527.7	9.5	317.8	5.2	533.5	6.5	390.6	10.3	11.0	8.5	8.5
20 DE JUNIO	08:30	8.5	167.5	523.0	8.5	316.9	4.9	530.7	5.9	387.8	9.5	10.1	7.8	7.8
	21 DE JUNIO	24.0	191.5	524.3	8.8	322.5	6.8	533.8	6.5	388.6	9.7	10.0	8.4	8.4

DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL

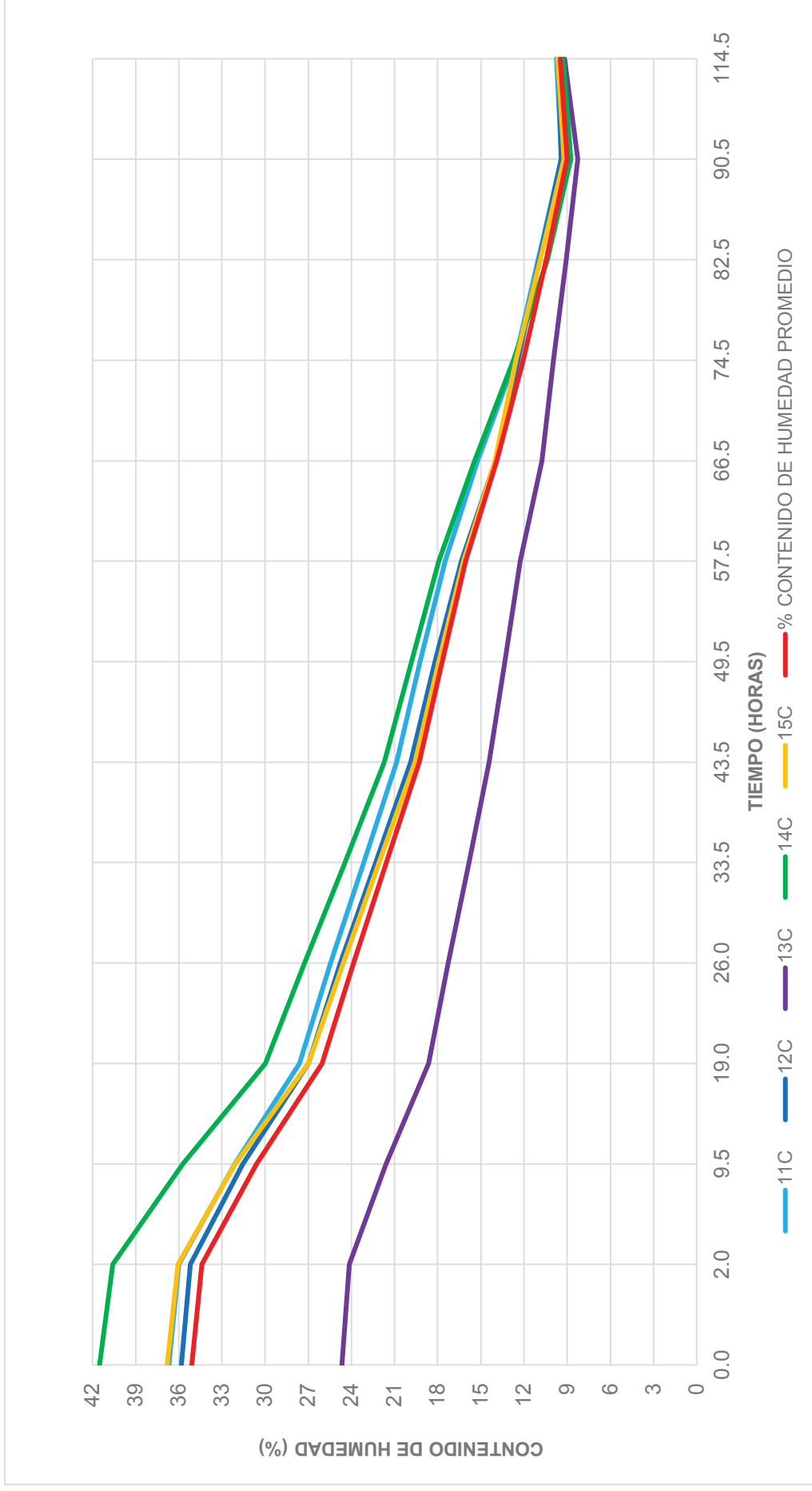
FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - SESTA CARGA - MADERA DE TOPO - VELOCIDAD DEL AIRE: 2.5 M/S.



FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - SETIMA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.



FUENTE: El autor (2019).

➤ SECADO NATURAL Y ARTIFICIAL - OCTAVA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 MIS.

C	SECADO NATURAL - SECADO ARTIFICIAL - OCTAVA CARGA - MADERA CERCANA A LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 MIS													
	CODIGO DE TABLAS			17B			18B			19B			20B	
MUESTRA PARA %CH	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
	PESO HUMEDO (g)	89.4	100.6	93.9	93.7	93.9	93.7	93.9	93.7	93.9	93.7	93.9	93.7	93.9
PESO SECO CONSTANTE (g)	42.8	57.7	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6
% CH	82.2	77.4	98.3	98.5	100.0	102.0	101.0	101.0	98.4	92.5	91.5	91.5	91.5	91.5
PROMEDIO			98.4	98.4	100.0	101.0	101.0	98.4	92.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
PESO HUMEDO (g)		1203.8	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9	1127.9
PESO SECO ESTIMADO (g)		669.4	568.5	601.3	601.3	601.3	601.3	601.3	568.5	736.2	638.4	638.4	638.4	638.4

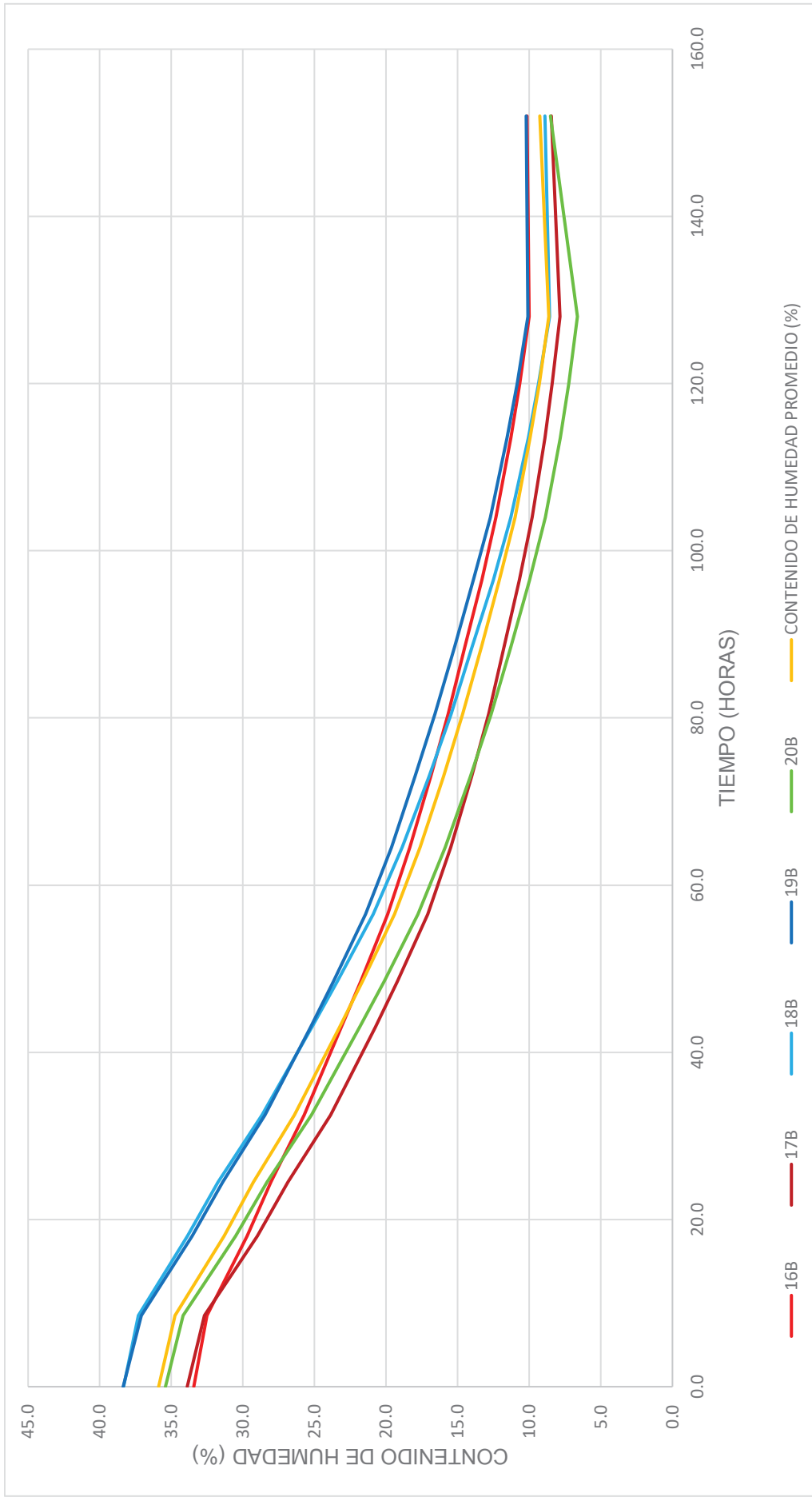
FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	SECADO NATURAL			SECADO ARTIFICIAL			SECADO NATURAL			SECADO ARTIFICIAL		
			TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO SECO ESTIMADO (g)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO SECO ESTIMADO (g)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO SECO ESTIMADO (g)
15 JUNIO	17:00	0.0	1203.8	1127.9	79.2	1203.8	1127.9	79.2	1203.8	1127.9	79.2	1203.8	1127.9	79.2
16 JUNIO	08:00	16.0	1199.4	1122.7	75.2	1199.4	1122.7	75.2	1199.4	1122.7	75.2	1199.4	1122.7	75.2
16 JUNIO	24:00	24.0	1177.9	1101.9	76.0	1177.9	1101.9	76.0	1177.9	1101.9	76.0	1177.9	1101.9	76.0
19 JUNIO	15:00	84.0	1168.5	1082.1	74.6	1168.5	1082.1	74.6	1168.5	1082.1	74.6	1168.5	1082.1	74.6
20 JUNIO	24:00	24.0	1167.4	1080.9	72.9	1167.4	1080.9	72.9	1167.4	1080.9	72.9	1167.4	1080.9	72.9
22 JUNIO	09:00	18.0	1150.3	1073.6	71.8	1150.3	1073.6	71.8	1150.3	1073.6	71.8	1150.3	1073.6	71.8
22 JUNIO	16:00	30.0	1130.3	1052.1	68.8	1130.3	1052.1	68.8	1130.3	1052.1	68.8	1130.3	1052.1	68.8
25 JUNIO	15:00	72.0	1089.5	1007.4	62.8	1089.5	1007.4	62.8	1089.5	1007.4	62.8	1089.5	1007.4	62.8
26 JUNIO	13:00	22.0	1076.3	991.3	74.4	1076.3	991.3	74.4	1076.3	991.3	74.4	1076.3	991.3	74.4
27 JUNIO	24:00	25.0	1065.4	977.5	72.0	1065.4	977.5	72.0	1065.4	977.5	72.0	1065.4	977.5	72.0
28 JUNIO	14:00	309.0	1047.2	967.5	70.2	1047.2	967.5	70.2	1047.2	967.5	70.2	1047.2	967.5	70.2
30 JUNIO	12:00	46.0	1021.3	953.3	67.7	1021.3	953.3	67.7	1021.3	953.3	67.7	1021.3	953.3	67.7
2 JULIO	14:00	50.0	1007.8	922.0	62.2	1007.8	922.0	62.2	1007.8	922.0	62.2	1007.8	922.0	62.2
3 JULIO	15:00	25.0	990.5	895.5	59.3	990.5	895.5	59.3	990.5	895.5	59.3	990.5	895.5	59.3
4 JULIO	08:00	26.0	983.7	874.4	57.4	983.7	874.4	57.4	983.7	874.4	57.4	983.7	874.4	57.4
5 JULIO	15:00	21.0	980.0	863.1	57.0	980.0	863.1	57.0	980.0	863.1	57.0	980.0	863.1	57.0
6 JULIO	16:00	21.5	980.0	870.8	53.2	980.0	870.8	53.2	980.0	870.8	53.2	980.0	870.8	53.2
9 JULIO	15:30	71.0	973.8	860.0	46.5	973.8	860.0	46.5	973.8	860.0	46.5	973.8	860.0	46.5
11 JULIO	14:30	47.0	964.5	847.4	49.1	964.5	847.4	49.1	964.5	847.4	49.1	964.5	847.4	49.1
12 JULIO	15:30	25.0	946.5	834.6	46.8	946.5	834.6	46.8	946.5	834.6	46.8	946.5	834.6	46.8
13 JULIO	15:30	24.0	946.8	825.3	45.2	946.8	825.3	45.2	946.8	825.3	45.2	946.8	825.3	45.2
14 JULIO	15:00	23.5	942.0	820.0	44.2	942.0	820.0	44.2	942.0	820.0	44.2	942.0	820.0	44.2
16 JULIO	18:00	48.5	938.4	813.9	43.2	938.4	813.9	43.2	938.4	813.9	43.2	938.4	813.9	43.2
18 JULIO	15:30	48.0	927.9	801.7	41.0	927.9	801.7	41.0	927.9	801.7	41.0	927.9	801.7	41.0
20 JULIO	15:30	48.0	916.4	788.8	38.6	916.4	788.8	38.6	916.4	788.8	38.6	916.4	788.8	38.6
22 JULIO	08:30	41.5	914.0	784.5	38.0	914.0	784.5	38.0	914.0	784.5	38.0	914.0	784.5	38.0
23 JULIO	16:00	31.0	912.9	782.9	37.7	912.9	782.9	37.7	912.9	782.9	37.7	912.9	782.9	37.7
30 JULIO	08:30	16.5	905.0	768.7	35.7	905.0	768.7	35.7	905.0	768.7	35.7	905.0	768.7	35.7
16:00	30.0	1079.0	900.0	768.1	35.1	1079.0	900.0	768.1	35.1	1079.0	900.0	768.1	35.1	
1 AUGUSTO	11:00	43.0	896.4	763.9	34.4	896.4	763.9	34.4	896.4	763.9	34.4	896.4	763.9	34.4

