

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“DIAGNÓSTICO DEL SECADO DE TABLILLAS DE MADERA DE
LA ESPECIE *Dipteryx odorata* EN LIMA, PERÚ”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

LUCY SOLANGE JUÁREZ MILLONES

LIMA - PERÚ

2023

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Document Information

Analyzed document	TESISFINAL_LUCYJUAREZ.pdf (D168320357)
Submitted	2023-05-25 06:04:00
Submitted by	Florencio Teodoro Trujillo Cuellar
Submitter email	ftujillo@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	ftujillo.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES "DIAGNOSTICO DEL SECADO DE TABLILLAS DE MADERA DE LA ESPECIE DIPTERYX ODORATA EN LIMA, PERÚ" TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL LUCY SOLANGE JUAREZ MILLONES LIMA - PERÚ 2022

DEDICATORIA A mi madre y a mi padre, por su esfuerzo en educarme y ser un apoyo incondicional en mi vida.

AGRADECIMIENTOS Me gustaría mostrar mis más sinceros agradecimientos a: Mi asesor, el Dr. Florencio Trujillo, por aceptar participar en este proyecto, por brindarme los primeros conocimientos en secado de la madera y por no permitir que la virtualidad sea un inconveniente en la elaboración de la tesis. Mi co-asesor, el Dr. Johannes Welling, por toda su paciencia en nuestras sesiones de consultas virtuales y por brindarme todo el valioso conocimiento que tiene para mejorar este estudio. Mis compañeros de CITEMadera, por su interés en cada avance y las sugerencias que enriquecieron este estudio. En especial a mi amigo John Bartolo, por la oportunidad de unirme a este proyecto y por sus valiosos consejos a lo largo del desarrollo del estudio. A Roberto Pérez, por su tiempo al ayudarme con las mediciones en la fase de campo, por compartir sus conocimientos y sus palabras de motivación. La empresa Maderera Augen SAC y a todos los empleados de la planta de secado en el tiempo de la elaboración del presente estudio. En especial a Virginia Feijó por abrirme las puertas de la empresa y por sus palabras de aliento en la elaboración de la tesis, así como a Heine Von Der Heyde por además de permitirme realizar mi estudio, me brindo conocimientos valiosos del tema y me dio la oportunidad de iniciar en el mundo de industrias forestales. Un agradecimiento especial a Hans Esteban, por sus materiales y asesorías en temas de secado, por siempre despejar mis dudas a través de llamadas y por sus comentarios constructivos que enriquecieron este estudio. A mi familia, mi soporte y apoyo incondicional, estoy profundamente agradecida de tenerlos en mi vida. A mi perrita Lili, que me acompaña muchas madrugadas en la elaboración de mi proyecto de tesis. A mis amigos y amigas, por sus palabras de aliento en la elaboración de este estudio.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“DIAGNÓSTICO DEL SECADO DE TABLILLAS DE MADERA DE
LA ESPECIE *Dipteryx odorata* EN LIMA, PERÚ”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

LUCY SOLANGE JUÁREZ MILLONES

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Milciades Leonidas Miguel Castro, Dr.
Presidente

.....
...
Ing. Martin Araujo Flores
Miembro

.....
Ing. Neptalí Rodolfo Bustamante Guillén
Miembro

.....
Ing. Florencio Teodoro Trujillo Cuellar, Dr.
Asesor

.....
...
Ing. Johannes Welling, Dr.
Co asesor

DEDICATORIA

*A mi madre y a mi padre,
por su esfuerzo en educarme
y ser un apoyo incondicional en mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría mostrar mis más sinceros agradecimientos a:

Mi asesor, el Dr. Florencio Trujillo, por aceptar participar en este proyecto, por brindarme los primeros conocimientos en secado de la madera y por no permitir que la virtualidad sea un inconveniente en la elaboración de la tesis.

Mi co-asesor, el Dr. Johannes Welling, por toda su paciencia en nuestras sesiones de consultas virtuales y por brindarme todo el valioso conocimiento que tiene para mejorar este estudio.

Mis compañeros de CITEmadera, por su interés en cada avance y las sugerencias que enriquecieron este estudio. En especial a mi amigo John Bartolo, por la oportunidad de unirme a este proyecto y por sus valiosos consejos a lo largo del desarrollo del estudio. A Roberto Pérez, por su tiempo al ayudarme con las mediciones en la fase de campo, por compartir sus conocimientos y sus palabras de motivación.

La empresa Maderera Augen SAC y a todos los empleados de la planta de secado en el tiempo de la elaboración del presente estudio. En especial a Virginia Feijó por abrirme las puertas de la empresa y por sus palabras de aliento en la elaboración de la tesis, así como a Heine Von Der Heyde por además de permitirme realizar mi estudio, me brindó conocimientos valiosos del tema y me dio la oportunidad de iniciar en el mundo de industrias forestales.

Un agradecimiento especial a Hanz Esteban, por sus materiales y asesorías en temas de secado, por siempre despejar mis dudas a través de llamadas y por sus comentarios constructivos que enriquecieron este estudio.

A mi familia, mi soporte y apoyo incondicional, estoy profundamente agradecida de tenerlos en mi vida.

A mi perrita Lili, que me acompañó muchas madrugadas en la elaboración de mi proyecto de tesis.

A mis amigos y amigas, por sus palabras de aliento en la elaboración de este estudio.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	2
2.1. Antecedentes Generales	2
2.2. Fundamento Teórico	2
2.2.1. Sobre la especie de estudio	2
Descripción de la madera	3
Comportamiento en el secado	4
Importancia económica	4
2.2.2. Calidad	5
Control de calidad	6
2.2.3. Secado Artificial	6
Etapas del secado	7
Programa de secado.....	9
Horno de secado	9
2.2.4. Operaciones que acompañan al secado.....	10
Apilado Horizontal.....	10
Partes de la pila de madera.....	10
Características de la pila de madera	11
2.2.5. Factores que influyen en el secado	12
2.2.5.1. Inherentes a la madera.....	12
Estructura anatómica	12
Humedad de la madera.....	12
Densidad básica.....	13
Extractivos.....	13
Espesor de la madera.....	14
2.2.5.2. Inherentes al ambiente	14
Temperatura del aire.....	15
Humedad relativa	15

Velocidad del aire.....	15
Gradiente de secado	16
Gradiente de humedad.....	16
2.2.6. Defectos del secado	17
Colapso.....	17
Alabeos.....	18
Grietas y rajaduras.....	18
3. METODOLOGÍA.....	20
3.1. Lugar de ejecución	20
3.2. Materiales y equipos.....	20
Equipos.....	21
3.3. Método	25
3.3.1. Tamaño de muestra y población	25
3.3.2. Evaluación antes del proceso de secado	25
Características del apilado.....	25
Uniformidad de las dimensiones de separadores	26
Uniformidad de las dimensiones de la madera húmeda.....	26
Determinación del contenido de humedad inicial de la madera.....	27
3.3.3. Evaluación durante el proceso de secado.....	28
Programa de secado.....	28
Medición de la velocidad del aire de la cámara	28
Medición de la temperatura y humedad relativa del aire en la cámara de secado	29
Tasa de secado.....	31
Flujo de calor a través de las paredes del horno de secado	31
3.3.4. Evaluación después del proceso de secado.....	32
Contenido humedad final	32
Gradiente de humedad y distribución de la humedad	33
Defectos de forma y estructura.....	34
3.3.5. Pruebas estadísticas.....	38
3.3.6. Diagnóstico y plan de mejora	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
4.1. Evaluación antes del proceso de secado.....	39

4.1.1.	Características del apilado	39
4.1.2.	Uniformidad de las dimensiones de separadores	40
4.1.3.	Uniformidad de las dimensiones de la madera húmeda	41
4.1.4.	Determinación del contenido de humedad inicial de la madera	42
4.2.	Evaluación durante el proceso de secado	44
4.2.1.	Medición de la velocidad del aire en la cámara de secado	44
4.2.2.	Medición de la temperatura y humedad relativa del aire en la cámara de secado	46
4.2.3.	Tasa de secado artificial de las tres cargas evaluadas.....	49
4.2.4.	Flujo de calor a través de las paredes del horno de secado.....	52
4.3.	Evaluación después del proceso de secado	53
4.3.1.	Contenido de humedad final (CHF).....	53
	Representatividad de la media del Contenido de la humedad final (CHF)	53
	Evaluación del CHF en base a las recomendaciones del EDG	53
4.3.2.	Gradiente de humedad (GH).....	56
	Representatividad de la media del Gradiente de humedad (GH).....	56
	Evaluación del GH en base a las recomendaciones del EDG	56
4.3.3.	Defectos de forma y estructura	58
	Colapso.....	58
	Grietas en caras y canto.....	58
	Grietas en extremos	59
	Alabeos.....	60
	Calidad de las tablillas secas en base al índice de alabeos.....	63
5.	CONCLUSIONES.....	64
6.	RECOMENDACIONES	66
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
8.	ANEXOS.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas de la especie <i>Dipteryx odorata</i>	3
Tabla 2: Valor FOB de Shihuahuaco en exportación en los últimos años de las 10 empresas más importantes en el Perú (US\$ FOB)	5
Tabla 3: Características de las tablillas de madera	21
Tabla 4: Dimensiones de la Cámara de secado de la empresa “Maderera Augen S.A.C.” ..	22
Tabla 5: Tamaño de muestra para la evaluación de la reacción al secado de la madera de Shihuahuaco	25
Tabla 6: Uniformidad de las dimensiones de los separadores	26
Tabla 7: Uniformidad de las dimensiones de la madera húmeda de cada carga de madera.	27
Tabla 8: Programa de secado de la empresa “Maderera Augen S.A.C.”	28
Tabla 9: Velocidad del de aire en la cámara de secado	29
Tabla 10: Formato para el seguimiento del proceso de secado	30
Tabla 11: Temperatura y humedad relativa del aire de la cámara durante el proceso de secado de las cargas de madera	30
Tabla 12: Temperatura de las paredes de la cámara	32
Tabla 13: Contenido de humedad final y gradiente de humedad de tablillas con aceptación de la norma ASTM	33
Tabla 14: Valores de contenido de humedad final de las tablillas	34
Tabla 15: Grado de Colapso	35
Tabla 16: Grado de agrietamiento en las caras y cantos	35
Tabla 17: Grado de agrietamiento en los extremos	35
Tabla 19: Determinación de calidad de la madera seca	38
Tabla 20: Valores de los espesores de los separadores de las 3 cargas	40
Tabla 22: Contenido de humedad inicial de las piezas de madera	43
Tabla 23: Velocidad del viento en la cámara de secado	44
Tabla 24: Parámetros ambientales del aire de la cámara, carga 1	47
Tabla 25: Parámetros ambientales del aire de la cámara, carga 2	47
Tabla 26: Parámetros ambientales del aire de la cámara, carga 3	48
Tabla 27: Tasa de secado (%/d) de las 3 cargas de madera evaluadas	49
Tabla 28: Porcentaje de pérdida de calor a través de las paredes	52
Tabla 29: Dispersión de los valores de CH final de tablillas de Shihuahuaco	53
Tabla 30: Diagnóstico del CHF de 3 cargas de madera – Recomendaciones EDG	54

Tabla 31: Dispersión de los valores de Gradiente de humedad de tablillas de Shihuahuaco	56
Tabla 32: Diagnóstico del GH de 3 cargas de madera de Shihuahuaco – Recomendaciones EDG	57
Tabla 33: Presencia de colapso en las cargas evaluadas	58
Tabla 34: Porcentaje de tablillas con presencia de grietas en las caras y cantos.....	59
Tabla 35: Porcentaje de tablillas con presencia de grietas en los extremos	60
Tabla 36: Porcentaje de tablillas de Shihuahuaco sin y con alabeo en tres cargas de madera	61
Tabla 37: Porcentaje de tablillas según el tipo de alabeo en tres cargas de madera.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cámara de secado.....	22
Figura 2: Ventilador de la cámara de secado.....	23
Figura 3: Placa Higroscópica.....	23
Figura 4: Termómetro Digital Infrarrojo Fluke 62 MAX.....	24
Figura 5: Higrómetro de clavos calibrado para Shihuahuaco.....	24
Figura 6: Evaluación de CH final con higrómetro de clavos.	33
Figura 7: Figura ilustrativa de la medición de la severidad del colapso.	34
Figura 8: Verticalidad de separadores y protección de extremos.....	39
Figura 9: Ordenamiento de módulos en la cámara de secado	40
Figura 10: Evaluación de la velocidad del aire con el anemómetro.....	46
Figura 11: Evaluación de temperatura y humedad relativa del aire con Termohigrómetro .	49
Figura 12: Curva de secado – Carga 1.....	51
Figura 13: Curva de secado – Carga 2.....	51
Figura 14: Curva de secado – Carga 3.....	51
Figura 15: Presencia de grietas en la cara y cantos	59
Figura 16: Presencia de grietas en la cara y los extremos	60
Figura 17: A. Acanaladura B. Abarquillado C. Torcedura.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Valores de la velocidad del viento (m/s) según el sentido de giro del ventilador ..	1
Anexo 2: ANVA de la velocidad de viento en sentido inverso.....	1
Anexo 3: Prueba de Tukey de valores promedio de velocidad de viento en sentido Inverso	2
Anexo 4: ANVA de la velocidad de viento en sentido directo	2
Anexo 5: Prueba de Tukey de valores promedio de velocidad de viento en sentido directo .	2
Anexo 6: Dimensiones iniciales de las tablillas de la carga 1	3
Anexo 7: Dimensiones de los separadores de la carga 1	4
Anexo 8: Calculo de contenido humedad inicial de la madera de la carga 1	6
Anexo 9: Medición de la temperatura y humedad relativa de la cámara de la carga 1	6
Anexo 10: ANVA de los valores de temperatura del ambiente de la carga 1	6
Anexo 11: ANVA de los valores de Humedad Relativa del ambiente de la carga 1	7
Anexo 12: ANVA de los valores de contenido de humedad de equilibrio de la carga 1	7
Anexo 13: Temperatura de las paredes internas y externas de la cámara para la carga 1	7
Anexo 14: Ley de Furier para la carga 1	8
Anexo 15: Contenido de humedad final de las tablillas de la carga 1	9
Anexo 16: Evaluación de defectos de forma y estructura de las tablillas de la carga 1	14
Anexo 17: Calculo de Índice de alabeos de la carga 1	18
Anexo 18: Dimensiones iniciales de las tablillas de la carga 2	19
Anexo 19: Dimensiones de los separadores de la carga 2	20
Anexo 20: Calculo de contenido humedad inicial de la madera de la carga 2	22
Anexo 21: Medición de la temperatura y humedad relativa de la cámara de la carga 2	22
Anexo 22: ANVA de los valores de temperatura del ambiente de la carga 2	22
Anexo 23: Prueba de Tukey de los valores promedio de temperatura de la carga 2	23
Anexo 24: ANVA de los valores de HR del ambiente de la carga 2	23
Anexo 25: ANVA de los valores de EMC de la carga 2	23
Anexo 26: Temperatura de las paredes internas y externas de la cámara de la carga 2	24
Anexo 27: Ley de Furier de la carga 2	24
Anexo 28: Contenido de humedad final de las tablillas de la carga 2	25
Anexo 29: Evaluación de defectos de forma y estructura de las tablillas de la carga 2	30

Anexo 30: Calculo de índice de alabeos de la carga 2	34
Anexo 31: Dimensiones iniciales de las tablillas de la carga 3	35
Anexo 32: Dimensiones de los separadores de la carga 3	36
Anexo 33: Calculo de contenido humedad inicial de la madera de la carga 3	38
Anexo 34: Medición de la temperatura y humedad relativa de la cámara de la carga 3	38
Anexo 35: ANVA de los valores de temperatura del ambiente de la carga 3	38
Anexo 36: ANVA de los valores de HR del ambiente de la carga 3.....	39
Anexo 37: ANVA de los valores de EMC del ambiente de la carga 3.....	39
Anexo 38: Temperatura de las paredes internas y externas de la carga 3	39
Anexo 39: Ley de Fourier de la carga 3	40
Anexo 40: Contenido de humedad final de las tablillas de la carga 3	41
Anexo 41: Evaluación de defectos de forma y estructura de las tablillas de la carga 3	46
Anexo 42: Calculo de índice de alabeos de la carga 3	50
Anexo 43: Programa de secado detallado de la carga 1	51
Anexo 44: Programa de secado detallado de la carga 2	54
Anexo 45: Programa de secado detallado de la carga 3	57
Anexo 46: ANVA para la presencia de alabeos	60
Anexo 47: Prueba de Tukey para presencia de alabeos.....	60
Anexo 48: ANVA para tipos de alabeos	60
Anexo 49: Prueba de Tukey para para tipos de alabeos.....	61

RESUMEN

Se realizó la evaluación de tres cargas de madera de 50 m³ cada una, tomándose una muestra de 225 piezas, para el diagnóstico del proceso de secado convencional de tablillas de madera de 1" de espesor de la especie *Dipteryx odorata* "Shihuahuaco" de la empresa "Maderera Augen S.A.C.". El estudio se dividió en tres fases: antes, durante y luego del proceso de secado, con el fin de hacer un seguimiento y detectar las posibles deficiencias. Determinándose con respecto a la operatividad del horno la correcta lectura del controlador de las variables climáticas durante el proceso de secado. La influencia negativa de la baja velocidad del aire empleada ≤ 1.6 m/s en la tasa y el tiempo de secado, así como de la uniformidad del contenido de humedad final de la madera. El adecuado aislamiento de las paredes de la cámara con un flujo de calor menor al 4% del calor requerido para la evaporación del agua de la madera en condiciones de mayor temperatura del proceso de secado. El Contenido de Humedad inicial heterogéneo con coeficientes de variación mayores al 30%, con una muy alta dispersión de los valores con respecto a la media no representando a una población homogénea. Lo que juntamente con la falta de implementación de las etapas de Igualación y Acondicionamiento final en el proceso, así como el empleo de un programa de secado suave, indujeron a la alta dispersión de los valores de Contenido de humedad final y Gradientes de humedad de las tablillas. Por lo que, según las recomendaciones de *European Drying Group* (EDG), el secado de la madera de Shihuahuaco fue inadecuado por la no uniformidad del contenido de humedad final y presencia de gradiente de humedad, no cumpliendo con los valores de contenido de humedad final exigidos por el mercado chino.