FECHA	HORA	TIEMPO PARCIAL (HORAS)	SECADO NATURAL			SECADO ARTIFICIAL			SECADO NATURAL			SECADO ARTIFICIAL		
			TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO SECO ESTIMADO (g)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO SECO ESTIMADO (g)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	PESO HUMEDO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO SECO ESTIMADO (g)
01 AGOSTO	15:30	0.0	893.2	761.1	33.9	893.2	761.1	33.9	893.2	761.1	33.9	893.2	761.1	33.9
24:00	8.5	8.5	887.0	754.2	32.7	887.0	754.2	32.7	887.0	754.2	32.7	887.0	754.2	32.7
09:30	9.5	18.0	868.3	733.3	29.0	868.3	733.3	29.0	868.3	733.3	29.0	868.3	733.3	29.0
16:00	6.5	24.5	857.1	721.1	26.9	857.1	721.1	26.9	857.1	721.1	26.9	857.1	721.1	26.9
24:00	8.0	32.5	841.6	704.2	23.9	841.6	704.2	23.9	841.6	704.2	23.9	841.6	704.2	23.9
10:30	10.5	43.0	824.2	686.5	20.8	824.2	686.5	20.8	824.2	686.5	20.8	824.2	686.5	20.8
16:00	5.5	48.5	815.2	677.6	19.2	815.2	677.6	19.2	815.2	677.6	19.2	815.2	677.6	19.2
24:00	8.0	56.5	802.5	665.6	17.1	802.5	665.6	17.1	802.5	665.6	17.1	802.5	665.6	17.1
8:00	8.0	64.5	792.1	656.4	15.5	792.1	656.4	15.5	792.1	656.4	15.5	792.1	656.4	15.5
16:30	8.5	73.0	782.4	648.2	14.0	782.4	648.2	14.0	782.4	648.2	14.0	782.4	648.2	14.0
24:00	7.5	80.5	774.3	641.5	12.8	774.3	641.5	12.8	774.3	641.5	12.8	774.3	641.5	12.8
8:00	8.0	88.5	765.4	635.3	11.8	765.4	635.3	11.8	765.4	635.3	11.8	765.4	635.3	11.8
16:00	8.0	96.5	758.6	629.2	10.7	758.6	629.2	10.7	758.6	629.2	10.7	758.6	629.2	10.7
08:30	7.5	104.0	751.9	623.7	9.6	751.9	623.7	9.6	751.9	623.7	9.6	751.9	623.7	9.6
09:30	8.0	112.0	745.8	619.2	8.6	745.8	619.2	8.6	745.8	619.2	8.6	745.8	619.2	8.6
16:00	8.2	120.2	740.8	616.2	8.2	740.8	616.2	8.2	740.8	616.2	8.2	740.8	616.2	8.2
24:00	8.0	128.0	736.4	613.1	7.9	736.4	613.1	7.9	736.4	613.1	7.9	736.4	613.1	7.9
07 AGOSTO	24:00	24.0	737.4	616.5	8.5	737.4	616.5	8.5	737.4	616.5	8.5	737.4	616.5	8.5

DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL

FUENTE: El autor (2019).

➤ CURVA DE SECADO ARTIFICIAL - OCTAVA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.



FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 9: SECADO AL AIRE DE LA MADERA DE TECA.

➤ Contenido de humedad inicial y final.

Cargas de Madera	Muestras de control del lote					Promedio
	1	2	3	4	5	
	% CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL					
3TH2-2.5	80	68,4	133,6	81,4	103,5	93,4
5BH2-3.5	135,4	88,4	95,4	81,1	85,4	97,1
7TH2-3.5	110,3	93,7	105,9	104,6	86,4	100,2
8BH2-2.5	79,83	98,41	101,01	92,48	91,53	92,7
	%CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL					
3TH2-2.5	31,6	27,3	56,6	29,5	31,1	35,2
5BH2-3.5	39,86	28,91	32,23	36,95	41,04	35,8
7TH2-3.5	37,2	37,1	24,9	41,6	36,7	35,5
8BH2-2.5	33,91	34,38	38,7	38,82	35,93	36,3
	TASA DE SECADO					
3TH2-2.5	3,1	2,7	5,0	3,4	4,7	3,8
5BH2-3.5	4,0	2,5	2,7	1,9	1,9	2,6
7TH2-3.5	1,6	1,2	1,7	1,3	1,1	1,4
8BH2-2.5	1,0	1,4	1,3	1,1	1,2	1,2

➤ ANOVA de un solo factor: CH INICIAL vs. CARGA.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
CARGA	4	3; 5; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CARGA	3	183,7	61,23	0,19	0,904
Error	16	5260,2	328,76		
Total	19	5443,9			

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CARGA	N	Media	Agrupación
7	5	100,18	A
5	5	97,14	A
3	5	93,4	A
8	5	92,65	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

➤ **ANOVA de un solo factor: CH FINAL vs. CARGA.**

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
CARGA	4	3; 5; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CARGA	3	3,494	1,165	0,02	0,996
Error	16	866,203	54,138		
Total	19	869,697			

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CARGA	N	Media	Agrupación
8	5	36,35	A
5	5	35,80	A
7	5	35,50	A
3	5	35,22	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

➤ **ANOVA de un solo factor: TASA DE SECADO VS. CARGA.**

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Carga	4	3; 5; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Carga	3	21,275	7,0916	14,96	0,000
Error	16	7,583	0,4740		
Total	19	28,858			

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Carga	N	Media	Agrupación
3	5	3,763	A
5	5	2,573	B
7	5	1,373	C
8	5	1,2044	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

APENDICE 10: HUMEDAD INICIAL DE LA MADERA DE TECA.

- CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL DE OCHO CARGAS DE SECADO ARTIFICIAL CON Y SIN TRATAMIENTO DE SECADO NATURAL.

Cargas de Madera	Muestras de control del lote					Promedio
	1	2	3	4	5	
% CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL						
3TH2-2.5	36.1	28.6	56.6	29.7	31.4	36.5
5BH2-3.5	39.9	28.9	32.2	37.0	41.0	35.8
7TH2-3.5	36.7	35.8	24.7	41.5	36.8	35.1
8BH2-2.5	33.4	33.9	38.3	38.4	35.4	35.9
PROMEDIO						35.8
1BH1-2.5	82.5	84.9	121.4	80.2	106.3	95.1
2TH1-3.5	126.8	94.8	102.3	89.1	71.6	96.9
4BH1-3.5	100.2	103.9	108.4	116.5	85.9	103.0
6TH1-2.5	104.1	82.5	71.3	92.9	82.4	86.6
PROMEDIO						95.4

FUENTE: El autor (2019).

- ANOVA DE LOS VALORES DE CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL DE MADERA PROMEDIO DE OCHO CARGAS DE MADERA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Cargas	7	36192	5170,2	33,91	0,000
Error	32	4880	152,5		
Total	39	41071			

FUENTE: El autor (2019).

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para comparar el promedio de humedad inicial de ocho cargas

Cargas	N	Media	Agrupación
4	5	102,98	A
2	5	96,92	A
1	5	95,06	A
6	5	86,64	A
3	5	36,48	B
8	5	35,88	B
5	5	35,80	B
7	5	35,10	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

FUENTE: El autor (2020).

APENDICE 11: TIEMPO TOTAL DE SECADO ARTIFICIAL.

Se plantea un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial de 2x2. El bloque es la posición longitudinal.

Análisis de residuales

Normalidad del error

```
Shapiro-Wilk normality test
data: ri, W = 0.97656, p-value = 0.5637
```

Homocedasticidad

```
Non-constant Variance Score Test Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 2.057255, Df = 1, p = 0.15148
```

ANOVA

Se observa que existe significancia en la interacción. Por lo que se realiza un análisis de Tukey a la interacción.

```
Analysis of Variance Table

Response: tiempo
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Condición humedad  1 25903.0 25903.0 40.4679 2.587e-07 ***
velocidad          1  6207.6  6207.6  9.6980 0.003668 **
pos_longitudinal   1  2949.8  2949.8  4.6084 0.052824
condicion:velocidad 1  3707.6  3707.6  5.7923 0.021510 *
Residuals         35 22403.1   640.1
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

TABLA 20: PRUEBA DE TUCKEY DE PROMEDIOS DE TIEMPO DE SECADO POR LA INTERACCIÓN DE HUMEDAD INICIAL Y VELOCIDAD DE VIENTO.

Humedad inicial (%)	Velocidad del aire (ms ⁻¹)	Comparación de medias (%)	Error estándar	Grados libertad	Límite inferior	Límite superior	Grupo (*)
≈PSF (H2)	3,5 (V2)	89,7	8	35	68,7	111	c
≈PSF (H2)	2,5 (V1)	95,4	8	35	74,4	116	bc
Madera verde (H1)	3,5 (V2)	121,4	8	35	100,4	142	b
Madera verde (H1)	2,5 (V1)	165,5	8	35	144,5	187	a

(*) Medias con letras iguales, diferencias no significativas en la columna.

FUENTE: El autor (2020).

APENDICE 12: TASA DE SECADO - MADERA DE TECA.

➤ TASA DE SECADO - PRIMERA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 m/s.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
1BH-2.5	1B		1439,3	82,5	1025,0	30,0	76,8	0,68	5,39
	2B		1281,5	84,9	901,0	30,0	66,0	0,83	5,77
	3B	Vh a 30%	1672,8	121,4	981,8	30,0	98,0	0,93	7,05
	4B		1761,7	80,2	1270,9	30,0	83,8	0,60	5,86
	5B		1431,0	106,3	901,8	30,0	80,1	0,95	6,61
	PROMEDIO			95,1		30,0	80,9	0,80	6,14
1BH-2.5	1B		1439,3	82,5	867,3	10,0	213,3	0,34	2,68
	2B		1281,5	84,9	762,4	10,0	182,7	0,41	2,84
	3B	Vh a 10%	1672,8	121,4	831,0	10,0	184,2	0,60	4,57
	4B		1761,7	80,2	1075,8	10,0	218,0	0,32	3,15
	5B		1431,0	106,3	763,0	10,0	146,0	0,66	4,58
	PROMEDIO			95,1		10,0	188,84	0,47	3,56
1BH-2.5	1B		1025,0	30,0	867,3	10,0	136,5	0,15	1,16
	2B		901,0	30,0	762,4	10,0	116,7	0,17	1,19
	3B	V30% a 10%	981,8	30,0	831,0	10,0	86,2	0,23	1,75
	4B		1270,9	30,0	1075,8	10,0	134,2	0,15	1,45
	5B		901,8	30,0	763,0	10,0	65,9	0,30	2,11
	PROMEDIO			30,0		10,0	107,9	0,20	1,53

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - SEGUNDA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido de humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (%) CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
	6T		1108,2	126,8	635,2	30	61,4	1,6	7,7
	7T		1000,9	94,8	668,0	30	55,6	1,2	6,0
	8T	Vh a 30%	1061,6	102,3	682,2	30	63,8	1,1	5,9
	9T		961,4	89,1	661,0	30	65,8	0,9	4,6
	10T		1011,2	71,6	765,8	30	54,7	0,8	4,5
	PROMEDIO			96,9		30	60,3	1,11	5,7
	6T		1108,2	126,8	537,5	10	116,2	1,0	4,9
	7T		1000,9	94,8	565,2	10	137,0	0,6	3,2
	8T		1061,6	102,3	577,2	10	128,3	0,7	3,8
	9T	Vh a 10%	961,4	89,1	559,3	10	148,7	0,5	2,7
	10T		1011,2	71,6	648,0	10	141,6	0,4	2,6
	PROMEDIO			96,9		10	134,36	0,66	3,4
	6T		635,2	30	537,5	10	54,8	0,4	1,8
	7T		668,0	30	565,2	10	81,4	0,2	1,3
	8T		682,2	30	577,2	10	64,5	0,3	1,6
	9T	V30% a 10%	661,0	30	559,3	10	82,9	0,2	1,2
	10T		765,8	30	648,0	10	86,9	0,2	1,4
	PROMEDIO			30		10	74,1	0,28	1,5

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - CUARTA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido de humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
4BH-3.5	11B		1358,1	100,2	881,9	30,0	54,6	1,29	8,7
	12B		1226,8	103,9	782,2	30,0	49,3	1,50	9,0
	13B	Vh a 30%	1278,0	108,4	797,2	30,0	49,6	1,58	9,7
	14B		1308,3	116,5	785,7	30,0	52,1	1,66	10,0
	15B		864,8	85,9	604,6	30,0	34,3	1,63	7,6
	PROMEDIO			103,0		30,0	48,0	1,52	9,0
	11B		1358,1	100,2	746,2	10,0	120,9	0,75	5,1
	12B		1226,8	103,9	661,8	10,0	101,8	0,92	5,5
	13B	Vh a 10%	1278,0	108,4	674,5	10,0	113,3	0,87	5,3
	14B		1308,3	116,5	664,8	10,0	106,6	1,00	6,0
	15B		864,8	85,9	511,6	10,0	99,2	0,77	3,6
	PROMEDIO			103,0		10,0	108,4	0,86	5,1
	11B		881,9	30,0	746,2	10,0	66,3	0,30	2,0
	12B		782,2	30,0	661,8	10,0	52,5	0,38	2,3
	13B	V30% a 10%	797,2	30,0	674,5	10,0	63,7	0,31	1,9
14B		785,7	30,0	664,8	10,0	54,5	0,37	2,2	
15B		604,6	30,0	511,6	10,0	64,9	0,31	1,4	
PROMEDIO			30,0		10,0	60,4	0,33	2,0	

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - TERCERA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
3T0-2.5	1T	V30% a 10%	1050,5	30,0	888,9	10,0	98,6	0,20	1,6
	2T		750,5	28,6	641,9	10,0	54,0	0,34	2,0
	3T	920,6	30,0	778,9	10,0	59,5	0,34	2,4	
	4T	790,2	29,7	670,2	10,0	73,1	0,27	1,6	
	5T	586,8	30,0	496,5	10,0	45,3	0,44	2,0	
PROMEDIO				29,7		10,0	66,1	0,32	1,9

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - QUINTA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
5B0-3.5	6B	V30% a 10%	861,9	30,0	729,3	10,0	63,1	0,32	2,1
	7B		938,5	28,9	800,8	10,0	67,7	0,28	2,0
	8B	668,1	30,0	565,3	10,0	73,3	0,27	1,4	
	9B	923,1	30,0	781,0	10,0	99,0	0,20	1,4	
	10B	894,3	30,0	757,6	10,1	99,1	0,20	1,4	
PROMEDIO				29,8		10,0	77,3	0,25	1,7

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - SESTA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 2.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido de humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido de humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
6TH-2.5	16T		983,8	104,1	626,5	30,0	76,1	0,97	4,7
	17T		551,4	82,5	392,7	30,0	50,0	1,05	3,2
	18T	Vh a 30%	858,2	71,3	651,4	30,0	50,6	0,82	4,1
	19T		683,3	92,9	460,4	30,0	70,7	0,89	3,2
	20T		947,2	82,4	675,1	30,0	70,8	0,74	3,8
	PROMEDIO			86,7		30,0	63,6	0,89	3,8
	16T		983,8	104,1	530,1	10,0	154,8	0,61	2,9
	17T		551,4	82,5	332,3	10,0	104,6	0,69	2,1
	18T	Vh a 10%	858,2	71,3	551,2	10,0	122,1	0,50	2,5
	19T		683,3	92,9	389,6	10,0	162,1	0,51	1,8
20T		947,2	82,4	571,3	10,0	191,5	0,38	2,0	
PROMEDIO			86,7		10,0	147,0	0,54	2,3	
16T		626,5	30,0	530,1	10,0	78,7	0,25	1,2	
17T		392,7	30,0	332,3	10,0	54,6	0,37	1,1	
18T	V30% a 10%	651,4	30,0	551,2	10,0	71,5	0,28	1,4	
19T		460,4	30,0	389,6	10,0	91,4	0,22	0,8	
20T		675,1	30,0	571,3	10,0	120,7	0,17	0,9	
PROMEDIO			30,0		10,0	83,4	0,26	1,1	

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - SETIMA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL- VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido de humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
7T0-3.5	11T		724,6	30,0	613,1	10,0	73,6	0,27	1,5
	12T		829,7	30,0	702,1	10,0	74,7	0,27	1,7
	13T	V30% a 10%	615,8	24,7	543,4	10,0	74,1	0,20	1,0
	14T		677,8	30,0	573,5	10,0	65,3	0,31	1,6
	15T		780,3	30,0	660,3	10,0	73,4	0,27	1,6
	PROMEDIO			28,9		10,0	72,2	0,26	1,5

FUENTE: El autor (2019).

➤ TASA DE SECADO - OCTAVA CARGA - MADERA DE BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.

Carga de madera	Muestra control	Rango de humedad (%)	Peso húmedo inicial (g)	Contenido humedad inicial	Peso húmedo final (g)	Contenido de humedad final	Duración del Tiempo (horas)	Tasa de secado (% CH/hora)	Tasa de secado (gramos/hora)
8BO-2.5	16B		870,2	30,0	736,4	10,0	111,0	0,18	1,2
	17B		739,0	30,0	625,3	10,0	86,8	0,23	1,3
	18B	V30% a 10%	781,7	30,0	661,4	10,0	85,1	0,23	1,4
	19B		957,0	30,0	809,8	10,0	99,7	0,20	1,5
	20B		830,0	30,0	702,3	10,0	93,4	0,21	1,4
	PROMEDIO			30,0		10,0	95,2	0,21	1,4

FUENTE: El autor (2019).

- ANOVA Y PRUEBA DE MEDIAS DE LAS TASAS DE SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE SECADO POR EFECTO DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.

TASA DE SECADO PROMEDIO DEL AGUA LIBRE Y LIGADA DE OCHO CARGAS DE MADERA EN SECADO ARTIFICIAL..

Rango de humedad (%)	Carga de madera (*)	Humedad inicial (%)	Humedad final (%)	Tiempo (horas)	Tasa de secado (%ch/hora)
H1 a 30% (H2)	4 BH1-V2	103,0	30,0	48,0	1,52
	2 TH1-V2	96,9	30,0	60,3	1,11
	Tasa de secado promedio con 3,5 m s ⁻¹				1,32
	6 TH1-V1	86,7	30,0	63,6	0,89
	1 BH1-V1	95,1	30,0	80,9	0,80
	Tasa de secado promedio con 2,5 m s ⁻¹				0,85
Tasa de secado promedio de agua libre					1,08
(H2) 30% a 10%	4 BH1-V2	30,0	10,0	60,4	0,33
	2 TH1-V2	30,0	10,0	74,1	0,28
	7 TH2-V2	28,9	10,0	72,2	0,26
	5 BH2-V2	29,8	10,0	80,4	0,25
	Tasa de secado promedio con 3,5 m s ⁻¹				0,28
	3 TH2-V1	29,7	10,0	66,1	0,32
	6 TH1-V1	30,0	10,0	83,4	0,26
	8 BH2-V1	30,0	10,0	95,2	0,21
	1 BH1-V1	30,0	10,0	107,9	0,20
	Tasa de secado promedio con 2,5 m s ⁻¹				0,25
Tasa de secado promedio de agua ligada					0,26
H1 a 10%	4 BH1-V2	103,0	10,0	108,4	0,86
	2 TH1-V2	96,9	10,0	134,4	0,66
	Tasa de secado promedio con 3,5 m s ⁻¹				0,76
	6 TH1-V1	86,7	10,0	147,0	0,54
	1 BH1-V1	95,1	10,0	188,8	0,47
	Tasa de secado promedio con 2,5 m s ⁻¹				0,51
Tasa de secado de promedio de madera verde					0,63

ANOVA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO.

Se observa que la velocidad del aire y condición de humedad inicial son significativas sobre la tasa de pérdida de humedad. Por tanto se realiza un análisis de Tukey a cada una de dichas variables.

Analysis of Variance Table						
Response: TASA^0.5						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
VELOCIDAD	1	0.33787	0.33787	33.4731	3.963e-07	***
HUMEDAD	2	2.73834	1.36917	135.6462	< 2.2e-16	***
POSICION	1	0.02135	0.02135	2.1153	0.15173	
VELOCIDAD:HUMEDAD	2	0.06363	0.03182	3.1522	0.05088	.
Residuals	53	0.53496	0.01009			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Humedad: tasa de secado del Agua libre e higroscópica - Tukey y una confianza de 95%.

Alpha: 0.05 ; DF Error: 53
Critical Value of Studentized Range: 3.410043

Minimum Significant Difference: 0.04660717

Treatments with the same letter are not significantly different.

	TASA ^{0.5} groups	
H-30	1.0301481	a
H-10	0.7805858	b
30-10	0.5070402	c

Análisis de Varianza de la velocidad del aire en la tasa de secado del agua libre.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
velocidad aire	1	0.33135	78.99%	0.33135	0.33135	15.04	0.018
Error	4	0.08813	21.01%	0.08813	0.02203		
Total	5	0.41948	100.00%				

Velocidad del aire – Tasa de secado del Agua libre, método de Tukey y una confianza de 95%.

velocidad aire	N	Media	Agrupación
V2	3	1.317	A
V1	3	0.8467	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de Varianza de la velocidad del aire en la tasa de secado del agua higroscópica.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
velocidad aire	1	0.002113	0.002113	0.98	0.359
Error	6	0.012875	0.002146		
Total	7	0.014988			

Velocidad del aire – Tasa de secado del Agua higroscópica, método de Tukey y una confianza de 95%

Velocidad de aire	N	Media	Agrupación
V2	4	0.2800	A
V1	4	0.2475	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

FUENTE: El autor (2019.)

APENDICE 13: CONSUMO DE ENERGIA DEL SECADO ARTIFICIAL.

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - PRIMERA CARGA - MADERA DE LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 m/s.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR HORA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0	95.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
11.5	11.5	77.2	1.6	37.3	47.8	47.8	4.2	2.7
5.5	17.0	70.1	1.3	31.0	82.4	34.6	6.3	4.9
9.0	26.0	62.0	0.9	21.5	123.0	40.6	4.5	5.0
8.5	34.5	54.7	0.9	20.7	171.2	48.2	5.7	6.6
7.5	42.0	48.9	0.8	18.5	214.4	43.2	5.8	7.5
8.0	50.0	43.4	0.7	16.7	257.2	42.8	5.3	7.7
8.5	58.5	38.8	0.5	12.8	309.4	52.2	6.1	11.5
8.5	67.0	34.7	0.5	11.6	356.1	46.7	5.5	11.4
7.0	74.0	32.0	0.4	9.5	393.1	37.0	5.3	13.3
8.5	82.5	29.2	0.3	7.7	429.0	35.9	4.2	13.2
7.5	90.0	27.1	0.3	7.0	456.7	27.7	3.7	12.7
8.0	98.0	25.1	0.2	6.0	482.8	26.1	3.3	13.1
8.5	106.5	23.6	0.2	4.2	503.1	20.3	2.4	13.5
7.5	114.0	21.9	0.2	5.3	526.6	23.5	3.1	14.3
8.0	122.0	20.6	0.2	4.1	549.4	22.8	2.8	16.8
8.0	130.0	18.8	0.2	5.4	582.3	32.9	4.1	18.4
8.0	138.0	17.5	0.2	3.7	610.4	28.1	3.5	22.8
8.0	146.0	15.9	0.2	4.9	650.9	40.5	5.1	24.9
8.0	154.0	14.2	0.2	5.2	700.5	49.6	6.2	28.6
8.0	162.0	12.8	0.2	4.0	741.4	40.9	5.1	30.5
8.0	170.0	11.7	0.1	3.5	782.4	41.0	5.1	34.7
8.0	178.0	10.7	0.1	3.0	821.8	39.4	4.9	39.5
8.0	186.0	9.8	0.1	2.5	857.2	35.4	4.4	43.2
8.0	194.0	9.0	0.1	2.5	896.2	39.0	4.9	47.6
8.0	202.0	8.3	0.1	2.0	971.8	75.6	9.4	111.4
8.0	210.0	7.8	0.1	1.7	1047.0	75.2	9.4	133.6
8.0	218.0	7.3	0.1	1.6	1124.7	77.7	9.7	147.3
24.0	242.0	7.9	0.0	-0.7	1289.7	165.0	6.9	250.8
=====						DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO INICIAL, SECADO PROPIAMENTE DICHO, IGUALACION Y ACONDICIONAMIENTO FINAL		

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - SEGUNDA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO POR PROMEDIO (HORA (%))	CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.0	7.0	86.0	1.6	37.3	40.8	40.8	5.8	3.7
10.0	17.0	66.2	2.0	47.6	93.8	53.0	5.3	2.7
6.0	23.0	57.1	1.5	36.3	131.9	38.1	6.3	4.2
8.0	31.0	48.8	1.0	24.9	169.1	37.2	4.7	4.5
9.0	40.0	41.0	0.9	20.7	210.3	41.2	4.6	5.3
7.0	47.0	36.5	0.6	15.5	241.2	30.9	4.4	6.8
8.0	55.0	32.4	0.5	12.3	276.4	35.2	4.4	8.6
8.5	63.5	28.8	0.4	10.3	317.3	40.9	4.8	11.2
7.5	71.0	26.2	0.3	8.4	350.6	33.3	4.4	12.8
8.0	79.0	24.0	0.3	6.4	386.2	35.6	4.4	16.8
8.5	87.5	22.0	0.2	5.7	423.7	37.5	4.4	18.5
7.5	95.0	20.4	0.2	5.2	454.3	30.6	4.1	19.0
8.0	103.0	17.6	0.3	8.4	509.6	55.3	6.9	19.8
8.5	111.5	14.7	0.3	8.1	576.7	67.1	7.9	23.4
7.5	119.0	12.7	0.3	6.5	632.2	55.5	7.4	27.2
8.0	127.0	11.1	0.2	4.9	684.4	52.2	6.5	32.1