Palabras clave: diagnostico, secado, calidad de secado, horno, contenido de humedad.

ABSTRACT

The evaluation of three loads of wood of 50 m³ each was carried out, taking a sample of 225 pieces, for the diagnosis of the conventional drying process of 1" thick wooden slats of the species *Dipteryx odorata* "Shihuahuaco" of the company "Maderera Augen S.A.C.". The study was divided into three phases: before, during and after the drying process, in order to monitor and detect possible deficiencies. With respect to determining the operability of the oven the correctness of the readings of the controller of the climatic variables during the drying process was determined. The use of the low air velocity used < 1.6 m/s had a negative influence on the drying rate and drying time, as well as on the uniformity of the final moisture content of the wood. Adequate insulation of the walls of the chamber with a heat flux of less than 4% of the heat required for the evaporation of water from the wood in conditions of higher temperature of the drying process. The heterogeneous initial moisture content with coefficients of variation greater than 30%, with a very high dispersion of the values with respect to the mean, indicated a non-homogeneous population. This, together with the lack of implementation of the equalization and final conditioning stages in the drying process, as well as the use of a soft drying program, led to a high dispersion of the values of final moisture content and moisture gradients of the Shihuahuaco tablets. Therefore, according to the recommendations of the European Drying Group (EDG), the drying of the Shihuahuaco wood was inadequate due to the non-uniformity of the final moisture content and the presence of a moisture gradient, and did not comply with the final moisture content values required by the Chinese market.

Keywords: diagnosis, drying, drying quality, kiln, moisture content.

1. INTRODUCCIÓN

El mercado de madera exige cada vez mayor calidad en los productos, para alcanzar estándares altos de calidad es preciso llevar a cabo un correcto proceso de secado, por la estabilidad que le proporciona a la pieza para posteriores transformaciones a productos con alto valor y para cumplir con el valor de contenido de humedad final exigido. En la industria nacional, la especificación de la calidad del secado y su control durante la producción, por lo general no son temas muy bien establecidos y desarrollados en las empresas madereras, esto puede evidenciarse con la vaga normativa y falta de control del proceso de secado. La situación del proceso de secado de la empresa “Maderera Augen S.A.C”, ubicada en el Parque Industrial del distrito de Villa El Salvador en Lima, no ha sido estudiada, por lo que la presente investigación evaluara el secado de la madera para así con los resultados obtenidos posteriormente optimizar el proceso.

Objetivo general

- Caracterizar el secado de la madera de la especie *Dipteryx odorata* en la empresa “Maderera Augen S.A.C.” en Lima, Perú.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la materia prima, el desarrollo del proceso y operatividad del equipo en el secado artificial de la madera de la especie *Dipteryx odorata*.
- Evaluar los defectos de secado de forma, estructura y uniformidad de la humedad de la madera de la especie *Dipteryx odorata* en el proceso de secado artificial.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes Generales

Chambi (2013) realizó un estudio del secado convencional de tablillas de Shihuahuaco de 1" de espesor en el aserradero forestal Rio Piedras S.A.C, en Madre de Dios. Dicho estudio evaluó 2 cargas de madera, que realizaron el proceso de secado bajo diferentes programas de secado, evaluó el CH% inicial y final, los alabeos, la contracción de la madera y una evaluación de tensiones. Llegó a una conclusión de que la madera llega a una humedad más baja de la que se requiere originando alabeos y una calidad de secado "menos que regular" con unas condiciones de secado "poco adecuadas".

2.2. Fundamento Teórico

2.2.1. Sobre la especie de estudio

Sobre *Dipteryx odorata*, Chavesta (2005) reporta lo siguiente:

- Sinonimia: *Coumarouna odorata* Aubl.
- Familia: FABACEAE – Papilionaceae
- Nombres comunes: Perú: shihuahuaco, charapilla. Brasil: Cumarú. Bolivia: almendro, almendrillo. Colombia: charapilla.
- Nombre comercial internacional: Cumarú, kumarú, Tonka

Descripción de la madera

Sobre *Dipteryx odorata*, se conoce que la albura y duramen son ligeramente diferenciados, en condición seca al aire, la albura es de color rojo claro y el duramen rojo oscuro. Además, presenta anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras, grano entrecruzado, textura media gruesa y brillo medio, vetado en arcos superpuestos y aspecto ceroso. Asimismo, presenta porosidad difusa, poros visibles a simple vista, presencia de gomas, parénquima paratraqueal vasicéntrico y aliforme, presencia de células cristalíferas septadas (Acevedo y Kikata, 1994)

Propiedades físicas y mecánicas

Chavesta (2005) manifiesta los valores de la Tabla 1 para *Dipteryx odorata*.

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas de la especie *Dipteryx odorata*

PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad básica	0.87 g/cm ³ .
Contracción tangencial	9.10 %
Contracción radial	5.50 %
Contracción volumétrica	15.00 %
Relación T/R	1.60
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Módulo de rotura en flexión	1,286 kg/cm ²
Compresión paralela (RM)	672 kg/cm ²
Compresión perpendicular (ELP)	150 kg/cm ²
Corte paralelo a las fibras	145 kg/cm ²
Dureza en los lados	1,353 kg/cm ²
Tenacidad (resistencia al choque)	6.2 kg-m

Fuente: Chavesta (2005).

Comportamiento en el secado

Chambi (2013) menciona que para Shihuahuaco solo se conoce que las piezas grandes secan con dificultad en forma natural, presentándose problemas de alabeos, en el secado artificial presenta buen comportamiento con un programa suave de 10 días para piezas de pequeñas dimensiones de 13 mm de espesor. Es resistente al ataque biológico; no requiere ser preservada.

Importancia económica

Con respecto a la importancia económica del Shihuahuaco, en el mercado es una madera muy valorada por su durabilidad, estabilidad dimensional, entre otras características resaltantes.

Según el Anuario Forestal y de Fauna Silvestre (2020) la especie Shihuahuaco tuvo una producción de parquet de más de 9900 m³, una producción de madera aserrada de más de 47560 m³ y una producción madera rolliza de más de 102800m³, siendo la especie de mayor producción en el año 2020.

Según ADEX (2020) en el año 2019 genero un valor FOB de US\$ 51 641 919, mientras que en el año 2020 un valor de US\$ 32 934 990 (Tabla 2).

Tabla 2: Valor FOB de Shihuahuaco en exportación en los últimos años de las 10 empresas más importantes en el Perú (US\$ FOB)

EMPRESA	AÑO	
	2019	2020
IMK MADERAS S.A.C.	19432744	12790455
MADERERA BOZOVICH S.A.C.	9341015	654052
GRUPO MADERERO AMAZ S.A.C.	11625325	7092027
MADERACRE TIMBER S.A.C.	2976249	4801112
E & J MATTHEI MADERAS DEL PERU S.A	2095096	2115703
INDUSTRIA FORESTAL HUAYRURO S.A.C	771694	1274445
CONSORCIO MADERERO S.A.C.	3670451	1891407
MADERERA TUMI S.A.C.	363464	101262
LINDERWOOD S.A.C.	1365881	1655714
MILENIO SERVICIOS GENERALES S.A.	0	558813
TOTAL	51641919	32934990

Fuente: ADEX (2020).

2.2.2. Calidad

Según la ISO 9000 (2005) calidad se define como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

Como menciona Welling (1994) las propiedades que caracterizan la calidad de la madera son diferentes de las que caracterizan la calidad de secado. La calidad de la madera es una propiedad física inherente se refiere a todas las propiedades físicas de la madera sin procesar, que ya existen en madera aserrada antes del secado. La definición de calidad de la madera incluye imperfecciones inherentes naturales tales como nudos, orientación de la fibra, resina, defectos producidos por animales, insectos u hongos, entre otros. Mientras que la calidad del secado puede ser influenciada y mejorar considerablemente si se controla y regula el proceso 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 las tensiones de secado, libre de defectos visibles como grietas, rajaduras, alabeos, colapso y manchas.

Control de calidad

Acuña (1986) define el control de calidad como la verificación de que un producto se fabrica de acuerdo con el diseño planteado como diseño que es el resultado de interpretación técnica de necesidades del consumidor y que por lo tanto lo satisface puntos para hacer frente a esta concepción de calidad es necesario que todo el personal de la empresa tenga muy claro su rol en el logro de es importante objetivo.

El control de calidad es un sistema de inspección, análisis y acción aplicado al proceso de fabricación, de manera que inspeccionando una pequeña porción del producto producido puede efectuarse un análisis de su calidad para determinar qué acción o corrección hay que efectuar en la operación, con el fin de lograr y mantener el nivel de calidad deseada según el cliente (CITEmadera, 2009).

2.2.3. Secado Artificial

El secado convencional se desarrolla en recintos cerrados dentro de los cuales se establecen climas artificiales progresivamente más cálidos y secos. Cada clima o etapa del secado se mantiene durante un determinado lapso, de acuerdo con un programa predeterminado durante un determinado lapso, de acuerdo con un programa predeterminado experimentalmente según el tipo y dimensiones de la madera (JUNAC, 1989.)

Klitzke (2005); 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. 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.

Etapas del secado

Las etapas consideradas en el proceso de secado artificial son cuatro, las cuales son establecidas en función de la distribución y del nivel de la humedad en el espesor de la madera (Denig, Wengert y Simpson, 2000).

- **Etapa I**

Al comienzo de la Etapa I, las células en el exterior de la pieza de madera comienzan a secarse y en pocas horas se encuentran a un contenido de humedad debajo del 30% (PSF), sin embargo, las células en el interior de la madera todavía se encuentran completamente verdes y no se han encogido. A medida que continúa el secado, las células externas continúan secándose, y por lo tanto, comienzan a encogerse. Esta contracción de las células externas (la cáscara o caparazón) comienza a apretar o comprimir las células en el centro de la madera (el núcleo). Si el núcleo es presionado, entonces el caparazón debe estar en tensión. Las fuerzas de tensión en la cáscara aumentan a medida que continúa el secado.

En la Etapa I la temperatura debe mantenerse bastante baja para maximizar la resistencia de la madera, la humedad relativa debe ser bastante alta para evitar una contracción excesiva y un secado rápido, y la velocidad de viento debe ser moderada para evitar un secado rápido.

- **Etapa II**

La etapa II comienza cuando un tercio de la humedad se ha evaporado y termina en un 30% de contenido de humedad. En esta etapa, el nivel de tensión en el caparazón disminuye. Esto significa que el riesgo de grietas superficiales se reducirá rápidamente a cero, con este menor riesgo, es posible comenzar a bajar lentamente la HR.

Hacia el final de la Etapa II, muchas células del núcleo han comenzado a encogerse y el caparazón se ha secado bastante y casi terminado de contraer. Así que, cuando las células centrales comienzan a encogerse al final de la Etapa II, comienzan a crear compresión en el caparazón. Es decir, el encogimiento resulta en una reversión de tensiones; el caparazón ahora está en compresión mientras el núcleo está en tensión, contrario a la Etapa I.

Al final de la Etapa II, el CH de la mitad de la madera está todavía por encima del 30%, mientras que gran parte del caparazón está por debajo del 30%. Es incorrecto decir que la madera está en el punto de saturación de las fibras (FSP) al final de esta etapa, muchas células en el núcleo están por encima de FSP.

- **Etapa III**

La etapa III comienza en un 30% de CH y continúa hasta el CH final. Durante esta etapa, la tensión en el núcleo aumenta a medida que las células se secan por debajo del 30% de CH, pero el nivel de tensión no es alto como en la Etapa I. La HR se puede reducir de forma segura y la temperatura del bulbo seco se puede aumentar de forma segura en este momento. Sin embargo, si las grietas superficiales se desarrollaron en la Etapa I y luego empeoraron en la Etapa II, es probable que se conviertan en grietas internas en la Etapa III.

- **Etapa IV**

La etapa IV implica igualar y acondicionar la madera. La igualación es el proceso de desarrollar un CH uniforme dentro y entre las piezas individuales de madera en una carga. El acondicionamiento es el proceso de aliviar el estrés por secado (ajuste de tensión).

Programa de secado

CITEMadera (2017) define un programa de secado como la secuencia de condiciones climáticas que el operador debe establecer en el controlador del horno de acuerdo a los niveles de humedad de la madera durante el secado.

Para elegir el programa de secado se toma en cuenta la especie del árbol, el espesor de la madera y el contenido de humedad inicial de las piezas. En el país generalmente los fabricantes de hornos emplean, como referencia en sus programas, maderas europeas y africanas, en algunos casos aparecen el Cedro y la Caoba. Para aquellas especies nacionales que no aparecen en los programas preestablecidos, se recomienda comparar información de densidad de las maderas europeas o africanas con aquellas nacionales que se deseen secar (CITEMadera, 2009).

Horno de secado

Un horno de secado de madera consiste en una o más cámaras diseñadas para proporcionar y controlar las condiciones ambientales de calor, humedad y circulación de aire necesarias para el secado adecuado de la madera. A medida que ha progresado el desarrollo del horno seco moderno, se han explorado una serie de modificaciones de diseño en relación con el mecanismo de suministro de calor, la disposición y el tipo de ventiladores, el control de la humedad relativa o la temperatura de bulbo húmedo y el uso de diversos materiales para construcción de la cámara (Simpson, 1991).

El diseño de un horno tiene una influencia importante en su funcionamiento y eficiencia de secado. Un horno correctamente diseñado y operado secará la mayoría de las especies de madera u otros

productos de madera a cualquier contenido de humedad especificado en un tiempo razonablemente corto sin pérdidas apreciables causadas por defectos de secado (Simpson, 1991).

2.2.4. Operaciones que acompañan al secado

Apilado Horizontal

Es un proceso de formar paquetes de madera aprovechando la ventaja de transporte en grúas montacargas, que pueden a su vez elevarlos al sitio que le corresponde en la pila. Dichos paquetes son formados a mano o en forma automática, al lado de la estación de clasificación o en un sitio especialmente adecuado para tal fin y son generalmente colocados sobre plataformas con guías para los listones separadores (JUNAC, 1989).

Según Pezo (2007) los objetivos que se deben cumplir con el apilado de la madera son los siguientes:

- Minimizar la formación de alabeos.
- Maximizar la productividad.
- Producir cargas de forma uniforme.
- Debe arrojar un flujo de aire a través de los palillos uniforme en lo alto y largo.
- Las cargas deben ser seguras, sin peligros o riesgos evidentes.

Partes de la pila de madera

La NTP 251.134 (2005) especifica que la pila de madera o estiba debe estar conformada por los siguientes elementos:

- Travesaños o durmientes, de secciones variables según las condiciones del suelo en que estarán.
- Pisos o niveles de tablas, de anchos variables para acondicionamientos de la madera a secar.

- Listones separadores, de secciones definidas según los requerimientos y tipos de programa a seguir.

Los travesaños deben tener una altura mínima de 7,5 cm y de un ancho mínimo de 5 cm, de preferencia de maderas duras estables. El largo de los travesaños será igual al ancho de la pila.

Finalmente, los listones separadores deben tener las siguientes características:

- Los listones separadores deben ser de especies de madera que presenten estabilidad dimensional y soporten el peso de las tablas que lleven encima
- Secos y libres de torceduras y rajaduras
- Sección transversal uniforme en toda su longitud

Con respecto a los separadores Pezo (2007) señala que la calidad, ubicación y cantidad de listones tienen gran influencia en la calidad final del producto (alabeos). Deben ser de madera buena y seca, la reposición debe ser periódica y los separadores dañados, quebrados, con puntas partidas, etc. deben ser retirados del sistema ya que los palillos que han sido usados varias veces o en varias cargas se van adelgazando producto de la compresión originada por la carga, se van poniendo más vidriosos.

Características de la pila de madera

Al apilar la madera en paquetes, estos deben tener las siguientes dimensiones como se menciona en la NTP 251.134 (2005):

- Altura máxima: 120 cm.
- Ancho máximo: 110 cm.
- Longitud: depende de la longitud de tablas y dimensiones del horno de secado

2.2.5. Factores que influyen en el secado

Según Fernández y Conde (2007) el secado depende de factores inherentes a la madera, al clima empleado, al proceso seguido y al objetivo buscado como: La especie de madera. Sus características (densidad, porcentaje de duramización, crecimiento rápido etc.) y variabilidad; el tipo de aserrado, 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 y el diseño y mantenimiento del horno de secado.

2.2.5.1. Inherentes a la madera

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.

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.

Humedad de la madera

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) 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.

Densidad básica

Para Simpson (1991) 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.

Klitzke (2005) afirma que las maderas menos densas presentan mayor cantidad de humedad que las maderas pesadas. Dentro del mismo árbol la humedad igualmente varia, 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 varia de la medula a la corteza y de la base a la copa.

Extractivos

Connors (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.

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.

Espesor de la madera

Pezo (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.

Tuset y Duran (1986) señala que en piezas muy gruesas los gradientes altos provocan esfuerzos que pueden dañar la madera o 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 y más aún si las secciones son cuadradas o próximas a ella, normalmente presentan grietas internas en los extremos de las piezas que pueden extenderse hasta los 20 a 25 cm.

2.2.5.2. 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 (T°), la humedad relativa del aire (%HR) y la velocidad del aire (V) dentro de la cámara de secado. Cuando la madera seca muy rápidamente o muy lentamente, estas variables deben ser manejadas para alcanzar la deseada tasa de secado.

Temperatura del aire

También llamado temperatura del bulbo seco. Simpson, Denig y Wengert (2000) afirman que a medida que aumenta la temperatura de la madera, el agua dentro de la madera se mueve de forma más rápida, secándose más rápidamente y de forma más uniforme. Además, en general, cuanto mayor es la temperatura, mayor será la deformación y más débil se vuelve la madera.