10.0	137.0	9.4	0.2	4.1	744.6	60.2	6.0	35.5
6.0	143.0	8.6	0.1	3.0	780.2	35.6	5.9	47.3
8.0	151.0	7.6	0.1	3.0	818.6	38.4	4.8	38.4
24.0	175.0	8.0	0.0	-0.4	912.1	93.5	3.9	-235.6
<hr/>								
DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL								

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - TERCERA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO POR HORA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0.0	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.0	6.0	34.3	0.4	8.5	45.2	45.2	7.5	21.3
9.5	15.5	29.5	0.5	12.2	109.8	64.6	6.8	13.4
6.5	22.0	25.8	0.6	13.7	148.3	38.5	5.9	10.4
8.0	30.0	21.7	0.5	12.4	217.7	69.4	8.7	16.8
10.0	40.0	17.5	0.4	10.0	288.2	70.5	7.1	16.9
6.5	46.5	15.4	0.3	7.8	332.8	44.6	6.9	21.0
7.5	54.0	13.6	0.2	5.9	386.7	53.9	7.2	29.3
9.5	63.5	12.3	0.1	3.3	435.9	49.2	5.2	38.2
7.0	70.5	11.2	0.2	3.8	484.2	48.3	6.9	43.6
7.5	78.0	10.2	0.1	3.1	535.6	51.4	6.9	53.2
9.0	87.0	9.0	0.1	3.2	603.7	68.1	7.6	57.1
7.0	94.0	8.2	0.1	2.9	641.9	38.2	5.5	44.6
8.0	102.0	7.4	0.1	2.2	686.8	44.9	5.6	61.4
10.0	112.0	6.6	0.1	1.9	742.4	55.6	5.6	70.9
6.0	118.0	6.3	0.1	1.6	772.6	30.2	5.0	77.3
24.0	142.0	7.0	0.0	-0.7	857.6	85.0	3.5	-115.7

===== DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - CUARTA CARGA - MADERA DE LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DEL AIRE: 3.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR HORA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0.0	103.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0
8.0	8.0	87.9	1.9	45.2	42.8	42.8	5.4	2.8
10.0	18.0	66.6	2.1	51.2	98.8	56.0	5.6	2.6
6.0	24.0	57.0	1.6	38.5	137.4	38.6	6.4	4.0
8.0	32.0	45.2	1.5	35.5	198.7	61.3	7.7	5.2
10.0	42.0	35.1	1.0	24.2	259.6	60.9	6.1	6.0
6.0	48.0	30.2	0.8	19.5	302.0	42.4	7.1	8.7
8.0	56.0	25.3	0.6	14.5	354.3	52.3	6.5	10.9
9.5	65.5	20.9	0.5	11.2	403.9	49.6	5.2	11.2
6.5	72.0	18.5	0.4	9.0	440.8	36.9	5.7	15.1
8.0	80.0	15.9	0.3	7.8	487.3	46.5	5.8	18.0
9.5	89.5	13.5	0.3	6.1	544.2	56.9	6.0	23.7
6.5	96.0	12.2	0.2	4.8	578.7	34.5	5.3	26.4
8.0	104.0	10.7	0.2	4.4	624.2	45.5	5.7	31.0
10.0	114.0	9.2	0.1	3.6	682.4	58.2	5.8	39.3
6.0	120.0	8.5	0.1	3.0	717.1	34.7	5.8	46.6
8.0	128.0	8.0	0.1	1.4	762.8	45.7	5.7	96.2
24.0	152.0	8.6	0.0	-0.6	894.1	131.3	5.5	-204.6
<hr/>								
DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL								
<hr/>								

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - QUINTA CARGA - MADERA DE LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR HORA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0.0	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	4.0	34.4	0.3	8.4	7.9	7.9	2.0	5.7
8.0	12.0	31.1	0.4	10.0	54.0	46.1	5.8	13.9
10.0	22.0	26.3	0.5	11.5	118.5	64.5	6.5	13.5
6.0	28.0	24.8	0.3	6.1	158.1	39.6	6.6	25.9
8.0	36.0	22.9	0.2	5.6	207.2	49.1	6.1	26.1
10.0	46.0	20.2	0.3	6.3	272.7	65.5	6.6	24.8
6.0	52.0	18.4	0.3	7.3	310.1	37.4	6.2	20.4
8.0	60.0	16.3	0.3	6.4	357.7	47.6	5.9	22.2
10.0	70.0	13.6	0.3	6.4	418.1	60.4	6.0	22.6
6.0	76.0	12.8	0.1	3.1	438.6	20.5	3.4	26.1
8.0	84.0	11.7	0.1	3.2	472.4	33.8	4.2	31.6
10.0	94.0	9.9	0.2	4.4	536.0	63.6	6.4	34.6
6.0	100.0	9.2	0.1	3.0	565.9	29.9	5.0	40.4
8.0	108.0	8.2	0.1	2.9	610.9	45.0	5.6	46.3
8.5	116.5	7.7	0.1	1.4	643.2	32.3	3.8	64.8
7.5	124.0	6.7	0.1	3.1	701.3	58.1	7.7	59.8
8.0	132.0	6.3	0.0	1.2	740.9	39.6	5.0	100.0
24.0	156.0	7.3	0.0	1.0	849.5	108.6	4.5	110.4
<hr/> <p style="text-align: center;">DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL</p> <hr/>								

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - SESTA CARGA - MADERA DE TOPO - VELOCIDAD DEL AIRE: 2.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR HORA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0	86.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.0	6.0	75.2	1.9	45.9	22.8	22.8	3.8	2.0
8.0	14.0	63.0	1.5	36.5	65.4	42.6	5.3	3.5
10.0	24.0	52.3	1.1	25.7	118.6	53.2	5.3	5.0
6.0	30.0	47.6	0.8	18.9	150.8	32.2	5.4	6.8
8.0	38.0	42.6	0.6	15.0	193.0	42.2	5.3	8.4
10.0	48.0	37.3	0.5	12.6	248.2	55.2	5.5	10.5
6.0	54.0	34.4	0.5	11.7	284.2	36.0	6.0	12.3
8.0	62.0	31.3	0.4	9.2	329.4	45.2	5.7	14.7
9.0	71.0	27.3	0.4	10.7	384.3	54.9	6.1	13.7
7.0	78.0	23.9	0.5	11.8	425.9	41.6	5.9	12.1
8.0	86.0	20.9	0.4	8.9	469.4	43.5	5.4	14.6
9.0	95.0	18.1	0.3	7.4	518.7	49.3	5.5	17.9
7.5	102.5	16.2	0.3	6.2	559.8	41.1	5.5	21.4
7.5	110.0	14.6	0.2	5.1	600.9	41.1	5.5	26.0
9.5	119.5	13.0	0.2	4.2	650.8	49.9	5.3	29.8
7.5	127.0	11.9	0.1	3.3	687.8	37.0	4.9	35.4
8.0	135.0	10.9	0.1	3.2	730.2	42.4	5.3	40.3
9.5	144.5	9.9	0.1	2.6	778.6	48.4	5.1	47.7
6.5	151.0	9.2	0.1	2.3	812.6	34.0	5.2	53.5
8.0	159.0	8.5	0.1	2.2	855.4	42.8	5.4	59.4
8.5	167.5	7.8	0.1	2.0	903.4	48.0	5.6	68.4
24.0	191.5	8.4	0.0	-0.6	989.6	86.2	3.6	-153.2
<hr/>								
						DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL		
<hr/>								

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - SETIMA CARGA - MADERA DE TOPO DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 3.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR DIA (%)		CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)	
		HUMEDAD PROMEDIO (%)	PROMEDIO EXTRAIDO POR HORA (%)	HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO (%)	EXTRAIDO (%)				CONSUMO DE ENERGIA (KW)	EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0.0	35.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	2.0	34.4	0.4	8.5	5.3	2.6	5.3	2.6	7.5	7.5
7.5	9.5	30.6	0.5	12.1	44.9	5.3	39.6	5.3	10.5	10.5
9.5	19.0	26.0	0.5	11.5	105.4	6.4	60.5	6.4	13.2	13.2
7.0	26.0	23.9	0.3	7.5	138.9	4.8	33.5	4.8	15.3	15.3
7.5	33.5	21.6	0.3	7.4	184.4	6.1	45.5	6.1	19.8	19.8
10.0	43.5	19.3	0.2	5.4	240.8	5.6	56.4	5.6	24.9	24.9
6.0	49.5	17.7	0.3	6.4	278.6	6.3	37.8	6.3	23.7	23.7
8.0	57.5	16.0	0.2	5.0	324.4	5.7	45.8	5.7	27.7	27.7
9.0	66.5	13.9	0.2	5.8	381.3	6.3	56.9	6.3	26.3	26.3
8.0	74.5	12.1	0.2	5.5	420.3	4.9	39.0	4.9	21.4	21.4
8.0	82.5	10.5	0.2	4.8	457.5	4.7	37.2	4.7	23.1	23.1
8.0	90.5	9.0	0.2	4.3	501.8	5.5	44.3	5.5	30.7	30.7
24.0	114.5	9.5	0.0	-0.5	623.6	5.1	121.8	5.1	-252.0	-252.0
<hr/> <p style="text-align: center;">DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL</p> <hr/>										

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA - SECADO ARTIFICIAL - OCTAVA CARGA - MADERA DE LA BASE DEL ARBOL - VELOCIDAD DE AIRE: 2.5 M/S.

TIEMPO PARCIAL (HORAS)	TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO POR DIA (%)		CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	VARIACION CONSUMO DE ENERGIA (KWH)	CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE ENERGIA POR CONTENIDO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)	
		HUMEDAD PROMEDIO (%)	PROMEDIO EXTRAIDO POR HORA (%)	HUMEDAD PROMEDIO EXTRAIDO POR DIA (%)	CONSUMO DE ENERGIA (KWH)				CONSUMO DE ENERGIA POR HORA (KW)	CONSUMO DE HUMEDAD EXTRAIDO (KW/%)
0.0	0.0	35.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.5	8.5	34.7	0.1	3.2	33.1	33.1	33.1	3.9	29.2	29.2
9.5	18.0	31.3	0.4	8.6	97.3	64.2	64.2	6.8	18.8	18.8
6.5	24.5	29.3	0.3	7.6	140.4	43.1	43.1	6.6	20.9	20.9
8.0	32.5	26.4	0.4	8.6	197.3	56.9	56.9	7.1	19.8	19.8
10.5	43.0	23.2	0.3	7.2	265.7	68.4	68.4	6.5	21.7	21.7
5.5	48.5	21.6	0.3	7.0	302.6	36.9	36.9	6.7	22.9	22.9
8.0	56.5	19.4	0.3	6.6	353.5	50.9	50.9	6.4	23.0	23.0
8.0	64.5	17.6	0.2	5.3	397.4	43.9	43.9	5.5	24.6	24.6
8.5	73.0	16.0	0.2	4.6	443.0	45.6	45.6	5.4	27.9	27.9
7.5	80.5	14.6	0.2	4.4	483.3	40.3	40.3	5.4	29.6	29.6
8.0	88.5	13.3	0.2	3.9	524.6	41.3	41.3	5.2	32.0	32.0
8.0	96.5	12.1	0.2	3.8	572.8	48.2	48.2	6.0	38.0	38.0
7.5	104.0	11.0	0.1	3.5	619.1	46.3	46.3	6.2	42.9	42.9
9.5	113.5	9.9	0.1	2.7	673.5	54.4	54.4	5.7	51.1	51.1
6.5	120.0	9.3	0.1	2.4	711.1	37.6	37.6	5.8	59.0	59.0
8.0	128.0	8.6	0.1	2.0	757.0	45.9	45.9	5.7	69.1	69.1
24.0	152.0	9.2	0.0	-0.6	918.9	161.9	161.9	6.7	-262.7	-262.7

===== DURACION DE LAS ETAPAS DE ACONDICIONADO INICIAL - SECADO PROPIAMENTE DICHO - IGUALACION - ACONDICIONADO FINAL

FUENTE: El autor (2019).

CONSUMO DE ENERGIA EN SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA DE
Tectona grandis de 33 años DEL PERÚ.

Carga (*)	Humedad inicial (%)	Humedad Final (%)	Humedad extraída (%Hex)	Tipo de agua extraída	Consumo de energía	
					(kW h m ⁻³) (**)	(kW h m ⁻³ / %Hex)
1 BH1-V1	95,1	30,0	65,1	Libre	1675,60	25,7
	30	7,9	22,1	Ligada	3483,20	157,6
	95,1	7,9	87,2	Total	5158,80	59,2
6 TH1-V1	86,7	30,0	56,7	Libre	1390,40	24,5
	30	8,4	21,6	Ligada	2568,00	118,9
	86,7	8,4	78,3	Total	3958,40	50,6
4 BH1-V2	103,0	30,0	73,0	Libre	1215,20	16,6
	30,0	8,6	21,4	Ligada	2361,08	110,3
	103,0	8,6	94,4	Total	3576,40	37,9
2 TH1-V2	96,9	30,0	66,9	Libre	1214,40	18,2
	30,0	8,0	22,0	Ligada	2434,00	110,6
	96,9	8,0	88,9	Total	3648,40	41,0
CONSUMO DE ENERGIA PROMEDIO POR EXTRACCION DEL AGUA LIBRE						21,3
8 BH2-V1	30,0	9,2	20,8	Ligada	3175,20	152,7
	35,9	9,2	26,7	Total	3675,60	137,7
3 TH2-V1	30,0	7,0	23,0	Ligada	3016,40	131,1
	36,5	7,0	29,5	Total	3430,20	116,3
5 BH2-V2	30,0	7,3	22,7	Ligada	3123,60	137,6
	35,8	7,3	28,5	Total	3398,00	119,2
7 TH2-V2	30,0	9,5	20,5	Ligada	2282,40	111,3
	35,1	9,5	25,6	Total	2494,40	97,4
CONSUMO DE ENERGIA PROMEDIO POR EXTRACCION DEL AGUA LIGADA						129,9

(*) B: base; T: Topo; V1: 2,5 m s⁻¹; V2: 3,5 m s⁻¹; H1: Humedad verde; H2: Humedad PSF
kW h m⁻³: Kilowatt-hora por m⁻³; kW h m⁻³/ %Hex: Energía por porcentaje de humedad extraída.

ANOVA Y PRUEBA DE TUCKEY DEL CONSUMO DE ENERGIA POR EL SECADO ARTIFICIAL DE OCHO CARGAS DE MADERA .

La prueba ANOVA muestra que el consumo de energía total del agua libre es significativamente menor al del agua total y al agua higroscópica con un 95% de confianza (F=18,74; p-valor=5x10⁻⁵).

Analysis of Variance Table					
Response: consumo					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tipo agua	2	999126	499563	18.74	5.021e-05 ***
Residuals	17	453181	26658		

Signif. codes:					
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Consumo groups			
TOTAL	916.8813	a	
HIGROSCOPICA	797.7188	a	
LIBRE	314.6425	b	

ANOVA: CONSUMO DE ENERGÍA AGUA LIBRE – VELOCIDAD DE AIRE.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Velocidad de aire	1	59.290	59.290	59.29	0.016
Error	2	2.000	1.000		
Total	3	61.290			

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY.

Velocidad de aire			
de aire	N	Media	Agrupación
V1	2	25.100	A
V2	2	17.400	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

ANOVA: CONSUMO DE ENERGÍA AGUA HIGROSCÓPICA – VELOCIDAD DE AIRE.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Velocidad de aire	1	772.8	772.8	2.06	0.287
Error	2	748.9	374.4		
Total	3	1521.7			

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY.

Velocidad de aire			
de aire	N	Media	Agrupación
V1	2	138.3	A
V2	2	110.450	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANÁLISIS DE VARIANZA BASE TOPO EN MADERA VERDE.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Altura	1	0.0400	0.0400	0.00	0.974
Error	2	61.2500	30.6250		
Total	3	61.2900			

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY.

Altura			
N	Media	Agrupación	
Topo	2	21.35	A
Base	2	21.15	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza individual = 95.00%

ANÁLISIS DE VARIANZA BASE TOPO EN MADERA PSF.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Altura	1	368.6	368.6	0.64	0.508
Error	2	1153.1	576.5		
Total	3	1521.7			

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY

Altura	N	Media	Agrupación
Base	2	133.9	A
Topo	2	114.75	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza individual = 95.00%

ANOVA: CONSUMO DE ENERGÍA AGUA TOTAL CARGAS CON HUMEDAD VERDE Y PSF.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Humedad inicial	1	1397625	1397625	3.46	0.112
Error	6	2424808	404135		
Total	7	3822433			

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY.

Humedad inicial	N	Media	Agrupación
Verde	4	4086	A
PSF	4	3250	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza individual = 95.00%

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 14: HUMEDAD FINAL DE LA MADERA DE TECA.

Cargas de Madera	Muestras de control del lote					Promedio
	1	2	3	4	5	
	% Contenido de humedad final estimado					
	% Contenido de humedad final de cinco tablas de la carga de madera					
3TH2-V1	10.1	5.9	7.6	6.4	5.1	7.0
	7.1	9.4	7.1	10.1	8.7	8.5
5BH2-V2	6.3	5.4	5.3	9.4	10.2	7.3
	7.9	9.6	8.6	12.7	11.9	10.1
7TH2-V2	9.7	9.6	9.2	9.3	9.7	9.5
	10.7	9.0	8.6	8.6	9.2	9.2
8BH2-V1	10.2	8.5	8.9	10.2	8.5	9.3
	7.4	7.7	8.3	10.6	8.2	8.4
Promedio						8.3
						9.1
1BH1-V1	9.7	8.8	7.0	10.1	3.9	7.9
	5.7	7.9	6.9	10.0	6.9	7.5
2TH1-V2	5.6	8.6	6.7	9.9	9.3	8.0
	9.5	9.7	11.1	10.8	12.2	10.7
4BH1-V2	9.6	7.8	9.2	8.5	8.2	8.7
	9.6	9.2	10.2	9.3	9.4	9.5
6TH1-V1	8.8	6.8	6.5	9.7	10.0	8.4
	6.6	6.7	9.6	8.5	7.1	7.7
Promedio						8.2
						8.8

➤ **Estadísticas descriptivas: ms; mc.**

Variable	N	Media	CoefVar	Mínimo	Máximo
ms	8	8,950	12,61	7,500	10,700
mc	8	8,262	10,77	7,000	9,500

➤ **PRUEBA DE T-STUDENT DEL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL DE LAS TABLAS SECADAS CON EL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL ESTIMADO DE LAS MUESTRAS DE CONTROL.**

Se tiene como objetivo comparar el contenido de humedad de las tablas secas vs el contenido de humedad de las muestras de control. Para ello se empleó una prueba de T-Student. Dicha prueba muestra que con un nivel de confianza de 95% no existen diferencias estadísticas significativas.

```
Two Sample t-test
data: df$final_control and df$final_muestra
t = -1.8728, df = 78, p-value = 0.06484
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-1.44927479 0.04427479
sample estimates:
mean of x mean of y
8.2550 8.9575
```

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 15: GRADIENTE DE HUMEDAD - MADERA DE TECA

- GRADIENTE DE HUMEDAD DE CUATRO LOTES DE MADERA DE BASE, HUMEDAD INICIAL DE MADERA VERDE AL 10 % .

1BH 2.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1B1	8.0	10.9	7.4	2.8	3.5
1B2	7.3	9.7	7.8	2.4	1.9
2B1	8.5	9.8	8.6	1.3	1.2
3B1	8.0	11.0	7.3	3.0	3.7
4B1	7.6	10.1	8.0	2.5	2.2
5B1	8.3	11.9	7.6	3.5	4.2
PROMEDIO				2.6	2.8

2CH3.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1T1	10.0	10.3	9.8	0.3	0.5
1T2	9.2	9.8	8.7	0.6	1.1
2T	9.5	14.4	11.0	4.9	3.4
3T	9.5	12.8	9.6	3.3	3.2
4T	9.9	12.8	9.2	2.9	3.6
5T	10.8	14.2	11.3	3.4	2.8
PROMEDIO				2.6	2.4

4BH3.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1B	10.3	15.6	11.3	5.4	4.3
2B1	9.4	9.9	8.2	0.5	1.6
2B2	7.3	10.3	8.0	3.0	2.4
3B1	8.7	11.0	9.4	2.4	1.7
3B2	8.7	10.6	8.0	1.9	2.6
5B	9.8	9.9	9.6	0.1	0.3
PROMEDIO				2.2	2.1

6CH2.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1T	4.9	7.4	6.1	2.6	1.3
2T	6.5	8.3	7.0	1.8	1.3
3T1	7.7	11.2	9.6	3.5	1.6
3T2	7.4	9.0	7.2	1.6	1.8
3T3	8.7	12.0	9.3	3.2	2.7
4T	6.3	8.7	7.8	2.5	0.9
PROMEDIO				2.5	1.6

FUENTE: El autor (2019).

- GRADIENTE DE HUMEDAD DE CUATRO LOTES DE MADERA DE TOPO, HUMEDAD INICIAL DEL PSF AL 10 %.

3CO2.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
5T1	6.9	7.2	7.1	0.3	0.1
4T	8.3	9.8	9.2	1.5	0.6
2T	7.7	8.8	7.5	1.1	1.3
3T	9.2	10.8	9.8	1.6	1.1
1T	7.9	9.0	8.7	1.1	0.4
5T2	8.4	8.8	8.3	0.4	0.5
PROMEDIO				1.0	0.7
5BO3.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1B	7.3	8.5	7.8	1.2	0.7
2B1	8.3	10.6	8.4	2.3	2.2
2B2	8.3	9.5	8.6	1.2	0.9
3B	9.7	14.3	10.1	4.6	4.2
4B	9.8	13.4	10.2	3.5	3.2
5B	9.8	15.8	11.4	6.0	4.4
PROMEDIO				3.1	2.6
7CO3.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1T	9.4	11.7	9.0	2.3	2.7
2T	8.3	9.1	8.9	0.8	0.2
3T	8.0	8.3	8.0	0.3	0.3
4T1	7.6	8.8	8.0	1.2	0.8
4T2	8.4	9.3	8.9	0.9	0.5
5T	9.0	9.7	8.6	0.8	1.1
PROMEDIO				1.1	0.9
8BO2.5	SUPERFICIE S1	CENTRO Ce	SUPERFICIE S2	GRADIENTE DE HUMEDAD	
	%CH	%CH	%CH	G1	G2
1B	6.7	7.0	6.9	0.2	0.1
2B1	7.2	7.8	7.7	0.5	0.1
2B2	8.5	8.6	8.5	0.1	0.1
3B	9.7	11.9	8.5	2.2	3.4
4B	7.6	7.8	7.6	0.2	0.2
5B	13.0	13.4	3.3	0.3	10.1
PROMEDIO				0.6	2.3

FUENTE: El autor (2019).

- ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL GRADIENTE DE HUMEDAD DE OCHO LOTES DE MADERA SECADOS ARTIFICIALMENTE EN TRES CONDICIONES DE ESTUDIO .

ALTURA	NIVEL DE HUMEDAD	Vel	GRADIENTE (1)				CENTRO (Ce)				GRADIENTE (2)			
			%CH Prom	CV	min	Max	%CH Prom	CV	min	Max	%CH Prom	CV	min	Max
(B) <3.5m	Húmeda	2,5	8.0	5.5	7.3	8.5	10.6	8.1	9.7	11.9	7.8	6.1	7.3	8.6
		3,5	9.0	11.6	7.3	10.3	11.2	19.5	9.9	15.6	9.1	14.3	8.0	11.3
	PSF	2,5	8.8	26.4	6.7	13.0	9.4	27.6	7.0	13.4	7.1	27.5	3.3	8.5
		3,5	8.9	11.9	7.3	9.8	12.0	24.2	8.5	15.8	9.4	14.5	7.8	11.4
(T) >3.5m	Húmeda	2,5	6.9	19.0	4.9	8.7	9.4	18.9	7.4	12.0	7.8	17.5	6.1	9.6
		3,5	9.8	5.7	9.2	10.8	12.4	15.6	9.8	14.4	9.9	10.3	8.7	11.3
	PSF	2,5	8.1	9.6	6.9	9.2	9.1	13.2	7.2	10.8	8.4	12.1	7.1	9.8
		3,5	8.5	7.8	7.6	9.4	9.5	12.5	8.3	11.7	8.6	5.4	8.0	9.0

FUENTE: El autor (2019).

- ANOVA Y PRUEBA DE TUCKEY DEL GRADIENTE DE HUMEDAD DE OCHO LOTES DE MADERA SECADOS EN TRES CONDICIONES DE ESTUDIO AL 10 %.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA GRADIENTE (G1).

Debido al incumplimiento de supuestos para el modelo, se empleó una transformación raíz cuadrada según lo sugerido por la prueba de Box y Cox. De ello se obtuvo que la normalidad y la homocedasticidad se cumplen para la aplicación del ANOVA

Shapiro-Wilk normality test