Asimismo, Connors (2012) menciona que a temperaturas más altas hay mayor pérdida de resistencia de la madera dando como resultado la presencia de panal y en maderas blancas aumenta el cambio de color.

Humedad relativa

Según Denig, Wengert y Simpson (2000) la humedad relativa (HR) del aire es la relación entre la cantidad de agua en el aire y la cantidad máxima de agua que el aire puede retener a la misma temperatura, suele ser expresado como porcentaje. A medida que se reduce la HR durante el secado, el agua se mueve más rápido, es decir, la madera se seca más rápido. La celulosa gana y pierde agua en respuesta a cambios en la HR.

A medida que se baja la Humedad Relativa del aire, el secado es más uniforme, menos deformaciones ocurre, y el riesgo de iniciar la decoloración (especialmente decoloración química) se reduce. Si la Humedad Relativa es demasiado baja y por lo tanto, el secado es demasiado rápido, la madera tiene a rajarse y se pueden formar grietas internas y / o aumente estas en severidad.

Velocidad del aire

La velocidad del aire dentro de la cámara es importante ya que la capacidad del aire de absorber agua es limitada. El aire al pasar por la madera absorbe agua y comienza a saturarse, razón por la cual es importante renovar el aire húmedo con el aire seco. Aun cuando existe una corriente continua de aire pasando sobre la madera, la capacidad del aire que está inmediatamente en

contacto directo con la madera se mueve más lentamente y tiene una presión de vapor mayor que la corriente principal. Esto es conocido como efecto de capa límite. Al aumentar la velocidad la capa límite disminuye y por tanto aumenta la tasa de evaporación desde la madera, por tanto un incremento en la velocidad equivale reducir la barrera de humedad que está acercando la superficie de la madera (Pezo, 2007).

En medida que aumenta la velocidad del aire aumenta la velocidad de secado, a altos valores de Contenido de Humedad de la madera (por encima del 30-40%), la HR y el secado por pila es más uniforme. Por debajo del 20% de Contenido de Humedad, el flujo de aire no afectará el secado (Connors, 2012).

Además, Denig, Wengert y Simpson (2000) afirman que un secado más rápido puede aumentar el riesgo de grietas, pero a la inversa puede disminuir la cantidad de deformación. Un concepto importante en el flujo de aire es que el volumen de aire que entra en la carga es igual a la cantidad que sale. Por lo tanto, el aire la velocidad generalmente se mide en el lado de salida de la pila porque es la forma más sencilla.

Gradiente de secado

En cualquier momento del proceso de secado artificial existen dos valores del contenido de humedad de la madera que son de gran importancia para establecer el comportamiento del secado. Estos valores son el contenido de humedad real (CH real) de la madera en un determinado momento y el contenido de humedad en equilibrio (ECH) hacia el cual tiende la madera de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa fijadas dentro del secadero. La relación entre estos dos valores se denomina gradiente de secado (GS) (JUNAC, 1989).

Gradiente de humedad

Es la diferencia que se establece entre el contenido de humedad de la madera del centro (CH centro) y en la superficie (CH superficial), que da origen a la circulación interna del agua del centro a la

periferia y es la causa del secado. Mientras más elevado sea el gradiente de humedad, es decir, mientras más grande sea la diferencia entre el contenido de humedad del centro y de la superficie, más rápido se seca la madera e inversamente, si el gradiente es bajo, el tiempo de secado se prolongará con un consecuente aumento de costos (JUNAC, 1989).

2.2.6. Defectos del secado

Según Klitzke (2005) 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, la cual a mayor velocidad induce a mayor gradiente de humedad que incrementa la tensión de la madera. Así como del espesor de la madera, el cual cuando es mayor induce a un mayor gradiente de humedad y por ende a mayor 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.

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 tensiones de secado o 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 Pezo (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.

Juacida e Inzunza (1986) afirma 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.

Alabeos

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 parcialmente controlados con apropiados procedimientos de apilado horizontal.

Para Fernández y Conde (2007) el abarquillado o acanalado se reconoce cuando la pieza de madera colocada en una superficie plana apoya la parte central de la cara levantando los bordes, presentando un aspecto de barquillo. La madera arqueada colocada sobre una superficie plana muestra una luz o separación 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.

Grietas y rajaduras

Según Klitzke (2005) y Pezo (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.

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.

3. METODOLOGÍA

3.1. Lugar de ejecución

El estudio se desarrolló en la planta de secado de la empresa “Maderera Augen S.A.C.”, en el Parque Industrial del Distrito de Villa el Salvador, del distrito de Lima, departamento de Lima del Perú. La empresa está ubicada geográficamente en Longitud: 076°56'41.39" y Latitud: S12°11'54.67", dedicada al secado de tablillas, maquinado de deck y tablillas. La especie de mayor interés comercial es el Shihuahuaco *Dipteryx odorata*. Cuenta con 3 cámaras de secado, la investigación se realizó en la cámara de secado con 50 m³ de capacidad instalada y construida en el año 2020.

3.2. Materiales y equipos

Se emplearon los siguientes materiales y equipos para la evaluación del secado de la madera de Shihuahuaco en la empresa “Maderera Augen S.A.C.”.

Materiales

- Las Tablillas de Shihuahuaco *Dipteryx odorata* fueron identificadas en el Laboratorio de Anatomía de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales. Proceden de aserraderos de Pucallpa y Madre de Dios y presentan las siguientes dimensiones (Tabla 3).

Tabla 3: Características de las tablillas de madera

DIMENSIONES DE LAS TABLILLAS		
Espesor	Ancho	Largo
1"	5"	2'
1"	5"	2.5'
1"	5"	3'

- Stretch film
- Libreta
- Útiles de escritorio
- Pintura en aerosol
- Wincha

Equipos

- **Horno de secado convencional**

La cámara de secado consta de una cabina hecha en fierro pintada en esmalte sintético, forrada en la parte interna con aluminio de 0.5 mm de espesor y el exterior con calaminon, usando aislante térmico de 2" de espesor y Tecnopor en la parte interna (Figura 1).



Figura 1: Cámara de secado

Las dimensiones de la cámara de secado se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Dimensiones de la Cámara de secado de la empresa “Maderera Augen S.A.C.”

MEDIDAS DEL HORNO DE SECADO	
Ancho	8.9 m
Alto	5.2 m
Fondo	7.7 m
Área útil	8.8 m x 5.7 m
Puerta	8.9 m x 4 m

La cámara emplea radiadores de 100 cm ancho x 2.40 cm de largo con capacidad térmica instalada de 240,000 kcal/h y potencia térmica efectiva de 180,000 Kcal/h con calentamiento a vapor de agua proveniente de una caldera alimentada con leña. Las especificaciones técnicas del caldero se desconocen por ser una maquina antigua.

Cuenta con 6 ventiladores de circulación longitudinal de 80 cm de diámetro con carcasa de aluminio y motores de alta temperatura clase F de 4.0 hp cada uno, que alcanzan velocidades del aire de 2.5-3.5 m/s en la salida de los paquetes (Figura 2).



Figura 2: Ventilador de la cámara de secado

No se observaron direccionadores de vientos superiores, inferiores ni verticales para la conducción del viento en la cámara, Pezo (2007). Cuenta con dos unidades de control de temperatura a través de termómetros metálicos, y la humedad relativa del aire se registra a través del contenido de humedad de equilibrio de placas higroscópicas. El contenido de humedad de la madera es controlado a través de ocho pares de sensores (Figura 3).



Figura 3: Placa Higroscópica

- Termómetro Digital Infrarrojo Fluke 62 MAX



Figura 4: Termómetro Digital Infrarrojo Fluke 62 MAX

- Termohigrometro Cooper-Atkins SRH77A
- Anemómetro portátil TPI 575
- Estufa de secado – Laboratorio CITEmadera
- Higrómetro de pines GANN RTU 600

Calibrado mediante 15 muestras de madera de Shihuahuaco secas al 10% de humedad por el método de la estufa NTP 251.010 (2014). Las escalas X e Y del equipo se ajustaron a los valores 1 y 7 respectivamente para la madera de Shihuahuaco a la temperatura de 25°C (Figura 5).

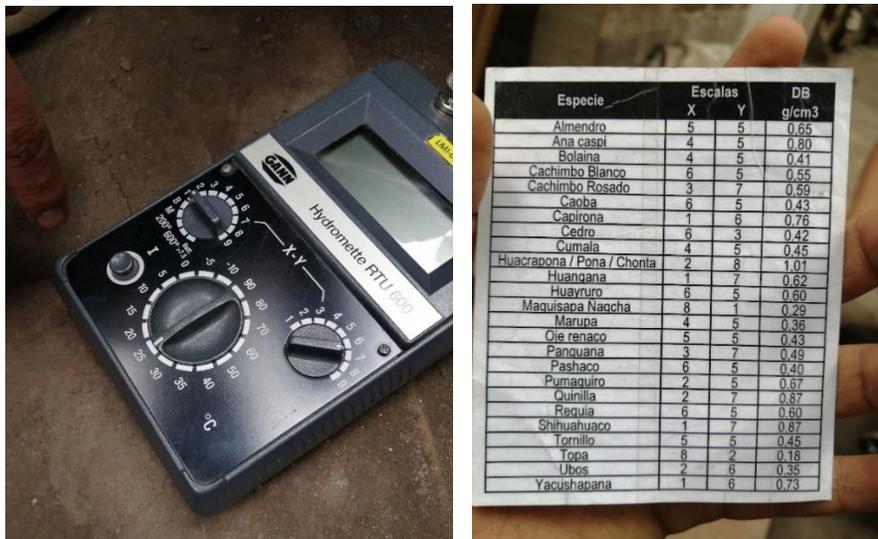


Figura 5: Higrómetro de clavos calibrado para Shihuahuaco

- Cámara fotográfica
- Balanza electrónica
- Vernier o pie de rey.

3.3. Método

3.3.1. Tamaño de muestra y población

Se evaluó la reacción al secado de tres cargas de madera de Shihuahuaco, con un número aproximado de tablillas en cada carga de madera de 22680 piezas (50 m³) como se muestra en la Tabla 5, donde se aprecia que en cada una de las tres cargas de madera evaluadas se tomó un tamaño de muestra de 225 piezas (1% de la población) seleccionadas al azar, teniendo en cuenta la ubicación de las tablillas en la cámara de secado (superior, central y baja).

Tabla 5: Tamaño de muestra para la evaluación de la reacción al secado de la madera de Shihuahuaco

Carga de madera (#)	Numero de tablillas	Tamaño de muestra
1	22680	225
2	22680	225
3	22680	225
TOTAL	68040	675

3.3.2. Evaluación antes del proceso de secado

Características del apilado

Se evaluó las características del apilado en base a la NTP 251.134 (2005), así como las características recomendadas por la JUNAC (1989). Tomándose en cuenta la alineación de los

separadores, la uniformidad de las dimensiones de la materia prima y separadores, de los cuales depende el control de alabeos en la madera (Klitzke, 2005; Fernández y Conde, 2007).

Uniformidad de las dimensiones de separadores

La evaluación de la uniformidad de las dimensiones de los separadores se realizó con un vernier de precisión, se consideró una muestra de 100 tomados al azar del total de separadores empleados en cada una de las tres cargas de madera evaluadas.

Tabla 6: Uniformidad de las dimensiones de los separadores

UNIFORMIDAD DE LAS DIMENSIONES DE LOS SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Observación
1				
2				
3				
...				

Uniformidad de las dimensiones de la madera húmeda

Se midió con un vernier de precisión el ancho y espesor de ambos extremos de las 50 tablillas seleccionadas al azar de cada una de las tres cargas de madera evaluadas, con ayuda de una escuadra se trazaron líneas perpendiculares donde se realizaron las mediciones.

Tabla 7: Uniformidad de las dimensiones de la madera húmeda de cada carga de madera

UNIFORMIDAD DE LAS DIMENSIONES DE LA MADERA				
Código de muestra	Extremo 1		Extremo 2	
	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Ancho (cm)
1				
2				
3				
...				

Determinación del contenido de humedad inicial de la madera

Se seleccionaron 5 tablillas de forma aleatoria determinándose el contenido de humedad inicial por el método a la estufa en base a la NTP 251.010 (2014), obteniéndose probetas de la parte central del largo de la pieza, que luego de ser pesadas (balanza electrónica) fueron secadas a estufa hasta llegar a su estado anhidro y peso constante.

Con los datos de los pesos, se calculó el contenido de humedad inicial mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Determinación del contenido de humedad.

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Fuente: Hildebrant (1964).

Dónde:

Ch: Contenido de humedad de la madera (%)

Ph: Peso húmedo de la probeta antes del secado (gr)

Ps: Peso anhidro de la probeta después del secado (gr).

3.3.3. Evaluación durante el proceso de secado

Programa de secado

En la Tabla 8 se muestra el programa de secado que la empresa emplea para el secado de las cargas de madera de Shihuahuaco.

Tabla 8: Programa de secado de la empresa “Maderera Augen S.A.C.”

PROGRAMA DE SECADO				
ETAPAS	CH (%)	Temperatura (°C)	CHE (%)	Gradiente secado
Acondicionamiento	H – 55	35	20	
	55 – 45	40	19	
	45 – 35	45	19	
Secado propiamente dicho	35 – 25	50	16	2.2
	25 – 20	50	13	1.9
	20 – 15	50	10	2.0
	15 – 10	50	10	2.1
Enfriamiento	10	35	10	

Medición de la velocidad del aire de la cámara

Con un Anemómetro portátil TPI 575, se midió al inicio del proceso de secado la velocidad del aire en sentido directo e inverso en tres puntos de la cámara de secado. Este parámetro fue constante durante el proceso de secado de las tres cargas de madera.

Tabla 9: Velocidad del de aire en la cámara de secado

VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) SEGÚN EL SENTIDO DE GIRO DEL VENTILADOR				
	Módulo de pila	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Inverso o Directo		1		
		2		
		3		

Medición de la temperatura y humedad relativa del aire en la cámara de secado

Durante el desarrollo del programa de secado con las tres cargas de madera de Shihuahuaco evaluadas, se registraron cuatro veces al día los valores de temperatura y contenido de humedad de equilibrio del aire de la cámara de secado como se muestra en la Tabla 10, tomadas por el controlador NIGGOS mediante el programa “Dryer Manager” empleado por el horno de la empresa.

Asimismo, para evaluar la operatividad del equipo controlador NIGGOS, se tomaron en cuatro días finales las variables climáticas indicadas en la cámara de secado con el equipo portátil Termohigrometro Cooper-Atkins SRH77A empleando la Tabla 11.

Tabla 10: Formato para el seguimiento del proceso de secado

	DIA	1				2				...
	FECHA									
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	
Controlador	T (°C)									
	CHEq%									
Termo higrómetro	T (°C)									
	CHEq %									
Contenido de humedad de la madera (sondas)	T - 1									
	T - 2									
	T - 3									
	T - 4									
	T - 5									
	T - 6									
	T - 7									
	T - 8									
	Promedio									

Tabla 11: Temperatura y humedad relativa del aire de la cámara durante el proceso de secado de las cargas de madera

Fecha	Repetición	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
	1		
	2		
	3		

Tasa de secado

Se calculó la tasa de secado empleando la Ecuación 2, en base a los contenidos de humedad promedio de ocho testigos mediante sondas (Tabla 10).

Ecuación 2: Tasa de secado

$$Tasa\ secado\ (\%/d) = \frac{CH\ o - CH\ f}{Duración\ del\ proceso\ (días)}$$

Fuente: JUNAC (1989).

Dónde:

CHf: Contenido de humedad final de la madera

CHo: Contenido de humedad inicial de la madera

Así mismo, se realizaron las curvas de secado para cada una de las cargas evaluadas en la presente investigación.

Flujo de calor a través de las paredes del horno de secado

Se determinó el flujo de calor del interior al exterior de la cámara a través de sus paredes empleando la Ecuación de Fourier. Para lo cual se midió la temperatura de la zona interna y externa de la pared perpendicular a la dirección del aire con el Termómetro Digital Infrarrojo Fluke 62 MAX.

Tabla 12: Temperatura de las paredes de la cámara

Pared	Pared	Repetición	T Promedio (°C)
Interna/ Externa	1	Alta	
		Media	
		Baja	
	2	Alta	
		Media	
		Baja	
	3	Alta	
		Media	
		Baja	
	4	Alta	
		Media	
		Baja	

3.3.4. Evaluación después del proceso de secado

Contenido humedad final

Mediante el detector de pines o clavos GANN RTU 600 previamente calibrado, y en 225 maderas seleccionadas al azar (1% de la población), se determinó el contenido de humedad final en base al promedio de 2 medidas, una en la superficie y la otra en el centro de la madera (JUNAC, 1989), como se aprecia en la Figura 6. Para la toma de mediciones se empleó la Tabla 13.

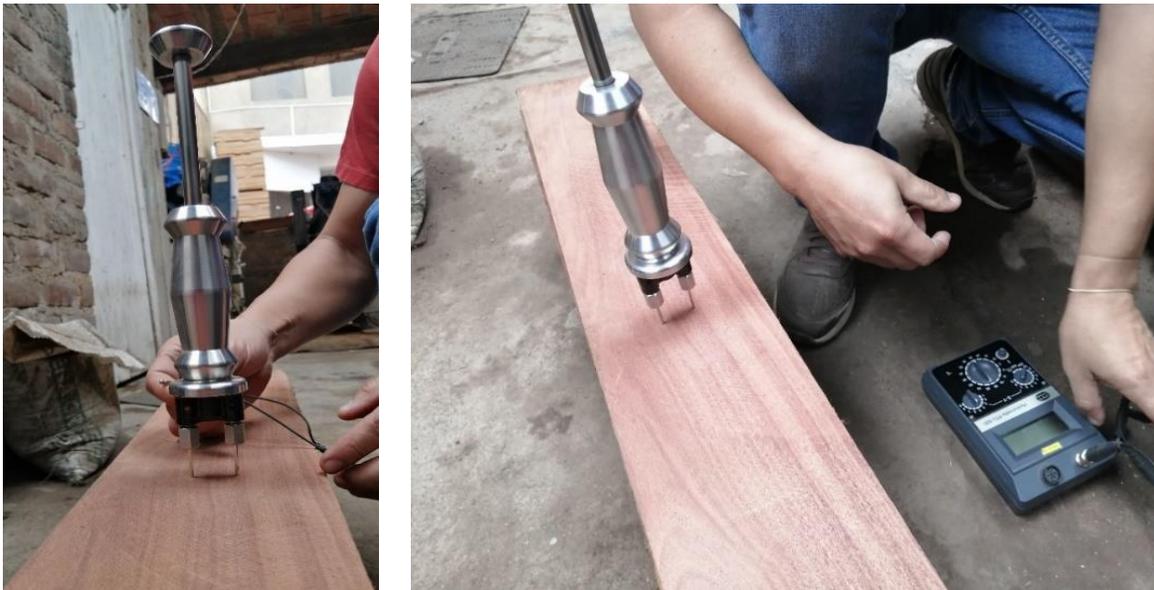


Figura 6: Evaluación de CH final con higrómetro de clavos.

Gradiente de humedad y distribución de la humedad

Se tomaron 2 medidas, como se ve en la Tabla 13, una en la superficie y la otra en el centro de la madera. Siendo la diferencia de estas mediciones igual a la gradiente de humedad. (EDG, 1994; JUNAC, 1989).

Tabla 13: Contenido de humedad final y gradiente de humedad de tablillas con aceptación de la norma ASTM

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL		
Tablilla	CH centro (%)	CH superficie (%)
1		
2		
3		
...		

Siguiendo las recomendaciones de la norma Assessment of drying quality of timber de la EDG (1994), se estableció el rango de valores que deben cumplir las tablillas para CH final y gradiente de humedad (Tabla 14). Se tomó un nivel de confianza del 90% para la evaluación de la calidad de secado de la madera, donde para el tamaño de muestra de 225 piezas 23 tablillas pueden estar fuera de los límites tolerables.

Tabla 14: Valores de contenido de humedad final de las tablillas

Parámetro	Valores
Contenido final de humedad	$CH_f \pm CH_f * 0.3$
Gradiente de humedad	$CH_f * 0.2$

Fuente: EDG (1994).

Defectos de forma y estructura

Colapso

Para esta evaluación se identificó la presencia y severidad de este defecto en las tablillas. La evaluación se hizo en base a la EDG (European Drying Group).

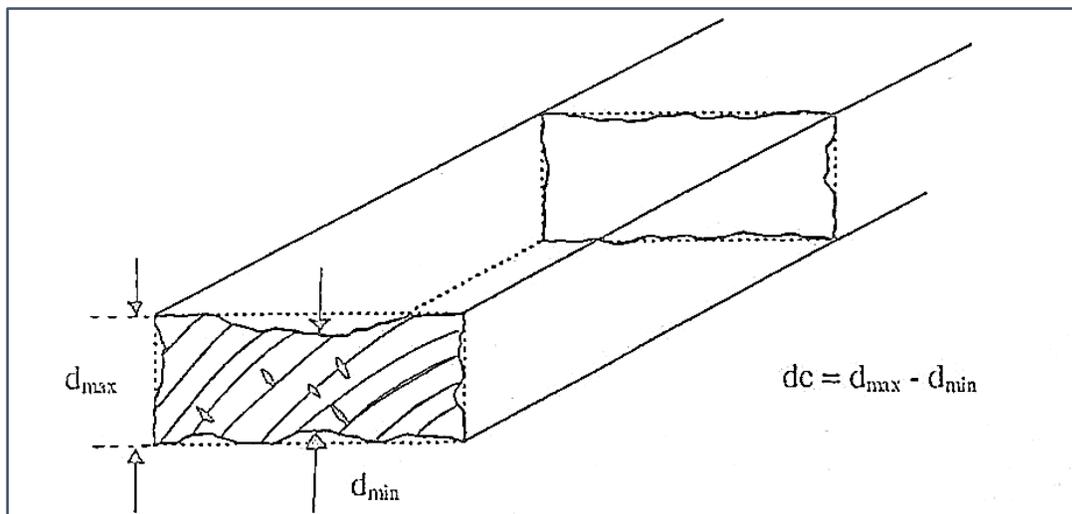


Figura 7: Figura ilustrativa de la medición de la severidad del colapso.

Fuente: EDG (1994).

Tabla 15: Grado de Colapso

Grado de Colapso	Reducción permitida (dc)
Severo	dc < 6 mm (importante pérdida de volumen luego del cepillado)
Moderado	dc < 3 mm (removido por un cepillado profundo)
Bajo	dc < 2 mm (removido con cepillado suave)

Fuente: EDG (1994).

Grietas en las caras, cantos y extremos

La evaluación de grietas en las tablillas de madera se realizó en base a la EDG (1994). Empleando la Tabla 16 para la evaluación de grietas en las caras y cantos y la Tabla 17 para la evaluación de grietas en los extremos.

Tabla 16: Grado de agrietamiento en las caras y cantos

Grado	Profundidad máxima no permitida
Fuerte	>5 mm (en ambas caras) en más del 10% de la carga.
Moderado	2 – 5 mm (en ambas caras) en más del 10% de la carga.
Bajo	<2 mm (en ambas caras) en más del 10% de la carga.

Fuente: EDG (1994).

Tabla 17: Grado de agrietamiento en los extremos

Grado	Longitud máxima no permitida porcentaje de la carga con agrietamiento en los extremos
Fuerte	Longitud >200 mm en más del 10% de la carga.
Moderado	Longitud entre 50 a 200 mm en más del 10% de la carga.
Bajo	Longitud <50 mm en más del 10% de la carga.

Fuente: EDG (1994).

Alabeos

Para este punto de la evaluación se utilizó la metodología de índice de alabeos, aplicada en estudios anteriores por Figueroa (1991), Chambi (2013), entre otros autores. Esta metodología se encuentra adaptada a tablillas de 95 cm de longitud por Chambi (2013), que corresponde al presente estudio. Consiste en clasificar cada tablilla en un nivel para cada tipo de alabeo (Tabla 18), basándose en los límites propuesto en la norma chilena NCH 993 E of 72 de INN (Instituto Nacional de Normalización de Chile).

Tabla 18: Flechas límites permitidos y coeficiente por intensidad y tipo de alabeo para tablillas de 95 cm. de longitud por Chambi (2013)

Tipo de alabeo	Flechas límites por intensidad y tipo de alabeo (mm)			
	A	B	C	D
Acanaladura	0	2	4	>4
Arqueadura	0	4.8	9.3	>9.3
Encorvadura	0	2	4	>4
Torcedura	0	3.5	6.8	>6.8

Donde:

Intensidad alabeo	Coefficiente
A = sin alabeo	0
B = alabeo leve	0,5
C = alabeo leve – fuerte	1
D = alabeo intenso	1,5

Fuente: NCh 993-E Of.72 de INN.

Para calcular el índice de alabeos, se aplicó la siguiente expresión en base a las tablas anteriores:

Ecuación 3: Calculo de índice de alabeos por media ponderada

$$IA = \frac{nA \times 0 + nB \times 0.5 + nC \times 1 + nD \times 1.5}{N}$$

Fuente: Chambi (2013).

Dónde:

IA: Índice de alabeos

nA: Número de piezas sin alabeo

nB: Número de piezas con alabeo leve

nC: Número de piezas con alabeo leve – fuerte

nD: Número de piezas con alabeo intenso

N: Número total de piezas evaluadas

Para la evaluación de la calidad de la madera seca se utilizó una metodología que se basa en la interpretación del índice de alabeo calculado, empleada en estudios anteriores por Figueroa (1991), Chambi (2013), entre otros autores (Tabla 19).

Tabla 19: Determinación de calidad de la madera seca

Calidad del secado	Índice de alabeos
Excelente	0
Muy buena	0,0 a 0,50
Buena	0,51 a 1,00
Regular	1,01 a 1,50
Menos que regular	1,51 a 2,00
Defectuosa	2,01 a 3,0
Mala	3,01 a 5,0
Muy mala	Más de 5,0

Fuente: Figueroa (1991).

3.3.5. Pruebas estadísticas

Para el análisis de los datos obtenidos, se emplearon medidas de tendencia central y de dispersión determinándose la media de los datos, así como el rango y el coeficiente de variación para determinar la significancia de las diferencias observadas. Además, se usarán las pruebas de ANVA y Tukey para evaluar la dispersión de las medias de los valores obtenidos en las diferentes evaluaciones.

3.3.6. Diagnóstico y plan de mejora

Con los resultados finales obtenidos se realizaron recomendaciones que ayuden a la empresa a optimizar el proceso de secado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evaluación antes del proceso de secado

4.1.1. Características del apilado

En base a la NTP 251.134 (2005), los módulos de la carga de madera muestran mayormente alineación de los separadores evidenciándose en algunos módulos falta de verticalidad como se aprecia en la figura 8A y 8B, para evitar el desarrollo de alabeos en las tablillas de Shihuahuaco. Así como la verticalidad de los separadores en los extremos para evitar el desarrollo de grietas en los extremos (Klitzke (2005), Fernández y Conde (2007)).



Figura 8: Verticalidad de separadores y protección de extremos

El ordenamiento de los módulos de pila que conforman la carga de madera en la cámara de secado, como se aprecia en la Figura 9, presentaron espacios entre los extremos de los módulos, lo que induce al desarrollo de grietas en los extremos de las tablillas, por presentar mayor velocidad de secado que los lados (Moreschi, 2005). Así como en la uniformidad de la velocidad del viento entre los módulos que conforman la carga, más aún cuando la velocidad del aire como es el caso de la empresa es menor a los 2.5 m/s recomendados por Denig, Wengert y Simpson (200Asi mismo, no se observó la presencia de direccionadores verticales ni superiores e inferiores que direccionen el

flujo del aire hacia la carga de madera, evitando que se distribuya en los extremos, zona superior e inferior de la carga, dado que el viento fluye siempre por las zonas de menor resistencia (Steiner, 2008; Pezo, 2007).



Figura 9: Ordenamiento de módulos en la cámara de secado

4.1.2. Uniformidad de las dimensiones de separadores

En la Tabla 20 se observan los valores de los espesores de los separadores de las 3 cargas de madera evaluadas.

Tabla 20: Valores de los espesores de los separadores de las 3 cargas

VARIACIÓN DEL ESPESOR DE LOS SEPARADORES – Carga 1.2 y 3					
Carga 1		Carga 2		Carga 3	
Máximo (mm)	26	Máximo (mm)	25.1	Máximo (mm)	25.3
Mínimo (mm)	17.8	Mínimo (mm)	18.1	Mínimo (mm)	17.8
Media (mm)	20.79	Media (mm)	21.80	Media (mm)	21.13
Coef Var (%)	11.56	Coef Var (%)	11.34	Coef Var (%)	12.07

El CV con respecto a la media de las mediciones de los espesores de los separadores de cada una de las tres cargas evaluadas mostró una dispersión de los valores aceptable al ser menores al 30% (Salas, 2018). Ello aseguró la no influencia de los separadores en la formación de los alabeos en la madera y a una efectiva función del control de los alabeos.

En las 3 cargas se observaron que los separadores son de diferente sección: cuadrada, rectangular o en H. Cabe mencionar que en una misma pila se usaban separadores de un solo tipo de sección. Como menciona Pezo (2007) al apilar debe quedar una correcta verticalidad de los separadores, desde arriba hacia abajo, a ambos lados del paquete, caso contrario afecta el flujo de aire generado turbulencia y zonas con menos aire.

JUNAC (1989) menciona que para tablillas de 1" de espesor es recomendable usar separadores de 25 mm de espesor. Además, la NTP 251.134 (2005) recomienda valores mínimos de 15 mm para este espesor de tablillas. Así mismo, Pezo (2007) recomienda un espesor de separadores de 15 a 22 mm. Los valores empleados para las 3 cargas cumplen con lo establecido por la norma peruana y Pezo, sin embargo, para las dimensiones recomendadas por JUNAC las dimensiones de los separadores están por debajo de esta recomendación.

4.1.3. Uniformidad de las dimensiones de la madera húmeda

En la Tabla 21 se observan los valores de los espesores de la madera de las 3 cargas de madera

Tabla 21: Valores de los espesores de la madera de Shihuahuaco de 3 cargas de madera

VARIACIÓN DEL ESPESOR DE LA MADERA DE SHIHUAHUACO					
Carga 1		Carga 2		Carga 3	
Máximo (mm)	29.42	Máximo (mm)	36.63	Máximo (mm)	30.23
Mínimo (mm)	24.37	Mínimo (mm)	23.7	Mínimo (mm)	22.8
Media (mm)	26.13	Media (mm)	26.33	Media (mm)	26.13
Coef Var (%)	4.32	Coef Var (%)	8.79	Coef Var (%)	6.88

En las 3 cargas el espesor de las tablillas presenta coeficientes de variación menores a 30%, siendo así datos aceptables para la presente investigación (Salas, 2018). Como menciona JUNAC (1989), la uniformidad del espesor de las maderas permitió el control del desarrollo de alabeos por los separadores.

Sin embargo, Pezo (2007) menciona que no se debe mezclar piezas con diferente espesor, piezas con 4 mm de sobre dimensión deben secarse a parte ya que estas piezas generan gradientes de humedad, las piezas más delgadas se secan más rápido y esto conduce a generar mayores degradaciones, además generan posibles tensiones. La carga 2 presento diferencias más considerables en el espesor de la madera.

4.1.4. Determinación del contenido de humedad inicial de la madera

En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación del contenido de humedad inicial de las tablillas de madera en las 3 cargas, empleando el método gravimétrico

Tabla 22: Contenido de humedad inicial de las piezas de madera

CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL					
Carga	Muestras	Mínimo (%)	Máximo (%)	Media (%)	Coef Var (%)
1	5	21.26	45.07	32.74	46.32
2	5	18.17	63.05	34.98	48.79
3	5	21.22	71.99	40.12	51.09

El CH inicial promedio de la primera carga fue de 32,74%, de la segunda carga de 34,89% y de la tercera carga de 40,12%. Además, el coeficiente de variación del CH inicial en cada una de las tres cargas fue de 46.32%, 48.79% y 51.09%, siendo mayores al 30%, con una muy alta dispersión de los valores de la humedad inicial de las cargas de madera con respecto a la media no representando a una población homogénea (Salas, 2018). Lo cual influyo negativamente en el desarrollo del proceso de secado para obtener una humedad final uniforme (Denig, Wengert y Simpson, 2000).

Esta situación se debe a que por cada cámara de secado se requirió de 3 camionadas de madera provenientes de aserraderos diferentes, Pezo (2007) menciona que no se deben mezclar maderas con distintos tiempos de aserrados ya que generan una variación mayor de humedad final ya que la distribución de humedad inicial se conserva hasta el final, solo cambia de parámetros.

También ocurre que la madera llega a la planta, es estibada y almacenada hasta completar la cámara de secado, en este transcurso de días e incluso semanas la madera estibada almacenada seca naturalmente. Así los contenidos de humedad inicial muy variables dificultaron el secado y lo prolongaron innecesariamente como lo menciona la JUNAC (1989). Además, con un contenido de humedad inicial homogéneo se logra disminuir consumos de energía, más productividad y mejor calidad final (Pezo, 2007).

4.2. Evaluación durante el proceso de secado

4.2.1. Medición de la velocidad del aire en la cámara de secado

A continuación, se muestra la Tabla 23, con los resultados obtenidos en la medición de la velocidad de viento en la cara de salida de la carga de madera en tres puntos de la cámara de secado con tres repeticiones en cada medición.

Tabla 23: Velocidad del viento en la cámara de secado

VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) SEGÚN EL SENTIDO DE GIRO DEL VENTILADOR			
	Módulo de pila	Promedio (m/s)	Coef Var (%)
Inverso	1	1.2	4.95
	2	0.9	3.15
	3	1.1	4.76
	Promedio	1.07	
Directo	Módulo de pila	Promedio (m/s)	Coef Var (%)
	1	1.6	1.79
	2	1.8	3.27
	3	1.5	3.45
	Promedio	1.6	

En cuanto a la dispersión de los valores de velocidad del viento medidos en la cara de salida de la carga de madera, se determinaron coeficientes de variación en el sentido de giro inverso y directo del ventilador de cada módulo de pila evaluado, siendo representativos de una población homogénea y confiables para la presente investigación, al ser todos los coeficientes de variación menores a 30% (Salas, 2018).

El ANOVA de las medias de las velocidades de viento de los módulos de pila mostraron diferencias significativas en ambos sentidos (INVERSO: $p = 0.001$ y DIRECTO: $p = 0.002$), a un nivel del 5% de significancia fueron mayores las mediciones realizadas en los módulos 1 y 2, en el sentido inverso y directo respectivamente según la prueba de Tuckey, quedando demostrado que la velocidad de viento dentro de la cámara no es homogénea.

La baja velocidad promedio del viento observada en los sentido directo e inverso de 1.6 m/s y 1.07 m/s influyeron negativamente en la uniformidad del secado de las tablillas y el tiempo de duración del proceso. Al respecto, Denig, Wengert y Simpson (2000) recomiendan velocidades de viento dentro de la cámara de 2.5 m/s a 3.5 m/s para lograr un flujo de aire homogéneo en velocidad y valores de temperatura y humedad relativa. Los valores de la velocidad del viento dentro de la cámara son inferiores a esta recomendación. Según las especificaciones de la potencia del motor de los ventiladores de la cámara de secado sí podrían llegar a estos valores (2.5 m/s), pero es decisión de la empresa por cuestiones de consumo de energía emplear bajas velocidades.

Además, Pezo (2007) menciona que es necesario una alta velocidad del aire para renovar el aire húmedo con el aire seco y aumentar la tasa de evaporación. Según Hildebrand (1964) es necesario dentro de la pila de madera una corriente de aire lo suficientemente potente y regular para conseguir un secado uniforme y rápido, ya que el aire es el portador que transporta el calor hacia la madera calentando la humedad contenida en la madera hasta el punto de que esta humedad pueda evaporarse y ser transportada por el aire.