```
data: ri
W = 0.98824, p-value = 0.908

> ncvTest(mod)
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.6629751, Df = 1, p = 0.41551
```

Analysis of Variance Table

```
Response: G1^0.5

      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Posición en el árbol      1  0.0568  0.05678   0.2573  0.614739
Condición de humedad      1  2.1364  2.13644   9.6835  0.003425 **
velocidad del viento      1  0.3769  0.37688   1.7082  0.198683
posicion:condicion        1  0.2217  0.22171   1.0049  0.322151
posicion:velocidad        1  0.5450  0.54497   2.4701  0.123910
condicion:velocidad       1  1.4890  1.48898   6.7488  0.013068 *
posicion:condicion:velocidad 1  1.0424  1.04237   4.7246  0.035712 *
Residuals                 40  8.8251  0.22063
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

PRUEBA DE TUCKEY.

posicion	condicion	velocidad	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Base	Oreada	2,5	0.658	0.192	40	0.106	1.21	a
Topo	Oreada	2,5	0.961	0.192	40	0.409	1.51	ab
Topo	Oreada	3,5	0.983	0.192	40	0.431	1.53	ab
Base	Húmeda	3,5	1.334	0.192	40	0.783	1.89	ab
Topo	Húmeda	3,5	1.483	0.192	40	0.931	2.04	ab
Topo	Húmeda	2,5	1.577	0.192	40	1.025	2.13	b
Base	Húmeda	2,5	1.591	0.192	40	1.039	2.14	b
Base	Oreada	3,5	1.695	0.192	40	1.144	2.25	b

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 8 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 8 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANALISIS ESTADISTICO DE LA GRADIENTE (G2).

Por otro lado, al analizar G2, se cambió el último dato y se hizo una imputación por los k-vecinos más cercanos. Tras ello se dio el cumplimiento de normalidad de los errores y homocedasticidad.

Shapiro-Wilk normality test

data: ri

W = 0.97217, p-value = 0.307

```
> ncvTest(mod)
```

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values

Chisquare = 1.806842, Df = 1, p = 0.17889

El ANOVA por lo tanto resulta en: Response: G2.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
posicion	1	7.285	7.2852	4.9651	0.03155 *
condicion	1	9.452	9.4519	6.4417	0.01515 *
velocidad	1	2.567	2.5669	1.7494	0.19347
posicion:condicion	1	1.300	1.3002	0.8861	0.35218
posicion:velocidad	1	0.092	0.0919	0.0626	0.80369
condicion:velocidad	1	1.577	1.5769	1.0747	0.30612
posicion:condicion:velocidad	1	5.005	5.0052	3.4112	0.07216 .
Residuals	40	58.692	1.4673		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Prueba de tukey para condición y posición independientemente (paquete 'agricolae'):

```
$groups
```

```
      G2 groups
Base 2.187500    a
Topó 1.408333    b
```

```
$groups
```

```
      G2 groups
Húmeda 2.241667    a
Oreada 1.354167    b
```

FUENTE: El autor (2019).

APENDICE 16: DEFECTOS DE ALABEO DE LA MADERA DE TECA.
 ➤ DEFECTOS DE SECADO DE MADERA DE BASE, PRIMERA CARGA, VELOCIDAD DEL AIRE DE 2.5 M/S.