Así mismo la falta de direccionadores de aire verticales, superiores e inferiores no permitieron canalizar el movimiento del aire en forma efectiva hacia la carga de la madera, al respecto Bedeleán (2015) en un análisis comparativo basado en diferentes opciones para la instalación de direccionadores 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 direccionadores dentro del horno de secado tuvo un papel importante en la velocidad media del aire y su uniformidad dentro de la pila de madera. Lo cual es coincidente con lo mencionado por Pezo (2007) al afectar al flujo de aire generando turbulencia y zonas con menor velocidad de aire dentro de la carga.



Figura 10: Evaluación de la velocidad del aire con el anemómetro

4.2.2. Medición de la temperatura y humedad relativa del aire en la cámara de secado

En las Tablas 24, 25 y 26 se muestran los resultados de la medición de los parámetros ambientales del aire en la cámara de secado, en los tres últimos días de la etapa de secado propiamente dicho de las tres cargas de madera, medidos con termohigrómetro portátil y controladores del horno con el objeto de inferir en su operatividad.

En la Tabla 24 puede apreciarse que los coeficientes de variación de los valores de los parámetros ambientales en la cámara de secado con la carga 2, presentaron valores menores al 30% por la poca dispersión de los valores con respecto a la media, siendo por ello considerado los promedios de los parámetros ambientales representativos y confiables para el estudio (Salas, 2018). El ANOVA de las medias de los parámetros ambientales con ambos equipos no mostraron diferencias significativas (temperatura: $p = 0.29$; humedad relativa: $p = 0.31$; EMC: $p = 0.34$), mostrándonos la adecuada operatividad del controlador en el proceso de secado de la carga 1.

Tabla 24: Parámetros ambientales del aire de la cámara, carga 1

PARAMETROS AMBIENTALES – CARGA 1				
Día	Medición (Termohigrómetro)			Lectura (Controlador)
04-nov	T (°C)	49.75	8.36	49.9
	HR (%)	68.00	7.78	60.50
	EMC (%)	11.00	8.41	9.60
05-nov	T (°C)	49.40	5,46	49.30
	HR (%)	65.50	14,56	56.40
	EMC (%)	10.50	7.54	9.00
17-dic	T (°C)	49.08	7.71	50.3
	HR (%)	53.5	7.62	52.2
	EMC (%)	8.3	7.65	8.2

En la Tabla 25 puede apreciarse que los coeficientes de variación de los valores de los parámetros ambientales en la cámara de secado con la carga 2, presentaron valores menores al 30% debido a la poca dispersión de los valores con respecto a la media, siendo por ello considerada en cada caso representativo y confiable para el estudio (Salas, 2018).

El ANOVA de las medias de los parámetros ambientales con ambos equipos mostraron diferencias significativas en la medición de la temperatura del aire de la cámara ($p = 0.045$), siendo al nivel del 5% de significancia mayor la medición realizada por el controlador según la prueba de Tuckey. Consideramos que ello se debe al sentido de giro del ventilador (directo e inverso) y a la heterogeneidad de la velocidad del viento dentro de la cámara, como se mencionó el ANOVA de las medias de las velocidades de viento de los módulos de pila mostraron diferencias significativas (INVERSO: $p = 0.001$ y DIRECTO: $p = 0.002$). Boone et al (1992), menciona que una velocidad del aire menor a 1.5 m/s afecta el correcto funcionamiento del termómetro de bulbo húmedo o placa higroscópica, induciéndolos a medir una temperatura o un contenido de humedad de equilibrio respectivamente superior a la real, por lo que la madera estará en condiciones más secas de lo indica el sensor. Deducimos que esta sería la causa de esta diferencia entre la lectura del instrumento con el controlador, más aun cuando las medias de la humedad relativa ($p = 0.42$) y el EMC ($p = 0.46$) no mostraron diferencias significativas en la medición con ambos equipos.

Tabla 25: Parámetros ambientales del aire de la cámara, carga 2

PARAMETROS AMBIENTALES – CARGA 2				
Día	Medición (Termohigrómetro)			Lectura (Controlador)
04-nov	T (°C)	49.18	1.42	50.00
	HR (%)	59	1.38	58.00
	EMC (%)	9.00	1.4	9.00
05-nov	T (°C)	48.28	0.92	49.90
	HR (%)	54.50	6.78	53.90
	EMC (%)	8.50	4.53	8.10
17-dic	T (°C)	49.25	2.35	51.10
	HR (%)	80.75	13.99	60.00
	EMC (%)	14.00	8.97	9.90

En la Tabla 26 puede apreciarse que con ambos equipos el coeficiente de variación de los valores de los parámetros ambientales en la cámara de secado con la carga 3, presentó valores menores al 30% debido a la poca dispersión de los valores con respecto a la media, siendo por ello considerada en cada caso representativa y confiable para el estudio (Salas, 2018).

El ANOVA de las medias de los parámetros ambientales con ambos equipos no mostraron diferencias significativas (temperatura: $p = 0.499$; humedad relativa: $p = 0.384$; EMC: $p = 0.433$), mostrándonos la adecuada operatividad del controlador en el proceso de secado de la carga 3.

Tabla 26: Parámetros ambientales del aire de la cámara, carga 3

PARAMETROS AMBIENTALES – CARGA 3				
Día	Medición (Termohigrómetro)			Lectura (Controlador)
15-dic	T (°C)	46.25	2.07	49.9
	HR (%)	73.75	7.78	59.4
	EMC (%)	13.5	4.83	9.4
16-dic	T (°C)	51.55	6.91	50.9
	HR (%)	55.75	8.59	53
	EMC (%)	8.5	7.62	8.7
17-dic	T (°C)	49.68	3.43	50.2
	HR (%)	53.5	2.41	50.2
	EMC (%)	8.5	2.98	7.9



Figura 11: Evaluación de temperatura y humedad relativa del aire con Termohigrómetro

4.2.3. Tasa de secado artificial de las tres cargas evaluadas

En la Tabla 27 se aprecia la tasa de secado en porcentaje de humedad extraída por día (%/d) calculada para cada carga de secado evaluada.

Tabla 27: Tasa de secado (%/d) de las 3 cargas de madera evaluadas

CARGAS DE MADERA	CHI (%)	CHF (%)	TIEMPO (horas/días)	TASA DE SECADO (%/d)
1	32.74	10.64	312 / 13	(0.071) 1.7
2	34.99	11.89	318 / 13.25	(0.073) 1.74
3	40.12	10.70	318 / 13.25	(0.093) 2.22

La velocidad de secado observada en las tres cargas de madera de Shihuahuaco (Db 0.87 g/cm³), en términos de tasa de secado expresado por porcentaje de humedad extraído por día alcanza valores entre 1.7 % a 2.22 %, siendo mayor con la presencia del agua libre de mayor tasa de secado que el agua higroscópica (Klitzke, 2005).

Al respecto Álvarez (2019) realizó el secado artificial de madera de 1” de espesor de Estoraque (Db = 0.78 g/cm³), de un contenido de humedad inicial de 42 % hasta un contenido de humedad final de 9 % en 156 horas, con temperaturas de 35° C a 58 °C y contenidos de humedad de equilibrio de 22% a 4% respectivamente, obteniendo tasas de secado de 0.25%/h ó 6.07 %/día, superiores al obtenido con la madera de Shihuahuaco evaluada aun con similares variables climáticas de secado y contenidos de humedad inicial.

En base al promedio de contenido de humedad indicado por las sondas en ocho tablillas de Shihuahuaco se elaboraron las curvas de secado, observándose en las 3 curvas de secado que los testigos al llegar al contenido de humedad del 30% (Punto de saturación de las fibras), la pendiente de la curva disminuye por tratarse de agua higroscópica (Zavala, 2000), y a las bajas temperaturas empleadas en el programa de secado calificado por JUNAC (1989) como suave, que indujo a bajas tasas de secado en las tres cargas de madera de Shihuahuaco.

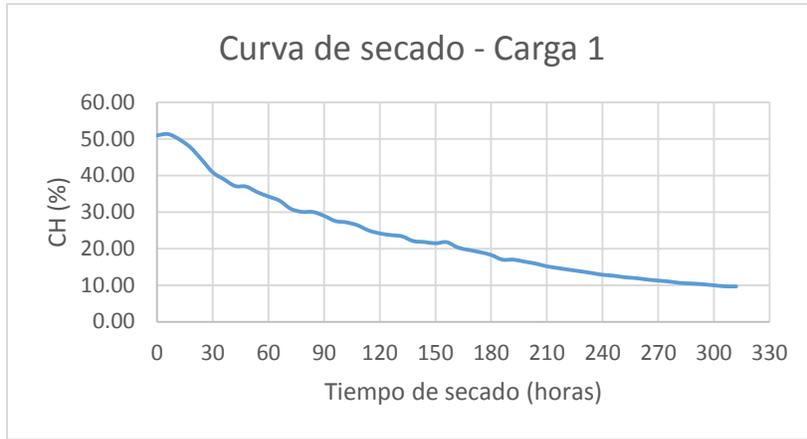


Figura 12: Curva de secado – Carga 1

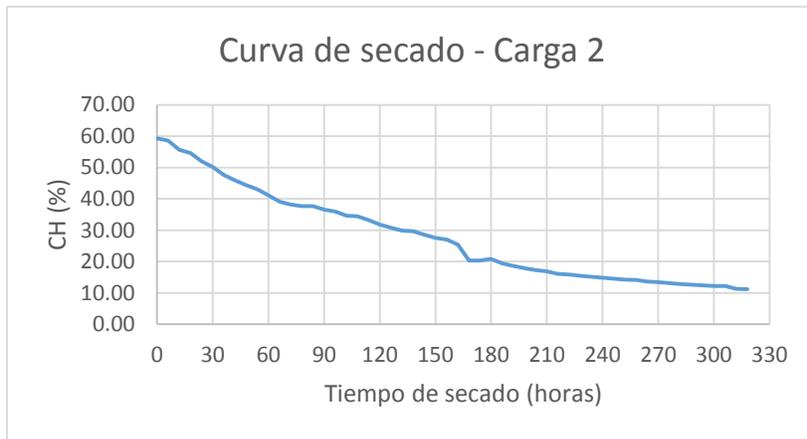


Figura 13: Curva de secado – Carga 2

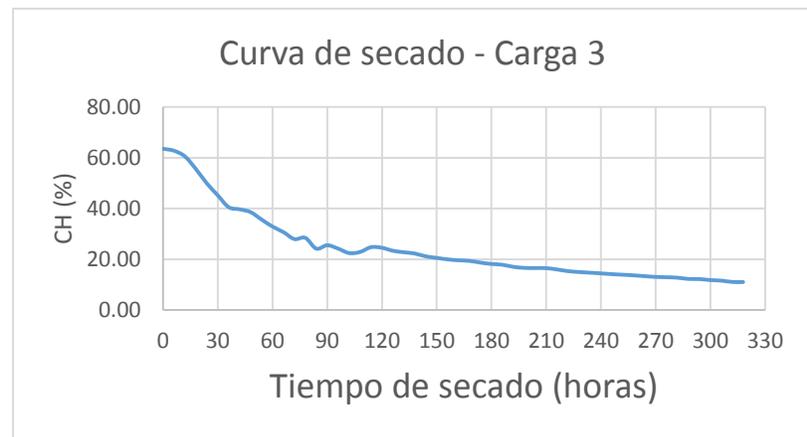


Figura 14: Curva de secado – Carga 3

JUNAC (1989) recomienda para el secado de maderas de alta densidad un programa suave con parámetros que van de 40 °C de temperatura y 15% de Contenido de humedad de equilibrio a una temperatura de 55 °C y 5.2% de Contenido de humedad de equilibrio, en relación a ello el programa de la empresa “Maderera Augen S.A.C.” (Tabla 8) empleado para el secado de la madera de Shihuahuaco usó menores valores de temperatura y mayores valores de contenido de humedad de equilibrio, lo que explica el mayor tiempo de secado obtenido en las tres cargas de secado de madera de Shihuahuaco.

4.2.4. Flujo de calor a través de las paredes del horno de secado

En la Tabla 28 se muestra los valores de la pérdida de calor a través de las paredes de la cámara de secado en cada una de las tres cargas evaluadas según la Ley de Fourier, la cual representó el 2.3% a 3.9% del calor total requerido por la evaporación del agua de la carga de madera respectiva.

Tabla 28: Porcentaje de pérdida de calor a través de las paredes

Carga de madera	Consumo de energía para evaporación del agua (kcal)	Flujo de calor (kcal)	% Perdida de calor a través de las paredes*
1	11424840	267537.9	2.3
2	11424840	266796.1	2.3
3	11424840	449916.2	3.9

*En relación al calor total de la evaporación del agua de la carga de madera

Al respecto Bachrich (1980) señala que, en el proceso de secado en horno, el principal requerimiento de calor es la evaporación del agua de la madera con más del 50% de la energía total, más los demás requerimientos de calor del proceso como el calentamiento de la estructura de la Cámara, madera, agua, aire, compensación de las pérdidas por ventilación y el flujo de calor a través de las paredes del horno.

El porcentaje de perdida por flujo de calor hallado a través de las paredes en condiciones de mayor temperatura del proceso indica el adecuado aislamiento térmico de las paredes de la cámara de

secado no influyendo negativamente en el consumo de energía y en el tiempo del desarrollo del proceso (JUNAC, 1989)

4.3. Evaluación después del proceso de secado

4.3.1. Contenido de humedad final (CHF)

Representatividad de la media del Contenido de la humedad final (CHF)

En la Tabla 29 se muestra la dispersión de los valores de CHF de 225 tablillas de Shihuahuaco, observándose que la media del CHF de la carga 2 es mayor al CHF esperado del 10%. Así mismo el rango de CHF de las tres cargas fue mayor al rango de aceptación establecido por *European Drying Group* (EDG) (Tabla 30), presentando un coeficiente de variación con respecto a la media de 20.58%, 24.55% y de 42.21% para las cargas de madera 1, 3 y 2 respectivamente, siendo la media del CHF de la carga 2 calificada de “no aceptable o confiable” como valor representativo para el análisis, al ser el coeficiente de variación mayor al 30% (Salas, 2018).

Tabla 29: Dispersión de los valores de CH final de tablillas de Shihuahuaco

Contenido de humedad Final (%)			
	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Media	10.04	11.89	10.7
Rango	24.9 – 6.35	46.35 – 6.8	22.25 – 6.05
Coef Var (%)	20.58	42.21	24.55

Evaluación del CHF en base a las recomendaciones del EDG

La evaluación se realizó en base al contenido de humedad final del 10% requerido por la empresa Maderera Augen S.A.C y las recomendaciones de calidad especificadas en la *European Drying*

Group (EDG, 1994), estableciéndose un rango de aceptación de +/-3%, es decir del 7% hasta el 13%, y el número no permitido de tablillas con un CHF fuera del rango de aceptación ≥ 23 (número límite).

Observándose que, de la muestra de 225 tablillas evaluadas en cada una de las 3 cargas de madera, 30 tablillas (13.3 %) de la carga 1, 53 tablillas (23.5%) de la carga 2 y 39 tablillas (17.3%) de la carga 3, exceden el número límite de tablillas con un contenido de humedad final fuera del rango de aceptación como se muestra en la Tabla 30. El diagnóstico determinado en las muestras califica a las 3 cargas de madera como “lotes no conformes”, al no hallarse los resultados esperados de CHF (10%) en las tablillas de Shihuahuaco mediante el proceso de secado desarrollado por la empresa.

Tabla 30: Diagnóstico del CHF de 3 cargas de madera – Recomendaciones EDG

	Rango de CHF	Tablillas con CHF < ó > al rango		Diagnostico (*)
		Numero	Porcentaje	
Carga 1	CHF >13% o <7%	30	13.3%	Excede
Carga 2	CHF >13% o <7%	53	23.5%	Excede
Carga 3	CHF >13% o <7%	39	17.3%	Excede

* Nivel de confianza del 90%.

Las causas que explican la variación del contenido de humedad final son entre otras:

- El coeficiente de variación del 46.32 % al 51.09 % del contenido de humedad inicial observados en las tres cargas de madera, lo cual influyo negativamente en el desarrollo del proceso de secado para obtener una humedad final uniforme (Denig, Wengert y Simpson, 2000).
- El programa de secado empleado por la empresa presenta valores de temperatura menores que el tipo de programa de secado suave del Manual de secado de la Junta del Acuerdo de

Cartagena (JUNAC 1989), 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.

- La velocidad del aire de 1.5 a 1.8 m/s fue determinada en las tres cargas de secado menor a los 2.5 m/s recomendados por Denig, Wengert y Simpson (2000); Pezo (2007) y Hildebrand (1964) para lograr dentro de la pila de madera una corriente de aire lo suficientemente potente y regular para conseguir un secado uniforme y rápido.
- La falta de direccionadores del viento verticales, superiores e inferiores de la cámara para orientar al viento hacia la madera, optimizando la duración del proceso de secado y la uniformidad de la humedad final (Bedelean, 2015)
- La empresa Maderera Augen S.A.C. no desarrolla la etapa de igualación del proceso de secado artificial para lograr la uniformidad de la humedad final requerida por el mercado chino. La etapa de igualación permite disminuir CHF al considerar como guía a la muestra de control del proceso con mayor humedad, manteniendo la etapa de “secado propiamente dicho” hasta que la muestra alcance el CHF buscado (10%) (JUNAC 1989). Al respecto Gu et al. (2004) señala que la variabilidad de la humedad final se reduce significativamente con la etapa de igualación. Asimismo, Ducatti, Jankowsky y Andrade (2001) indican que para lograr un patrón de calidad superior en la distribución del contenido de humedad final es necesario corregir las deficiencias en las etapas de igualación del cual depende el rango de humedad final entre las tablillas

4.3.2. Gradiente de humedad (GH)

Representatividad de la media del Gradiente de humedad (GH)

En la Tabla 31 se muestra la dispersión de los valores de GH de las tablillas de Shihuahuaco, observándose que la media del GH en las tres cargas de madera fue menor al GH límite de aceptación según las recomendaciones de EDG. Pero el rango de GH en las tres cargas fue mayor al rango de aceptación establecido por EDG (Tabla 34), con un coeficiente de variación mayor al 30% para las tres cargas de madera, siendo por ello la media del GH de las tres cargas “no aceptables o confiables” como valores representativos para el análisis (Salas, 2018).

Tabla 31: Dispersión de los valores de Gradiente de humedad de tablillas de Shihuahuaco

GRADIENTE DE HUMEDAD (%)			
	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Media	0.62	0.90	0.59
Rango	0 - 8.3	0 – 9.4	0 – 8.3
CV%	136.27	154.81	136.15

Evaluación del GH en base a las recomendaciones del EDG

La evaluación se realizó en base al límite de aceptación $> 2\%$ y al número no permitido de tablillas con un GH mayor al límite de aceptación ≥ 23 (número límite).

Observándose que, de la muestra de 225 tablillas evaluadas en cada una de las 3 cargas de madera, 4 tablillas (1.8 %) de la carga 1, 23 tablillas (10.2 %) de la carga 2 y 7 tablillas (3.1%) de la carga 3 sobrepasan el límite de aceptación, por lo que le correspondió a la muestra de la carga 2 el diagnóstico de “excede” el número límite de aceptación, como se muestra en la Tabla 32. Por lo que la carga 2 fue calificado como “lote no conforme” al no hallarse los resultados esperados de GH en las tablillas de Shihuahuaco con el proceso de secado desarrollado por la empresa.

Tabla 32: Diagnóstico del GH de 3 cargas de madera de Shihuahuaco – Recomendaciones EDG

	Límite de observación	Tablillas que exceden		Diagnostico (*)
		Numero	Porcentaje	
Carga 1	Gradiente de humedad > 2%	4	1.8%	No excede
Carga 2	Gradiente de humedad > 2%	23	10.2%	Excede
Carga 3	Gradiente de humedad > 2%	7	3.1%	No excede

* Nivel de confianza del 90%

La causa de la variación del GH es el no considerar la etapa de acondicionamiento final al término del proceso de secado artificial. El acondicionamiento final permite disminuir GH al considerar como guía a la muestra de control del proceso con menor humedad, manteniendo el sistema de humedecimiento hasta que alcance el CHF buscado (10%) (JUNAC 1989).

Al respecto Quintanar (2018) indica que la humedad final y el gradiente de humedad de la madera son los parámetros más importantes para considerar para los distintos propósitos en el que será utilizada, así como para medir la calidad del proceso por la uniformidad de la humedad final lograda.

La presencia de la gradiente de humedad a su vez induce a la aparición de deformaciones y posterior desarrollo de grietas, por ello es importante reducirlas o eliminarlas al final de la etapa del secado propiamente dicho e igualación mediante el acondicionamiento final. (Simpson, 1991; Fernández, 2007; Pezo, 2007).

Asimismo, Ducatti, Jankowsky y Andrade (2001) indican que para lograr un patrón de calidad superior en la distribución del contenido de humedad final y las tensiones residuales es necesario corregir las deficiencias en las etapas de igualación y acondicionamiento final. Por ello se debe emplear las etapas del proceso de secado artificial para reducir el tiempo de secado y disminuir el rango de humedad final entre las tablillas y el gradiente de humedad en cada tablilla.

4.3.3. Defectos de forma y estructura

Colapso

En la Tabla 33 se muestra la evaluación del colapso en base a 225 tablillas de madera. Como menciona Hildebrant (1964), el colapso se presenta cuando se maneja un secado inadecuado con temperaturas excesivamente altas en madera humedad y en tablones.

Tabla 33: Presencia de colapso en las cargas evaluadas

COLAPSO	
Carga	Condición
1	No presenta
2	No presenta
3	No presenta

En base a lo indicado por la EDG, en ninguna de las tres cargas de madera evaluadas se observaron tablillas colapsadas, ello coincide con Tropix (2012) quien afirma que el Cumarú o Shihuahuaco no es una especie con riesgo a presentar colapso en el secado.

Grietas en caras y canto

La reacción de las tablillas de Shihuahuaco al programa de secado empleado muestra que las grietas fueron un defecto que se presentó de forma poco frecuente en las tablillas evaluadas, como se muestra en la Tabla 34. Su presencia no represento un problema según la EDG (1994) ya que ninguno de estos valores supero el 10% de tablillas con estos grados de agrietamientos permitidos.

Tabla 34: Porcentaje de tablillas con presencia de grietas en las caras y cantos

Porcentaje de tablillas con grietas en las caras y cantos (*)			
Grado	Carga 1	Carga 2	Carga 3
FUERTE	0	0	0
MODERADO	4.4 %	2.7%	0.9%
BAJO	0.4 %	0.9%	0

*En base a las 225 tablillas evaluadas



Figura 15: Presencia de grietas en la cara y cantos

Las escasas grietas observadas en caras y canto se deben a la baja velocidad del aire y las bajas temperaturas de secado del programa empleado en el proceso (JUNAC, 1989; Denig, Wengert y Simpson, 2000).

Grietas en extremos

En la Tabla 35 se muestran el porcentaje de tablillas con grietas en los extremos según su grado de clasificación, observándose que en ninguna de las cargas el porcentaje de tablillas con este defecto supero el porcentaje de tablillas permitidos con este defecto (EDG, 1994).

Tabla 35: Porcentaje de tablillas con presencia de grietas en los extremos

Porcentaje de tablillas con grietas en los extremos (*)			
Grado	Carga 1	Carga 2	Carga 3
FUERTE	0	0.4%	0
MODERADO	0.4%	1.3%	0.4%
BAJO	0.9%	0.4%	0.4%

*En base a las 225 tablillas evaluadas

La mayor separación entre los paquetes de madera induce a un mayor flujo de aire ocasionando grietas en los extremos de la madera. Así mismo la incorrecta colocación de los separadores en los extremos de la madera induce al desarrollo de este defecto. (JUNAC, 1989; Pezo, 2007).



Figura 16: Presencia de grietas en la cara y los extremos

Alabeos

En la Tabla 36 se muestran los porcentajes de tablillas con y sin alabeo, observándose en las tres cargas de madera un mayor porcentaje de tablillas alabeadas que las no alabeadas. Determinándose

en promedio 70.37% de tablillas alabeadas de las 225 tablillas de la muestra, porcentaje según la prueba de Tuckey significativamente mayor al 29.63 % de tablillas sin alabeos.

Tabla 36: Porcentaje de tablillas de Shihuahuaco sin y con alabeo en tres cargas de madera

Porcentaje de tablillas sin y con alabeo (*)					
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Promedio	P. Tuckey
Sin alabeos	32.89 %	26.67 %	29.33 %	29.63%	A
Con alabeos	67.11 %	73.33 %	70.67 %	70.37%	B
Total	100%	100%	100%	100%	

*En base a 225 piezas evaluadas

La causa principal del alto porcentaje de tablillas alabeadas se debe principalmente al grano entrecruzado que presenta la especie Shihuahuaco, al respecto Tropix (2012) y Chambí (2013) mencionan que el Cumarú es una especie que presenta riesgo de combarse. Por otro lado, Denig, Wengert y Simpson (2000) afirman que estos alabeos ocurren en madera con vetas en espiral, onduladas, diagonales, distorsionadas o entrelazadas y que madera con estas características de grano requieren adecuados procedimientos de apilamiento.

En la Tabla 37 se muestran los porcentajes de tablillas según el tipo de alabeo, observándose una tendencia en las tres cargas de madera al desarrollo de la Arqueadura (combado) (Figura 17A) con un porcentaje promedio de tablillas del 53.76% significativamente mayor al porcentaje promedio del acanalado 1.72 %. (Figura 17B).

Tabla 37: Porcentaje de tablillas según el tipo de alabeo en tres cargas de madera

PORCENTAJE DE TIPO DE ALABEO

Tipo de alabeo	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Promedio	P. Tuckey
Arqueadura	27.15 %	62.42 %	71.7 %	53.76 %	A
Torcedura	40.4 %	7.28 %	20.75 %	22.81 %	AB
Encorvadura	29.14 %	29.7 %	6.29 %	21.71 %	AB
Acanalado	3.31 %	0.6 %	1.26 %	1.72 %	B
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100%	



Figura 17: A. Acanaladura B. Abarquillado C. Torcedura

Los alabeos que se presentaron con más frecuencia fueron los de Arqueadura, Torcedura y Encorvadura. Para torceduras, se reconoce cuando al colocar la pieza en una superficie plana, se observa el levantamiento de una o más aristas en diferentes direcciones. Mientras que la Arqueadura se reconoce cuando al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa una luz entre la cara de la pieza y la superficie de apoyo. (JUNAC, 1989).

Las causas de la presencia de Encorvadura es la presencia de maderas con variación dimensional que ocasiona piezas sueltas en la pila induciendo al desarrollo de alabeos. Así como la Torcedura se genera por variaciones dimensionales en el espesor, mal apilado y falta de carga en los contrapesos, dado que los separadores son los responsables de transmitir la carga entre paquetes y el mal alineamiento se traduce en deformaciones de las tablillas que la constituyen (Pezo, 2007; JUNAC, 1989).

Calidad de las tablillas secas en base al índice de alabeos

Se clasificaron las tablillas por nivel de alabeo y tipo, basándose en los límites propuesto en la norma chilena NCH 993 E of 72 de INN (Instituto Nacional de Normalización de Chile). Calculándose el índice de alabeos (ecuación 3) como razón de la suma del producto del número de tablillas por nivel de alabeo por la intensidad asignada al nivel (Tabla 21), entre el número total de tablillas evaluadas. La interpretación del índice de alabeos (Tabla 22) permite señalar que el secado de las tablillas es bueno a muy buena, al ser el alabeo del mayor número de tablillas considerado como “alabeo leve” (B) en relación con los Alabeos Leve-fuerte (C) e intenso (D), y que las flechas de los alabeos presentes puede eliminarse con el posterior proceso de cepillado sin afectar el espesor final de las tablillas para el mercado chino. (JUNAC, 1989; Connors, 2012)

Tabla 38: Calidad de las tablillas secas en base al índice de alabeos

CARGA	NIVEL DE ALABEO				Índice de alabeos	Calidad de madera seca
	A	B	C	D		
1	83.22%	5.44%	6.33%	5.00%	0.66	Buena
2	81.67%	11.89%	4.78%	1.67%	0.43	Muy buena
3	82.33%	14.00%	2.44%	1.22%	0.45	Muy buena

Además, cabe mencionar que el tipo de programa de secado suave (JUNAC, 1989), el uso de separadores de espesor uniforme y el correcto apilado, a pesar de que no se usaron bloques de concreto sobre las pilas de madera, contribuyeron al bajo índice de alabeos de las tablillas de Shihuahuaco (Denig, Wengert y Simpson, 2000; Pezo, 2007).

5. CONCLUSIONES

1. El Contenido de Humedad inicial heterogéneo influyo negativamente para alcanzar un contenido de humedad final uniforme al término del proceso de secado.
2. La baja velocidad del aire durante el proceso influyo negativamente en la tasa de secado, el tiempo de secado y uniformidad de la humedad de la madera seca.
3. Con respecto al seguimiento de los parámetros ambientales, no existe una diferencia entre la lectura del controlador y la medición del termohigrómetro.
4. El programa de secado empleado por la empresa presenta variables climáticas que la clasifican como un programa suave.
5. El porcentaje de perdida por flujo de calor hallado a través de las paredes de la cámara en condiciones de mayor temperatura del proceso de secado indica un adecuado aislamiento térmico.
6. La dispersión de los valores de contenido de humedad final de las tablillas de Shihuahuaco con respecto a la media indujo al diagnóstico de las 3 cargas de madera como “lotes no conformes” según las recomendaciones de EDG.
7. El Gradiente de humedad de las tres cargas mostraron una dispersión de valores que los califican estadísticamente de “no aceptables o confiables”, que indujo a diagnosticar a la carga de madera 2 como “lote no conforme” según las recomendaciones de EDG.

8. Las tablillas secas no presentaron colapso ni defectos de forma y estructura no permitidos por las recomendaciones de EDG en ninguna de las 3 cargas.
9. Las tablillas secas de Shihuahuaco tienden a mostrar alabeos, siendo la Arqueadura el alabeo significativamente más frecuente que la Acanaladura.
10. La falta de implementación de las etapas de Igualación y el Acondicionamiento final en el proceso de secado indujo a la alta dispersión de los valores de Contenido de humedad final y Gradientes de humedad de las tablillas de Shihuahuaco.
11. El secado de la madera de Shihuahuaco fue inadecuado por la no uniformidad del contenido de humedad final, mas no por el desarrollo de defectos de forma y estructura.

6. RECOMENDACIONES

1. Elegir el programa de secado adecuado para la especie de Shihuahuaco permitirá optimizar el tiempo del proceso de secado y minimizar el desarrollo de defectos.
2. Implementar las etapas de Igualación y Acondicionamiento final en el proceso de secado artificial permitirá controlar el rango del contenido de humedad final y la gradiente de humedad de las tablillas.
3. Uniformizar las características inherentes a la madera, como el contenido de humedad inicial y el espesor de las tablillas a secar, antes del proceso de secado permitirá obtener un producto con mayor calidad de secado.
4. Optimizar las características operativas del horno de secado en relación a la potencia de calentamiento de la caldera, la velocidad del aire en la cámara de secado y el uso de direccionadores o deflectores para la canalización del aire sobre la carga de madera.

7. BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, M; KIKATA, Y. (1994). Atlas de maderas del Perú. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina - Universidad de Nagoya Japón.

ACUÑA, J. (1996). Control de calidad: un enfoque integral y estadístico. Costa Rica. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/246629549/Jorge-Acuna-Un-enfoque-integral-y-estadistico>

BACHRICH, J. L. (1980). Dry kiln handbook. Vancouver: H.A. Simons (international) Ltd.

BEDELEAN, B. (2015). 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.

BERBEROVIC, A.; MILOTA, M. (2011). Impact of Wood Variability on the Drying Rate at Different Moisture Content Levels. Forest Products Journal, v. 61, n. 6.

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

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

CHAMBI, R. (2013). Estudio del secado convencional y rendimiento de *Dipteryx micrantha harms*, en el aserradero forestal Río Piedras S.A.C -Tambopata, Madre de Dios. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios).

CHAVESTA, M. (2005). Madera para pisos. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina.

CITEMADERA. (2009). Técnicas de Secado de la Madera/Serie 1: Competencias Básicas para la Producción Industrial de Muebles de Madera. Lima, Perú.

CITEMADERA. (2017). Manual para Operadores de Secadores convencionales para Madera. Lima, Perú.

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

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

DUCATTI, M. A.; JANKOWSKY, P. I.; ANDRADE, A. (2001). Condições operacionais de secagem convencionais em indústrias de madeira no município de Tietê SP. Scientia Forestalis, n. 59.

EDG (European Drying Group). (1994). EDG-Recommendation – Assessment of drying quality of timber (Pilot edition for testing). Editor: Welling, J. Published by: Federal Research Center of Forestry and Forest Products, Hamburg, Germany

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

FIGUEROA, R. (1991). Secado artificial de madera de Coigüe (*Nothofagus dombeyi*), previa aplicación de un pretratamiento de inmersión en agua caliente. (Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile).

GU, H. et al. (2004). Potential sources of variation that influence the final moisture content of kiln-dried hardwood lumber. *FOREST PRODUCTS JOURNAL* Vol. 54.

HILDEBRANT R. (1964). El secado de la madera aserrada. Universidad de Bio- Bio. Barcelona, España.

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

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

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

LAMB, F.M. (1994). Targeting and achieving the final moisture content. Profitable solutions for quality drying of softwoods and hardwoods.

MORESCHI, J. C. (2005). Propriedades tecnológicas da madeira Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Atualização: setembro/ – Brasil.

NORMA INTERNACIONAL ISO 9000 (2015). Sistemas de gestión de la calidad: Fundamentos y vocabulario.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.010. (2014). Madera. Método para determinar el contenido de humedad.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.101. (1988). Madera aserrada. Defectos. Definiciones y clasificación.

NORMA TECNICA PERUANA (NTP) 251.134. (2005). SECADO DE LA MADERA. Apilado horizontal de la madera aserrada.

N CH 993. (1972). MADERA - PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA CLASIFICACIÓN. Instituto Nacional de Normalización.

PEZO, J. (2007). Secado de Madera. 1ra edición. D-72622 Nurtingen Germany. Mahild drying technologies.

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

QUINTANAR, O. J. (2018). Methodology for evaluation of quality control in artificial wood drying. Revista de Investigación y Desarrollo Vol.4 (13).

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

SERFOR. (2021). Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2020. Recuperado de: <http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/928/1/SERFOR%202021%20Anuario%20FFS%202020.pdf>.

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

SIMPSON, W. T. (1991). Dry Kiln Operator's Manual. Madison, WI: U.S.A Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

STEINER Y. (2008). Optimizing the air velocity in an industrial Wood drying process. Norwegian University of Life Sciences. Noruega.

TROPIX. (2012). South American Woods. Francia. Recuperado de:
<https://tropix.cirad.fr/FichiersComplementaires/EN/America/CUMARU.pdf>

TUSET, R.; DURAN, F. (1986). Manual de maderas comerciales, equipos y proceso de utilización: aserrado, secado, preservación, descortezado, partículas. Edit agrop. Hemisferio Sur. Montevideo. Uruguay.

VIGNOTE, P. S.; MARTINEZ, R. I. (2006). Tecnología de la madera. 3a edición. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, Barcelona, México.