1BH2.5		ACANALADO				COMBADO				CURVADO			
#	CODIGO	FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)
1	3B	2,27	17,25	1,32									
2	3B	1,56	10,35	1,51									
3	3B	4,48	17,90	2,50	RECHAZO	3,05	100,00	0,31					
4	3B	1,59	21,65	0,73									
5	3B	2,58	12,50	2,06	RECHAZO								
6	3B	2,62	17,50	1,50									
7	3B	1,30	12,00	1,08									
8	1B	1,54	14,80	1,04									
9	1B	3,77	17,50	2,15	RECHAZO								
10	1B	3,44	22,40	1,54									
11	2B	1,59	17,60	0,90									
12	2B	2,76	15,40	1,79									
13	2B	2,46	15,45	1,59									
14	2B	3,11	19,70	1,58									
15	2B	3,20	19,90	1,61									
16	5B	1,22	15,45	0,79									
17	5B	1,96	14,90	1,32									
18	5B	1,60	11,20	1,43									
19	4B	2,40	17,40	1,38									
20	4B	1,55	18,00	0,86									
21	4B	3,03	17,55	1,73									
22	4B	3,16	18,20	1,74									
23	4B	1,84	18,00	1,02									
24	5B					2,19	100,00	0,22					
25	5B					4,35	100,00	0,44					
26	5B	1,44	10,20	1,41		2,89	100,00	0,29					
27	5B					2,53	100,00	0,25					
28	4B	0,86	10,50	0,82		1,91	100,00	0,19					
29	4B	1,05	10,20	1,03		5,46	100,00	0,55					
30	3B					2,70	100,00	0,27					
31	2B	3,41	19,75	1,73		3,69	100,00	0,37					
32	2B					3,87	100,00	0,39					
33	1B					1,84	100,00	0,18					
34	1B					2,09	100,00	0,21					
35	3B	2,76	12,10	2,28	RECHAZO					5,23	100,00	0,52	
36	3B					2,30	100,00	0,23		3,32	100,00	0,33	
37	4B					3,34	100,00	0,33					

FUENTE: El autor (2019).

➤ DEFECTOS DE SECADO DE MADERA DE TOPO, SEGUNDA CARGA, VELOCIDAD DEL AIRE DE 3.5 M/S.

2CH3.5		ACANALADO				COMBADO				CURVADO			
#	CODIGO	FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)
1	1C	2,88	15,45	1,86		6,49	100	0,649					
2	3C	3,05	11,60	2,63	RECHAZO	1,63	100	0,163					
3	3C	1,39	9,80	1,42		3,94	100	0,394					
4	3C	2,47	11,65	2,12	RECHAZO	2,01	100	0,201					
5	1C	2,35	15,40	1,53		2,4	100	0,240					
6	1C	1,14	15,60	0,73		1,74	100	0,174					
7	1C	2,02	15,45	1,31		2,4	100	0,240					
8	1C	2,06	15,45	1,33		2,35	100	0,235					
9	1C	2,03	15,45	1,31									
10	1C	1,47	15,30	0,96		5,15	100	0,515					
11	3C	1,33	11,50	1,16		2,21	100	0,221					
12	1C	1,08	12,25	0,88									
13	1C	1	12,55	0,80									
14	3C	0,91	11,15	0,82									
15	1C	1,36	15,65	0,87		2,22	100	0,222					
16	3C	2,15	11,55	1,86									
17	1C	1,13	15,50	0,73									
18	1C	1,95	15,15	1,29									
19	3C	2,53	11,05	2,29	RECHAZO								
20	5C					2,58	100	0,258					
21	5C					2,09	100	0,209					
22	1C	1,26	15,30	0,82		3,23	100	0,323					
23	2C					2,52	100	0,252					
24	4C					3,15	100	0,315					
25	2C					2,2	100	0,22					
26	4C					2,61	100	0,261					
27	1C	1,43	15,50	0,92		2,57	100	0,257					
28	4C					4,59	100	0,459					
29	3C					4,92	100	0,492					
30	5C					2,7	100	0,27					
31	3C	1,04	11,15	0,93		4,29	100	0,429					

FUENTE: El autor (2019).

➤ DEFECTOS DE SECADO DE MADERA DE BASE, CUARTA CARGA, VELOCIDAD DEL VIENTO DE 3.5 M/S.

#	CODIGO	ACANALADO			COMBADO			CURVADO				
		FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%
1	2B	5,23	15,00	3,49	SE RECHAZA							
2	1B	9,15	15,00	6,10	SE RECHAZA							
3	2B	0,62	10,00	0,62								
4	4B	3,43	14,80	2,32	SE RECHAZA							
5	1B	2,29	15,80	1,45								
6	1B	0,99	15,40	0,64								
7	3B	1,17	14,10	0,83								
8	3B	0,05	14,20	0,04								
9	1B	2,16	15,50	1,39								
10	4B	0,16	14,80	0,11								
11	4B	2,84	14,70	1,93								
12	2B	3,98	14,70	1,02								
13	3B	1,5	14,50	1,61								
14	3B	2,34	14,40	1,17								
15	2B	1,68	15,00	2,22	SE RECHAZA							
16	1B	3,33	15,50	1,28								
17	4B	1,98	15,00	1,33								
18	1B	2	14,20	1,36								
19	4B	1,93	14,80	0,47								
20	2B	0,7	15,30	1,25								
21	2B	1,91	14,00	1,36								
22	4B	1,14	15,00	0,76								
23	2B	2,48	15,70	1,58								
24	3B	2,23	14,20	1,57								
25	2B	1	15,50	0,65								
26	1B	1,48	15,80	0,94								
27	1B	1	15,90	0,63								
28	4B	1,83	14,80	1,24								
29	2B	1,49	15,40	0,97								
30	1B	3,44	15,30	2,25	SE RECHAZA							
31	2B	1,2	15,10	0,79								
32	3B	2,35	13,90	1,69								
33	2B	3,72	15,20	2,45	SE RECHAZA							
34	3B	1,7	14,20	1,20								
35	1B	1,18	11,80	1,00								
36	4B	2,44	15,00	1,63								
37	5B								3,62	100	0,36	
38	2B	2,15	16,90	1,27					4,7	100	0,47	
39	3B	1,04	14,20	0,73					1,58	100	0,16	
40	1B	2,18	12,10	1,80					1,76	100	0,18	
										100		0,18
									1,77			

FUENTE: El autor (2019).

➤ DEFECTOS DE SECADO, TABLAS DE BASE, SECADO ARTIFICIAL, QUINTA CARGA, VELOCIDAD DE AIRE DE 3.5 M/S.

5BH3.5		ACANALADO				COMBADO				CURVADO			
#	CODIGO	FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)
1	1B					2,5	100	0,25					
2	5B	0,91	13,50	0,67						2,38	100	0,238	
3	3B												
4	2B	1,4	10,50	1,33									
5	4B												
6	2B	1,02	17,70	0,58		1,32	100	0,13					
7	2B	1,03	10,60	0,97		1,72	100	0,17					
8	3B	2,63	10,20	2,58		2,01	100	0,20					
9	3B	1,07	10,70	1,00	SE RECHAZA	1,32	100	0,13					
10	2B	1,27	17,60	0,72									
11	1B	1,19	10,70	1,11									
12	3B	1,28	10,60	1,21									
13	2B	1,45	10,40	1,39									
14	2B					1,34	100	0,13		1,9	100	0,19	
15	3B	1,85	11,00	1,68						2,6	100	0,26	
16	3B	0,86	10,70	0,80									
17	2B	1,11	17,30	0,64									
18	1B	1,45	16,20	0,90									
19	2B	0,73	17,70	0,41									
20	1B	0,99	16,40	0,60									
21	1B	0,9	16,50	0,55		2,63	100	0,26					
22	1B	1,19	16,50	0,72									
23	3B	2,26	10,50	2,15	SE RECHAZA								
24	4B					0,83	100	0,08					
25	1B	1,57	16,50	0,95									
26	2B	1,98	17,30	1,14									
27	4B												
28	1B	1,34	16,60	0,81		1,68	100	0,17					
29	1B	0,62	15,00	0,41		2,5	100	0,25					
30	4B	1,57	14,20	1,11		1,93	100	0,19					
31	5B					1,49	100	0,15					
32	1B	1,59	16,50	0,96									
33	1B	0,99	16,20	0,61									
34	3B	1,95	10,60	1,84									
35	3B	0,99	10,90	0,91									
36	2B					1,73	100	0,17					
37	3B	1,28	9,80	1,31									
38	3B					1,14	100	0,11					
39	4B					1,24	100	0,12					

FUENTE: El autor (2019).

➤ DEFECTOS DE SECADO DE TABLAS DE TOPO, SESTA CARGA, VELOCIDAD DEL AIRE DE 2.5 M/S.

6CH2.5		ACANALADO				COMBADO				CURVADO			
#	CODIGO	FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	SEGUN NTP 251.114 (2016)		FLECHA (mm)	LARGO (cm)	SEGUN NTP 251.114 (2016)		FLECHA (mm)	LARGO (cm)	SEGUN NTP 251.114 (2016)	
				%				%				%	
1	1C	1,9	11,50	1,65		1,58	100			1,58	100		
2	2C					2,15	100			2,15	100		
3	2C	1,7	13,00	1,31		1,89	100			1,89	100		
4	2C	1,29	12,90	1,00		1,99	100			1,99	100		
5	2C	1,4	12,80	1,09		2,48	100			2,48	100		
6	2C	1,15	13,00	0,88		1,44	100			1,44	100		
7	2C	1,45	13,20	1,10		1,81	100			1,81	100		
8	1C					2,15	100			2,15	100		
9	2C	2,27	12,90	1,76		2,6	100			2,6	100		
10	1C	1,57	11,90	1,32		2,77	100			2,77	100		
11	1C	0,82	11,60	0,71		1,45	100			1,45	100		
12	1C	0,7	11,60	0,60		1,55	100			1,55	100		
13	2C	1,31	13,00	1,01		2,65	100			2,65	100		
14	2C	1,59	13,00	1,22		2,27	100			2,27	100		
15	2C	2	13,00	1,54		1,35	100			1,35	100		
16	2C	1,42	12,60	1,13		1,81	100			1,81	100		
17	2C					1,74	100			1,74	100		
18	2C					1,25	100			1,25	100		
19	1C	0,67	10,70	0,63		1,82	100			1,82	100		
20	3C	1,18	10,20	1,16		0,9	100			0,9	100		
21	3C	0,85	9,50	0,89		1,91	100			1,91	100		
22	4C	1,43	10,60	1,35		1,41	100			1,41	100		
23	4C	1,09	10,60	1,03		2,19	100			2,19	100		
24	4C	0,86	10,60	0,81		2,43	100			2,43	100		
25	4C	0,65	10,30	0,63		2,12	100			2,12	100		
26	1C					2,78	100			2,78	100		
27	1C					1,66	100			1,66	100		
28	1C	1,13	12,00	0,94		2,83	100			2,83	100		
29	1C					3,25	100			3,25	100		
30	1C	1,06	12,30	0,86		2,26	100			2,26	100		

FUENTE: El autor (2019).

➤ DEFECTOS DE SECADO, TABLAS DE TOPO, SECADO ARTIFICIAL, SETIMA CARGA, VELOCIDAD DE AIRE DE 3.5 M/S.