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

ZAVALA, D. (2000). Secado de maderas tropicales en estufas convencionales. Madera y Bosques. SAGAR - México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

8. ANEXOS

Anexo 1: Valores de la velocidad del viento (m/s) según el sentido de giro del ventilador

VALORES DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) SEGÚN EL SENTIDO DE GIRO DEL VENTILADOR			
	Módulo de pila	Repetición	Valor (m/s)
Inverso	1	1	1.1
		2	1.2
		3	1.2
	2	1	0.9
		2	0.95
		3	0.9
	3	1	1
		2	1.1
		3	1.05
	Módulo de pila	Repetición	Valor (m/s)
Directo	1	1	1.6
		2	1.6
		3	1.65
	2	1	1.7
		2	1.8
		3	1.8
	3	1	1.45
		2	1.4
		3	1.5

Anexo 2: ANVA de la velocidad de viento en sentido inverso

Análisis de Varianza de valores de velocidad de viento en sentido inverso					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C1	2	0.09389	0.046944	21.13	0.002
Error	6	0.01333	0.002222		
Total	8	0.10722			

Anexo 3: Prueba de Tukey de valores promedio de velocidad de viento en sentido Inverso

Prueba de Tukey de valores promedio de velocidad de viento en sentido inverso al 95%				
C1	N	Media	Agrupación	
1	3	1.1667	A	
2	3	1.0500	A	
3	3	0.9167		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 4: ANVA de la velocidad de viento en sentido directo

Análisis de Varianza de valores de velocidad de viento en sentido directo					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C1	2	0.15056	0.075278	33.87	0.001
Error	6	0.01333	0.002222		
Total	8	0.16389			

Anexo 5: Prueba de Tukey de valores promedio de velocidad de viento en sentido directo

Prueba de Tukey de valores promedio de velocidad de viento en sentido directo al 95%					
C1	N	Media	Agrupación		
2	3	1.7667	A		
1	3	1.6167		B	
3	3	1.4500			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 6: Dimensiones iniciales de las tablillas de la carga 1

N° de muestra	DIMENSION INICIAL			
	Extremo 1		Extremo 2	
	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
1	25.6	145.35	25.2	145
2	27.3	145.7	25.7	148.9
3	26	145.9	25.5	146.35
4	26.4	145.4	26.2	146.45
5	26.2	147.6	27.3	148.8
6	25.7	146.4	25	145.35
7	28	146.7	27.9	146.65
8	26	145.3	28.3	145.7
9	24.5	148.4	25.9	148.5
10	25.95	146.9	25.4	146.5
11	25.5	145.35	25.4	145
12	25.55	146.35	26.7	148.2
13	25.25	147.4	25.57	146.1
14	25.25	144.85	25.25	144
15	26	144.6	26.2	143.5
16	24.95	143.6	25.2	142.45
17	24.65	142.8	25.65	142.7
18	25.6	144.5	24.7	142.95
19	25.25	142.4	24.45	143.7
20	25	144.5	25.45	144.3
21	24.3	144.1	25.2	142.8
22	25.95	143.6	25.85	144.8
23	25.05	143.6	25.8	144.4
24	25.15	144.7	25.6	144.55
25	25.75	144.25	25	144.4
26	26	143.15	25.45	144.9
27	24.9	143.5	26.1	144.4
28	25	143	25.3	142.9
29	26.8	145.3	26.8	144.8
30	23.6	144.4	24.5	144
31	28.2	148.2	28.6	149.4
32	28	145.7	27.4	146
33	28	149.5	28.5	149.3
34	27.95	150.55	26.65	151.6
35	28.7	148	29.65	147.9
36	26.8	152	27.7	150.6
37	27.95	150	28.35	150.2
38	26.4	149	26.3	150.7
39	26	149.1	26	149.7
40	25.95	149.15	25.55	148.6
41	25.55	149.5	26.25	150.2
42	25.05	148.7	26.1	153.4
43	25.45	146.2	25.95	146.9
44	25.8	148.25	25.2	148.6
45	26.4	149.25	25.25	148.8
46	24.5	148.5	24	148.5
47	25.55	150.5	25.55	151.75
48	24.6	143.4	25.4	142.3
49	26.2	145.9	28	150
50	25.7	147	27	148.3

Anexo 7: Dimensiones de los separadores de la carga 1

SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Observación
1	24.1	23	107.1	CUADRADA
2	23	23	104.9	CUADRADA
3	25	25	105.1	CUADRADA
4	31	22	106.1	CUADRADA
5	3	21	107	CUADRADA
6	24	23	105.1	CUADRADA
7	24	23	104.9	CUADRADA
8	24	24	105.2	CUADRADA
9	23.5	24	98.3	CUADRADA
10	25	26	105.1	CUADRADA
11	24	24	106.5	CUADRADA
12	26	26	105	CUADRADA
13	25	26	105	CUADRADA
14	25	26	104.9	CUADRADA
15	23	24	105	CUADRADA
16	23.2	23.1	105	CUADRADA
17	22.65	22.5	106	CUADRADA
18	17.8	23.1	105	CUADRADA
19	23	23.3	104.3	CUADRADA
20	22.3	23.3	104.7	CUADRADA
21	23	23.2	104.9	CUADRADA
22	24.7	25.7	105	CUADRADA
23	25.4	25.3	105	CUADRADA
24	24.7	25	105.4	CUADRADA
25	25.4	25	105	CUADRADA
26	24.7	24.9	105.3	CUADRADA
27	25.7	24	105	CUADRADA
28	23.2	23.2	106.1	CUADRADA
29	23	22.6	104.9	CUADRADA
30	20.7	24.3	107	CUADRADA
31	23.2	23.2	104.8	CUADRADA
32	22.7	23.1	106.4	CUADRADA
33	23	23.1	105	CUADRADA
34	20.9	23.3	106.2	CUADRADA
35	23.2	23.2	104.6	CUADRADA
36	18.7	18.6	105	EN H
37	19.4	18.6	105	EN H
38	20.8	20.5	105	EN H
39	20.3	19.8	105	EN H
40	19.7	19.4	106.3	EN H
41	19.7	19.4	105	EN H
42	19.1	18.3	106.3	EN H
43	19.3	19	106	EN H
44	19.7	19.3	105	EN H
45	18.8	20	106	EN H
46	19.2	19.6	106.5	EN H
47	19.3	18.3	105	EN H
48	19.5	19.5	106	EN H
49	19.2	18.9	106.5	EN H
50	20	19.2	106.3	EN H

SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Observación
51	19.2	19.8	106	EN H
52	19.8	18.6	98	EN H
53	19	18.5	105.3	EN H
54	19.8	19.2	105	EN H
55	18.9	19.2	105	EN H
56	19	20	106.4	EN H
57	19.4	19.7	105	EN H
58	20.2	18.9	106.5	EN H
59	19.9	18.6	99.2	EN H
60	19.9	19.4	100	EN H
61	19.3	19.2	103.3	EN H
62	18.9	18.3	106.5	EN H
63	19.1	19.4	105	EN H
64	18.8	18.4	106	EN H
65	19.5	19.5	106	EN H
66	20.2	18.8	106	EN H
67	19.4	18.9	104.5	EN H
68	19.9	19.5	104.8	EN H
69	18.5	18.4	105	EN H
70	18.8	18.7	105	EN H
71	19.8	17.8	105.3	EN H
72	19.2	19.9	106.8	EN H
73	19.4	19.3	106.4	EN H
74	19.5	18.5	106	EN H
75	19.8	19.7	106.5	EN H
76	19.3	19.2	106	EN H
77	18.2	18.6	106	EN H
78	19.3	19	105	EN H
79	19.3	20.3	105	EN H
80	19.3	19.7	106.2	EN H
81	19.9	19.7	104.8	EN H
82	19.5	19.7	105	EN H
83	19.4	19.5	106	EN H
84	19.7	18.7	105	EN H
85	19.6	18.7	105	EN H
86	19.3	19	105	EN H
87	19.1	18.6	105	EN H
88	18.8	19.9	105	EN H
89	19.4	19	105	EN H
90	19.5	19.5	105.5	EN H
91	19.4	19	105	EN H
92	19.2	19.2	104	EN H
93	18.7	18.7	106.5	EN H
94	19.6	18.4	104.5	EN H
95	19	19.2	105	EN H
96	19.7	19.4	104.8	EN H
97	19.7	19.2	106	EN H
98	19.7	19.1	105.2	EN H
99	19.7	19.6	105	EN H
100	18.3	19.2	106	EN H

Anexo 8: Calculo de contenido humedad inicial de la madera de la carga 1

PROBETA	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	CH inicial (%)
1	78.28	48.01	63.05
2	159.22	134.74	18.17
3	89.99	70.00	28.56
4	78.28	57.39	36.40
5	86.74	67.63	28.26
PROMEDIO			34.89

Anexo 9: Medición de la temperatura y humedad relativa de la cámara de la carga 1

Medición	Repetición	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
04-nov	1	53.5	70
	2	53.2	62
	3	46.1	75
	4	46.2	65
05-nov	1	52.5	55
	2	46	60
	3	49	75
	4	50.1	72
08-nov	1	42.8	45
	2	42.7	46
	3	37.3	50
	4	37.5	53

Anexo 10: ANVA de los valores de temperatura del ambiente de la carga 1

Análisis de Varianza de valores de Temperatura del Ambiente – Carga 1					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	0.2688	0.2688	1.47	0.292
Error	4	0.7313	0.1828		
Total	5	1.0001			

Anexo 11: ANVA de los valores de Humedad Relativa del ambiente de la carga 1

Análisis de Varianza de valores de humedad relativa del Ambiente – Carga 1					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	53.40	53.40	1.38	0.305
Error	4	154.61	38.65		
Total	5	208.02			

Anexo 12: ANVA de los valores de contenido de humedad de equilibrio de la carga 1

Análisis de Varianza de valores de contenido de humedad de equilibrio - Carga 1					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	1.500	1.500	1.17	0.340
Error	4	5.113	1.278		
Total	5	6.613			

Anexo 13: Temperatura de las paredes internas y externas de la cámara para la carga 1

DIA		04-nov	05-nov	08-nov
Pared	Repetición	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Interna	1	33	40	33
	2	50	36	31.8
	3	34	33	32.9
	4	39	31	32.7
Coef. Var. (%)		19.97	11.19	1.68
Promedio		39	35	32.6
Promedio general		35.53		
Externa	1	21.2	21.4	20.8
	2	23.75	25.3	21.6
	3	21.8	23.9	22.2
	4	23.3	20.2	25.3
Coef. Var. (%)		5.37	10.22	8.76
Promedio		22.5125	22.7	22.475
Promedio general		22.56		

Anexo 14: Ley de Furier para la carga 1

LEY FOURIER	
Diferencia de temperatura	12.97
Resistencia de flujo	1.40001463

F estándar (kcal/m2. h)	F de cámara (KCAL/H)	F de Proceso (kcal)
9.3	857.5	267537.9

Chi	Chf	Diferencia de CH (decimal)	Q de agua (kilos)	Kcal para evaporar	% con respecto a energía de evaporación
32.7	10.6	0.469	20401.5	11424840	2.3

Anexo 15: Contenido de humedad final de las tablillas de la carga 1

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
1	9.2	7.8	8.5	1.4
2	9.4	9	9.2	0.4
3	8.8	8.2	8.5	0.6
4	8.4	7.9	8.15	0.5
5	9.9	9.3	9.6	0.6
6	8.3	7.8	8.05	0.5
7	11.1	10.4	10.75	0.7
8	10.4	9.6	10	0.8
9	11.3	10.9	11.1	0.4
10	8.6	8.2	8.4	0.4
11	7.5	7.4	7.45	0.1
12	10.6	9.7	10.15	0.9
13	12.1	11.1	11.6	1
14	10.4	9.9	10.15	0.5
15	10.3	10.2	10.25	0.1
16	13.4	12.3	12.85	1.1
17	11.4	10.8	11.1	0.6
18	10.2	9.5	9.85	0.7
19	12	10.8	11.4	1.2
20	11.9	11.1	11.5	0.8
21	10.2	9.5	9.85	0.7
22	11.3	10.6	10.95	0.7
23	12	11.2	11.6	0.8
24	8	7.6	7.8	0.4
25	9.4	8.7	9.05	0.7
26	8.6	8.3	8.45	0.3
27	8.8	8.2	8.5	0.6
28	9.6	9.3	9.45	0.3
29	8.3	8.1	8.2	0.2
30	9.3	9.1	9.2	0.2
31	10.2	10	10.1	0.2
32	11.3	11	11.15	0.3
33	10.5	10.2	10.35	0.3
34	11.4	10.5	10.95	0.9
35	11.1	10.8	10.95	0.3
36	9.4	8.7	9.05	0.7
37	11.1	10.3	10.7	0.8
38	11	10.4	10.7	0.6
39	11	10.6	10.8	0.4
40	11.2	10.7	10.95	0.5
41	9	8.2	8.6	0.8
42	12.2	11.9	12.05	0.3
43	12.4	11.8	12.1	0.6
44	12.1	11.8	11.95	0.3
45	11	10.4	10.7	0.6

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
46	11	10.6	10.8	0.4
47	10.5	10.2	10.35	0.3
48	9.5	9.2	9.35	0.3
49	11	10.6	10.8	0.4
50	12.6	12.3	12.45	0.3
51	11.5	11.1	11.3	0.4
52	12.1	11.8	11.95	0.3
53	14	13.5	13.75	0.5
54	10.6	9.6	10.1	1
55	10.5	10.1	10.3	0.4
56	11.5	10.7	11.1	0.8
57	12	11.5	11.75	0.5
58	12.4	11.7	12.05	0.7
59	13.8	13.2	13.5	0.6
60	15.8	14.9	15.35	0.9
61	10.8	10	10.4	0.8
62	11.8	11.3	11.55	0.5
63	10.6	10	10.3	0.6
64	12.3	11.9	12.1	0.4
65	11.8	11.3	11.55	0.5
66	12.4	11.4	11.9	1
67	11.2	11	11.1	0.2
68	11.7	11	11.35	0.7
69	12.3	11.4	11.85	0.9
70	15.3	14.8	15.05	0.5
71	12.1	11.5	11.8	0.6
72	11.6	10.9	11.25	0.7
73	19.8	15.1	17.45	4.7
74	13.7	12.3	13	1.4
75	11.4	10.7	11.05	0.7
76	10.8	10.2	10.5	0.6
77	11.2	11	11.1	0.2
78	17.4	14.2	15.8	3.2
79	9	8.6	8.8	0.4
80	13	12	12.5	1
81	11.8	10.2	11	1.6
82	9.4	9	9.2	0.4
83	8.8	8.5	8.65	0.3
84	8.8	8.3	8.55	0.5
85	10.3	10.1	10.2	0.2
86	12.1	11.3	11.7	0.8
87	12	11.5	11.75	0.5
88	8.4	7.8	8.1	0.6
89	7.6	7.3	7.45	0.3
90	10.2	9.8	10	0.4

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
91	9.1	8.8	8.95	0.3
92	8.6	7.9	8.25	0.7
93	7.6	6.9	7.25	0.7
94	9.9	9.5	9.7	0.4
95	8.7	7.6	8.15	1.1
96	10.8	10.1	10.45	0.7
97	13	12	12.5	1
98	11.5	10.6	11.05	0.9
99	11.5	11.2	11.35	0.3
100	10.1	9.7	9.9	0.4
101	7.9	7.6	7.75	0.3
102	10.2	9.8	10	0.4
103	9.6	9.1	9.35	0.5
104	14.1	13.4	13.75	0.7
105	9.3	8.8	9.05	0.5
106	12.4	11.5	11.95	0.9
107	11	10.6	10.8	0.4
108	10.3	10.3	10.3	0
109	9	8.5	8.75	0.5
110	8.1	7.8	7.95	0.3
111	9.9	9.5	9.7	0.4
112	8.1	7.6	7.85	0.5
113	8.6	8.3	8.45	0.3
114	7.5	7.4	7.45	0.1
115	8.7	8.4	8.55	0.3
116	12.6	12.1	12.35	0.5
117	8.6	7.6	8.1	1
118	9.2	8.3	8.75	0.9
119	11	10.8	10.9	0.2
120	10	9.7	9.85	0.3
121	14.7	14	14.35	0.7
122	15.1	13.9	14.5	1.2
123	10.1	9	9.55	1.1
124	8.6	8.1	8.35	0.5
125	10.3	10	10.15	0.3
126	12.9	11.9	12.4	1
127	10.6	9.9	10.25	0.7
128	11.2	10.3	10.75	0.9
129	14.2	13.8	14	0.4
130	9.9	9.3	9.6	0.6
131	12.4	11.5	11.95	0.9
132	11.9	11.8	11.85	0.1
133	9.4	9.6	9.5	-0.2
134	9	8.2	8.6	0.8
135	9.5	8.4	8.95	1.1

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
136	9.9	9.6	9.75	0.3
137	10.9	10.6	10.75	0.3
138	8.8	8.5	8.65	0.3
139	15	13.9	14.45	1.1
140	14.5	13.7	14.1	0.8
141	13.9	12.6	13.25	1.3
142	14.2	13.6	13.9	0.6
143	23.5	15.1	19.3	8.4
144	10.7	10	10.35	0.7
145	9.5	9.4	9.45	0.1
146	9.4	9	9.2	0.4
147	10.2	9.9	10.05	0.3
148	10.7	10.4	10.55	0.3
149	10.3	10	10.15	0.3
150	10.6	10.2	10.4	0.4
151	10.9	10.8	10.85	0.1
152	10.5	10.2	10.35	0.3
153	10	9.5	9.75	0.5
154	9.8	9.5	9.65	0.3
155	11.1	10.8	10.95	0.3
156	13.2	12.8	13	0.4
157	14.2	14	14.1	0.2
158	9.7	9.7	9.7	0
159	11	10.4	10.7	0.6
160	10.4	10	10.2	0.4
161	8.5	8.3	8.4	0.2
162	10.3	9.4	9.85	0.9
163	10.5	10.2	10.35	0.3
164	9.8	9.4	9.6	0.4
165	15.5	14.3	14.9	1.2
166	9.8	9.4	9.6	0.4
167	11	11.2	11.1	-0.2
168	9.4	9.2	9.3	0.2
169	10.5	10.4	10.45	0.1
170	13.9	13.4	13.65	0.5
171	10.9	10.7	10.8	0.2
172	10.3	9.6	9.95	0.7
173	8	7.2	7.6	0.8
174	14.3	13.4	13.85	0.9
175	15.6	14.4	15	1.2
176	9.3	9.4	9.35	-0.1
177	10	10	10	0
178	11.1	10.4	10.75	0.7
179	10.5	10.1	10.3	0.4
180	11.1	10.3	10.7	0.8