7CSN3.5		ACANALADO				COMBADO				CURVADO			
#	CODIGO	FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)
1	1C	1,84	12,20	1,51		3,4	100	0,34					
2	2C	1,35	15,30	0,88									
3	5C	1,55	13,30	1,17		1,85	100	0,19					
4	3C					1,57	100	0,16					
5	5C	1,56	13,10	1,19									
6	1C	1,24	13,70	0,91		2,16	100	0,22					
7	4C	1,67	12,90	1,29		3,29	100	0,33					
8	2C	1,95	15,40	1,27									
9	4C					2,39	100	0,24					
10	2C	1,62	15,00	1,08									
11	5C	1,29	13,40	0,96		3,87	100	0,39					
12	2C	1,48	15,40	0,96		3,09	100	0,31					
13	2C	1,14	15,30	0,75		1,65	100	0,17					
14	4C	0,72	13,00	0,55		2,96	100	0,30					
15	2C	1,48	15,40	0,96		1,35	100	0,14					
16	2C					1,14	100	0,11					
17	4C					0,73	100	0,07					
18	5C	1,2	9,90	1,21		2,44	100	0,24					
19	2C	1,24	15,50	0,80		2,27	100	0,23					
20	2C					2,34	100	0,23					
21	3C					2,41	100	0,24					
22	4C					1,09	100	0,11					
23	1C	4,69	17,20	2,73	SE RECHAZA								
24	1C	2	13,60	1,47									
25	5C	1,07	13,40	0,80		1,74	100	0,17					
26	5C					2,66	100	0,27					
27	3C					1,77	100	0,18					
28	2C	1,28	15,20	0,84									
29	4C									2,19	100	0,219	
30	1C	0,96	13,60	0,71						1,49	100	0,149	
31	1C												
32	1C	1,62	13,60	1,19									
33	2C	1,26	15,50	0,81		2,08	100	0,21					
34	4C	0,96	12,80	0,75		5,21	100	0,52					
35	3C					1,92	100	0,19					
36	2C	1,39	15,70	0,89									
37	5C					2,64	100	0,26					
38	5C					2,69	100	0,27					
39	2C	1,44	15,60	0,92									

FUENTE: El autor (2019).

➤ DEFECTOS DE SECADO, TABLAS DE BASE(A), SECADO ARTIFICIAL, OCTAVA CARGA, VELOCIDAD DEL AIRE DE 2.5 M/S.

8BSN2.5		ACANALADO				COMBADO				CURVADO			
#	CODIGO	FLECHA (mm)	ANCHO (CM)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)	FLECHA (mm)	LARGO (cm)	%	SEGUN NTP 251.114 (2016)
1	5A					3,03	100	0,303					
2	3A	0,86	9,9	0,87									
3	3A					3,51	100	0,351					
4	5A					1,54	100	0,154					
5	5A	1,5	14	1,07									
6	3A	1,49	13	1,15									
7	4A	1,2	12,8	0,94									
8	3A	2,16	12,8	1,69		4,04	100	0,404					
9	5A	1,96	14,3	1,37		2,19	100	0,219					
10	3A	1,39	12,8	1,09		2,86	100	0,286					
11	3A	1,34	12,75	1,05		1,25	100	0,125					
12	4A	1,47	12,9	1,14									
13	3A	1,02	12,9	0,79		2,33	100	0,233					
14	5A	1,83	13,9	1,32		2,08	100	0,208					
15	2A	1,22	13	0,94		2,13	100	0,213					
16	4A					1,57	100	0,157					
17	2A	1,67	12,9	1,29		1,81	100	0,181					
18	4A	1,11	12,8	0,87									
19	2A	0,95	12,5	0,76									
20	5A	1,35	14,2	0,95		3,39	100	0,339					
21	2A	1,42	13	1,09									
22	1A												
23	1A					2,31	100	0,231					
24	1A					2,53	100	0,253					
25	1A	1,11	13,2	0,84		1,67	100	0,167					
26	2A	1,2	12,9	0,93									
27	2A	1,1	13	0,85		1,94	100	0,194					
28	1A	1,16	13,2	0,88		1,62	100	0,162					
29	1A					1,45	100	0,145					
30	2A					2,13	100	0,213					

FUENTE: El autor (2019).

- PORCENTAJE PROMEDIO DE ALABEO DE LA TECA EN SECADO ARTIFICIAL EN BASE A LAS TRES VARIABLES DE ESTUDIO.

DEFECTOS DE SECADO																
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL PROMEDIO	35%						HUMEDAD MAYOR A 80%									
	2,5			3,5			2,5			3,5						
VELOCIDAD DE SECADO m/s																
CARGA #																
EVALUACION DE DEFECTOS	C8 BASE		C3 TOPO		C5 BASE		C7 TOPO		C1 BASE		C2 TOPO		C4 BASE		C6 TOPO	
	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%
TOTAL MADERAS	60		60		60		60		60		60		60		60	
MADERA SIN ALABEOS	30	50,0	12	20,0	21	35,0	23	38,3	29	48,3	20	33,3	30	50,0	30	50,0
TOTAL DE MADERAS ALABEADAS	30	50,0	48	80,0	39	65,0	37	61,7	31	51,7	40	66,7	30	50,0	30	50,0
MADERA SOLO ACANALADA	9	15,0	22	36,7	22	36,7	11	18,3	7	11,7	35	58,3	0	0,0	0	0,0
MADERA RECHAZADA SEGUN NORMA	0	0,0	0	0,0	2	3,3	1	1,7	5	8,3	3	5,0	6	10,0	0	0,0
MADERA ACEPTADA SEGUN NORMA	60	100,0	60	100,0	58	96,7	99	98,3	55	91,7	57	95,0	54	90,0	60	100,0

FUENTE: El autor (2019).

- ANOVA DE LOS PORCENTAJES DE ALABEOS CON RELACIÓN A LAS TRES VARIABLES DEL ESTUDIO.

1.- ANOVA: Madera con Alabeos vs. Velocidad de aire.
Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se *presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Información del factor

Factor Niveles Valores

V 2 V1; V2

Análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
V	1	1,386	1,386	0,01	0,920
Error	6	752,756	125,459		
Total	7	754,142			

Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
11,2009	0,18%	0,00%	0,00%

Medias

V	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
V1	4	60,84	13,78	(47,13; 74,54)
V2	4	61,67	7,82	(47,96; 75,37)

Desv.Est. agrupada = 11,2009

Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95%.

V	N	Media	Agrupación
V2	4	61,67	A
V1	4	60,84	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
V2 - V1	0,83	7,92	(-18,55; 20,21)	0,11	0,920

Nivel de confianza individual = 95,00%

Comparaciones en parejas de Fisher.**Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%.**

V	N	Media	Agrupación
V2	4	61,67	A
V1	4	60,84	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes..

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
V2 - V1	0,83	7,92	(-18,55; 20,21)	0,11	0,920

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

ANOVA: Madera con Rechazo vs. Velocidad de aire.**Método**

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
V	2	V1; V2

Análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
V	1	0,349	0,3486	0,02	0,894
Error	6	107,594	17,9324		
Total	7	107,943			

Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4,23467	0,32%	0,00%	0,00%

Medias

V	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
V1	4	3,33	4,08	(-1,85; 8,51)
V2	4	3,75	4,38	(-1,43; 8,93)

Desv.Est. agrupada = 4,23467

Comparaciones en parejas de Tukey.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

V	N	Media	Agrupación
V2	4	3,75	A
V1	4	3,33	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
V2 - V1	0,42	2,99	(-6,91; 7,74)	0,14	0,894

Nivel de confianza individual = 95,00%

Comparaciones en parejas de Fisher.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%.

V	N	Media	Agrupación
V2	4	3,75	A
V1	4	3,33	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
V2 - V1	0,42	2,99	(-6,91; 7,74)	0,14	0,894

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

2.- ANOVA: Madera con Alabeos vs. Humedad inicial.**Método**

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
Humedad	2	H1; H2

Análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Humedad	1	112,4	112,4	1,05	0,345
Error	6	641,7	107,0		
Total	7	754,1			

Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
10,3418	14,91%	0,73%	0,00%

Medias

Humedad	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
H1	4	57,50	7,99	(44,85; 70,16)
H2	4	65,00	12,25	(52,35; 77,65)

Desv.Est. agrupada = 10,3418

Comparaciones en parejas de Tukey.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Humedad	N	Media	Agrupación
H2	4	65,00	A
H1	4	57,50	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
H2 - H1	7,50	7,31	(-10,40; 25,39)	1,03	0,345

Nivel de confianza individual = 95,00%

Comparaciones en parejas de Fisher.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%.

Humedad	N	Media	Agrupación
H2	4	65,00	A
H1	4	57,50	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
H2 - H1	7,50	7,31	(-10,40; 25,39)	1,03	0,345

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

ANOVA: Madera con rechazo vs. Humedad inicial.

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
Humedad	2	H1; H2

Análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Humedad	1	42,00	42,00	3,82	0,098
Error	6	65,94	10,99		
Total	7	107,94			

Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3,31523	38,91%	28,73%	0,00%

Medias.

Humedad	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
H1	4	5,83	4,41	(1,78; 9,89)
H2	4	1,250	1,595	(-2,806; 5,306)

Desv.Est. agrupada = 3,31523

Comparaciones en parejas de Tukey.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Humedad	N	Media	Agrupación
H1	4	5,83	A
H2	4	1,250	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
H2 - H1	-4,58	2,34	(-10,32; 1,15)	-1,95	0,098

Nivel de confianza individual = 95,00%

Comparaciones en parejas de Fisher.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%.

Humedad	N	Media	Agrupación
H1	4	5,83	A
H2	4	1,250	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
H2 - H1	-4,58	2,34	(-10,32; 1,15)	-1,95	0,098

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

3.- ANOVA: Madera con Alabeos vs. Posición en el árbol.**Método.**

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
Posición	2	B; T

Análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	1	1,386	1,386	0,01	0,920
Error	6	752,756	125,459		
Total	7	754,142			

Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
11,2009	0,18%	0,00%	0,00%

Medias.

Posición	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
B	4	60,84	7,52	(47,13; 74,54)
T	4	61,67	13,94	(47,96; 75,37)

Desv.Est. agrupada = 11,2009

Comparaciones en parejas de Tukey.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Posición	N	Media	Agrupación
T	4	61,67	A
B	4	60,84	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T - B	0,83	7,92	(-18,55; 20,21)	0,11	0,920

Nivel de confianza individual = 95,00%

Comparaciones en parejas de Fisher.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%.

Posición	N	Media	Agrupación
T	4	61,67	A
B	4	60,84	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T - B	0,83	7,92	(-18,55; 20,21)	0,11	0,920

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

ANOVA: Madera con Rechazo vs. Posición en el árbol.

Método.

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
Posición	2	B; T

Análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	1	28,09	28,09	2,11	0,197
Error	6	79,86	13,31		
Total	7	107,94			

Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3,64819	26,02%	13,69%	0,00%

Medias.

Posición	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
B	4	5,42	4,59	(0,95; 9,88)
T	4	1,67	2,36	(-2,80; 6,13)

Desv.Est. agrupada = 3,64819

Comparaciones en parejas de Tukey.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Posición	N	Media	Agrupación
B	4	5,42	A
T	4	1,67	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T - B	-3,75	2,58	(-10,06; 2,56)	-1,45	0,197

Nivel de confianza individual = 95,00%

Comparaciones en parejas de Fisher.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%.

Posición	N	Media	Agrupación
B	4	5,42	A
T	4	1,67	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias.

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T - B	-3,75	2,58	(-10,06; 2,56)	-1,45	0,197

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

FUENTE: El autor (2021).