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
181	8.7	8.3	8.5	0.4
182	10.6	10.1	10.35	0.5
183	8.7	8.4	8.55	0.3
184	9	8.4	8.7	0.6
185	8.3	8	8.15	0.3
186	9.5	9.1	9.3	0.4
187	9.2	8.7	8.95	0.5
188	8.6	8.3	8.45	0.3
189	14.1	13.4	13.75	0.7
190	14.3	13.3	13.8	1
191	6.5	6.2	6.35	0.3
192	10.9	10.5	10.7	0.4
193	9.3	8.9	9.1	0.4
194	13.5	12.6	13.05	0.9
195	14.5	13.5	14	1
196	11.3	10.8	11.05	0.5
197	9.6	9.2	9.4	0.4
198	11.5	11.1	11.3	0.4
199	8.5	8.3	8.4	0.2
200	13.7	13	13.35	0.7
201	10.4	9.7	10.05	0.7
202	15.6	14.4	15	1.2
203	13.7	12.9	13.3	0.8
204	8.6	8.3	8.45	0.3
205	13.4	13.1	13.25	0.3
206	8.7	8.5	8.6	0.2
207	9.4	8.8	9.1	0.6
208	8.1	7.7	7.9	0.4
209	10.2	9.8	10	0.4
210	9.1	8.7	8.9	0.4
211	11.8	11.4	11.6	0.4
212	9.3	9	9.15	0.3
213	10.6	10.5	10.55	0.1
214	9.6	9	9.3	0.6
215	11.5	11.1	11.3	0.4
216	12.1	11.8	11.95	0.3
217	10	9.8	9.9	0.2
218	28.6	21.2	24.9	7.4
219	11	10.6	10.8	0.4
220	8.9	8.4	8.65	0.5
221	8.5	8.3	8.4	0.2
222	9.7	9.4	9.55	0.3
223	8.1	7.9	8	0.2
224	12.3	12	12.15	0.3
225	11.7	11.1	11.4	0.6

100		x								
101		x							Encorvadura	6
102		x							Encorvadura	2
103		x							Torcedura	6
104		x							Arqueadura	3
105		x							Encorvadura	3
106		x								
107		x							Encorvadura	7
108		x								
109		x								
110		x							Arqueadura	5
111		x							Arqueadura	7
112		x								
113		x								
114		x							Encorvadura	3
115		x								
116		x							Encorvadura	3
117		x								
118		x								
119		x							Arqueadura	5
120		x								
121		x							Encorvadura	3
122		x							Torcedura	5
123		x								
124		x							Arqueadura	2
125		x							Arqueadura	4
126		x								
127		x	3	2	30					
128		x							Encorvadura	2
129		x							Arqueadura	5
130		x							Torcedura	4
131		x								
132		x							Arqueadura	3
133		x								
134		x							Encorvadura	2
135		x								
136		x							Arqueadura	8
137		x								
138		x							Arqueadura	5
139		x							Encorvadura	4
140		x							Arqueadura	2
141		x							Arqueadura	5
142		x							Arqueadura	4
143		x							Torcedura	5
144		x							Arqueadura	4
145		x							Arqueadura	3
146		x								
147		x							Torcedura	5
148		x							Torcedura	10
149		x							Arqueadura	4
150		x							Arqueadura	1
151		x							Arqueadura	3
152		x							Arqueadura	4
153		x							Torcedura	10
154		x							Torcedura	10
155		x							Torcedura	5
156		x				1		30		
157		x								
158		x							Arqueadura	2
159		x								
160		x								

Anexo 17: Calculo de Índice de alabeos de la carga 1

ALABEO	NIVEL DE CLASIFICACION				Índice de alabeos
	A	B	C	D	
Acanaladura	97.78%	0.00%	0.44%	1.78%	0.03
Arqueadura	81.78%	12.89%	5.33%	0.00%	0.12
Encorvadura	80.44%	4.44%	9.78%	5.33%	0.2
Torcedura	72.89%	4.44%	9.78%	12.89%	0.31
INDICE DE CALIDAD TOTAL DE SECADO					0.66

Anexo 18: Dimensiones iniciales de las tablillas de la carga 2

N° de muestra	DIMENSION INICIAL			
	Extremo 1		Extremo 2	
	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
1	23.4	143.65	25	147
2	25.9	147.4	21.2	148.25
3	26	144.9	23	145.2
4	22.9	146.7	25.3	141.35
5	23.4	147	24.65	145.4
6	24.2	150.1	26.3	140.7
7	27	145.5	22.7	145.85
8	23.9	147.6	25.4	148.8
9	25.75	144.2	24	145.3
10	26.4	149	25.6	146.35
11	26.6	139.75	25.4	138.2
12	26.5	145	26.5	149
13	24.5	149.7	25	149.5
14	25	147.7	24.65	146.2
15	24.8	148.2	24.4	148.4
16	26.4	146.6	26.75	145.7
17	26.5	145.8	25.3	144.4
18	25.7	146	25.3	147
19	25.7	147.8	26.3	147.6
20	23.7	150.7	24.8	148.4
21	25.7	146.5	26.8	142
22	25.7	145.3	27.3	149.8
23	37.4	150.7	35.5	150.2
24	27.5	149.4	27.8	150.9
25	27.1	148.3	27	146.5
26	27.7	150	28.2	149
27	26.8	145.7	27	145.7
28	28.5	148	28.8	147.5
29	28.5	146.7	28.3	147.6
30	31.9	146.3	30.9	146.6
31	25.7	143.7	25.3	142.7
32	26.7	145	26.5	144.1
33	23.6	144.2	23.5	144.9
34	25.3	143.5	26.2	144.5
35	24.3	144	24.4	144.5
36	24	144.2	24.5	144.6
37	25	144.7	25.6	142.5
38	26.8	144.7	26.2	145.5
39	31	144.1	30.8	144
40	25.7	144.3	26	144.1
41	23.3	146	25.3	146.6
42	26.8	144	24.4	145
43	24	144.6	22.2	145.9
44	25.8	144.4	27.4	144.4
45	27	146.2	26.8	144.4
46	27.7	147	28.5	146.7
47	27.4	150.7	28.8	150
48	28.9	145.4	28.5	147
49	27.4	151	27.3	148.3
50	28.8	146	29.2	147

Anexo 19: Dimensiones de los separadores de la carga 2

SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Observación
1	25.1	24.6	105.3	CUADRADA
2	25.2	23.1	107.5	CUADRADA
3	25.3	24.6	105	CUADRADA
4	23.2	22.2	105	CUADRADA
5	25.1	24.6	103	CUADRADA
6	24.6	24.6	105	CUADRADA
7	25	24.6	105.4	CUADRADA
8	25.1	24.6	105	CUADRADA
9	25	24.4	105	CUADRADA
10	24.7	21	105	CUADRADA
11	25	24.5	105	CUADRADA
12	25	24.8	105.5	CUADRADA
13	25.2	24.6	105	CUADRADA
14	25.2	25.1	105.3	CUADRADA
15	24.2	24.4	105.2	CUADRADA
16	25.2	24.8	105	CUADRADA
17	25.1	23.7	105.2	CUADRADA
18	24.6	24.4	105	CUADRADA
19	25.3	24.9	105	CUADRADA
20	24.8	23.1	105	CUADRADA
21	25.3	24.7	104.8	CUADRADA
22	25.1	25	105.1	CUADRADA
23	24.9	23.6	105	CUADRADA
24	24.6	24.3	104.9	CUADRADA
25	24.7	23.5	105	CUADRADA
26	23.2	23	105	CUADRADA
27	25.1	25.1	105	CUADRADA
28	25.3	23.8	105	CUADRADA
29	24.4	24.2	105	CUADRADA
30	24.8	24.8	105	CUADRADA
31	25.4	24.2	105	CUADRADA
32	25.1	24.7	105	CUADRADA
33	24.9	24.15	105	CUADRADA
34	25.1	25	104	CUADRADA
35	24.9	24.7	105	CUADRADA
36	25.1	24.8	105	CUADRADA
37	24.7	24.2	106	CUADRADA
38	24.5	24.2	105	CUADRADA
39	25.1	24.7	104.5	CUADRADA
40	25	24.8	105	CUADRADA
41	25	23.8	105	CUADRADA
42	24.4	24.4	105.5	CUADRADA
43	20	19.5	106.2	EN H
44	19.2	20	105	EN H
45	19.2	18.3	106.5	EN H
46	19.5	19.4	104	EN H
47	19	19.3	105	EN H
48	19.8	19	106	EN H
49	19.2	18.1	106.3	EN H
50	19.4	19.7	106	EN H

SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Observación
51	18.5	19	105	EN H
52	18.5	19	105.2	EN H
53	19.7	20.3	105	EN H
54	18.6	20	105	EN H
55	20.3	19.4	106.5	EN H
56	19.5	19.3	106	EN H
57	20	19.2	106.5	EN H
58	19.2	18.6	105	EN H
59	19.1	19.1	106.5	EN H
60	19.5	18.9	105.4	EN H
61	18.5	18.2	106.3	EN H
62	19.2	20.2	106	EN H
63	20	19.1	106	EN H
64	19.7	19.2	105	EN H
65	19	18.9	106	EN H
66	18.8	19.2	105	EN H
67	18.8	18.4	104.8	EN H
68	19.6	18.5	105	EN H
69	19.6	19.3	105.3	EN H
70	20	19.5	106	EN H
71	19.5	19.5	106	EN H
72	18.2	18.7	105	EN H
73	20	19.2	105	EN H
74	18.8	18.1	106.5	EN H
75	19.2	19.4	101	EN H
76	18.3	19.2	105	EN H
77	20	18.7	106	EN H
78	19.6	19.4	105	EN H
79	20	19.2	105	EN H
80	19.4	19	104.5	EN H
81	19.1	18.2	106	EN H
82	19	19.4	102.5	EN H
83	19	19.3	105	EN H
84	19.1	19.3	106.2	EN H
85	23.2	23	105	CUADRADA
86	23.1	23	105	CUADRADA
87	22.7	23.1	104.5	CUADRADA
88	23	23	106	CUADRADA
89	22.1	21.9	104	CUADRADA
90	22.8	23	106	CUADRADA
91	23	22.9	104	CUADRADA
92	22.5	23	105.5	CUADRADA
93	19.8	23	104	CUADRADA
94	23.1	22.9	106	CUADRADA
95	22.8	21.8	105	CUADRADA
96	22.7	22.7	105	CUADRADA
97	24.7	21	105.5	CUADRADA
98	23.2	23	104	CUADRADA
99	22.9	22.8	106	CUADRADA
100	23.2	22.8	105	CUADRADA

Anexo 20: Calculo de contenido humedad inicial de la madera de la carga 2

PROBETA	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	CH inicial (%)
1	98.40	79.97	23.05
2	163.52	116.64	40.19
3	79.63	46.3	71.99
4	148.50	122.50	21.22
5	205.85	142.82	44.13
PROMEDIO	139.18	101.65	40.12

Anexo 21: Medición de la temperatura y humedad relativa de la cámara de la carga 2

Medición	Repetición	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
30/11/2021	1	49.5	60
	2	50	59
	3	48.5	58
	4	48.7	59
01/12/2021	1	48.6	60
	2	48.7	52
	3	47.8	53
	4	48	53
02/12/2021	1	48.3	90
	2	48.2	91
	3	50.3	70
	4	50.2	72

Anexo 22: ANVA de los valores de temperatura del ambiente de la carga 2

Análisis de Varianza de valores de Temperatura del Ambiente – Carga 2					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	3.067	3.0673	8.34	0.045
Error	4	1.472	0.3680		
Total	5	4.539			

Anexo 23: Prueba de Tukey de los valores promedio de temperatura de la carga 2

Prueba de Tukey de valores promedio de temperatura al 95% - Carga 2				
Factor	N	Media	Agrupación	
T controlador	3	50.333	A	
T termohigrómetro	3	48.903		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 24: ANVA de los valores de HR del ambiente de la carga 2

Análisis de Varianza de valores de humedad relativa del Ambiente – Carga 2					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	83.25	83.25	0.81	0.420
Error	4	413.46	103.37		
Total	5	496.72			

Anexo 25: ANVA de los valores de EMC de la carga 2

Análisis de Varianza de valores de contenido de humedad de equilibrio - Carga 2					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	3.375	3.375	0.67	0.459
Error	4	20.120	5.030		
Total	5	23.495			

Anexo 26: Temperatura de las paredes internas y externas de la cámara de la carga 2

DIA		30-nov	01-dic	02-dic
Pared	Repetición	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Interna	1	32.8	38	35
	2	32.9	45	32
	3	33	34	38
	4	32.7	36	31
Coef. Var. (%)		0.39	12.52	9.3
Promedio		32.85	38.25	34
Promedio general			35.03	
Externa	1	21.4	22	21.5
	2	25.3	27	20.8
	3	21.6	17.6	25
	4	23.9	20	22
Coef. Var. (%)		8.16	18.45	8.29
Promedio		23.05	21.65	22.325
Promedio general			22.34	

Anexo 27: Ley de Fourier de la carga 2

LEY FOURIER	
Diferencia de temperatura	12.69
Resistencia de flujo	1.40001463

F estándar (kcal/m2. h)	F de cámara (KCAL/H)	F de Proceso (kcal)
9.1	839.0	266796.1

CHi	CHf	Diferencia de CH (decimal)	Q de agua (kilos)	Kcal para evaporar	% con respecto a energía de evaporación
34.9	11.9	0.469	20401.5	11424840	2.3

Anexo 28: Contenido de humedad final de las tablillas de la carga 2

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
1	9.5	9.3	9.4	0.2
2	9.7	9.2	9.45	0.5
3	14.6	13.6	14.1	1
4	10.1	10	10.05	0.1
5	11.8	11.3	11.55	0.5
6	13.7	13.2	13.45	0.5
7	9.2	9	9.1	0.2
8	13.5	12.8	13.15	0.7
9	13.6	12.9	13.25	0.7
10	10.2	10	10.1	0.2
11	15.4	14.1	14.75	1.3
12	13.9	13.2	13.55	0.7
13	9.3	9.2	9.25	0.1
14	9	8.9	8.95	0.1
15	8.3	8.1	8.2	0.2
16	10.2	9.9	10.05	0.3
17	9.6	9.1	9.35	0.5
18	10.7	10.5	10.6	0.2
19	10.4	10.1	10.25	0.3
20	10.1	9.8	9.95	0.3
21	9.3	9	9.15	0.3
22	8.2	7.6	7.9	0.6
23	8.5	8.3	8.4	0.2
24	13.7	12.8	13.25	0.9
25	8.7	8.6	8.65	0.1
26	9.8	9.3	9.55	0.5
27	8.3	8.2	8.25	0.1
28	9.1	8.9	9	0.2
29	9	8.8	8.9	0.2
30	9.2	9.1	9.15	0.1
31	9	8.9	8.95	0.1
32	8.3	8.2	8.25	0.1
33	10.5	10.2	10.35	0.3
34	9.1	8.9	9	0.2
35	9.2	9	9.1	0.2
36	9.2	8.9	9.05	0.3
37	13.1	12.6	12.85	0.5
38	8.6	8.5	8.55	0.1
39	10.3	10	10.15	0.3
40	14.2	13.5	13.85	0.7
41	14.5	13.5	14	1
42	8.8	8.5	8.65	0.3
43	11.2	10.5	10.85	0.7
44	7.8	7.5	7.65	0.3
45	12.3	11.5	11.9	0.8

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
46	9.5	8.7	9.1	0.8
47	12.2	10.6	11.4	1.6
48	8.7	8.3	8.5	0.4
49	14.3	13.5	13.9	0.8
50	10	9.1	9.55	0.9
51	11.2	10.8	11	0.4
52	10.1	9.5	9.8	0.6
53	8.5	8.1	8.3	0.4
54	10.1	9.4	9.75	0.7
55	13.1	12.4	12.75	0.7
56	13.7	12.8	13.25	0.9
57	8.1	7.9	8	0.2
58	13	12.6	12.8	0.4
59	8.3	8.1	8.2	0.2
60	12.7	12.1	12.4	0.6
61	9.7	9.4	9.55	0.3
62	10.3	9.6	9.95	0.7
63	8.8	8.4	8.6	0.4
64	14.6	13.8	14.2	0.8
65	8.4	8.3	8.35	0.1
66	13.1	12.4	12.75	0.7
67	10.3	9.9	10.1	0.4
68	10.3	10	10.15	0.3
69	15.8	14.7	15.25	1.1
70	12.8	12.3	12.55	0.5
71	10.2	10	10.1	0.2
72	8	7.7	7.85	0.3
73	8.6	8.4	8.5	0.2
74	10.7	10.9	10.8	-0.2
75	10.2	10.1	10.15	0.1
76	8.5	8.4	8.45	0.1
77	9.5	9.4	9.45	0.1
78	8.6	8	8.3	0.6
79	8.7	8	8.35	0.7
80	11.3	10.8	11.05	0.5
81	6.8	6.8	6.8	0
82	10.7	10.2	10.45	0.5
83	9.1	8.7	8.9	0.4
84	11.1	10.9	11	0.2
85	11.9	11.5	11.7	0.4
86	7.5	7.1	7.3	0.4
87	8.8	8.5	8.65	0.3
88	16.2	14.8	15.5	1.4
89	24	19.7	21.85	4.3
90	17	14.5	15.75	2.5

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
91	8.7	8.6	8.65	0.1
92	10.4	10	10.2	0.4
93	24.3	19.1	21.7	5.2
94	21	17.9	19.45	3.1
95	24.5	19.6	22.05	4.9
96	10	9.3	9.65	0.7
97	11.2	10.8	11	0.4
98	26	20.2	23.1	5.8
99	12.2	11.8	12	0.4
100	8.9	8.8	8.85	0.1
101	13.3	12.4	12.85	0.9
102	18.2	16.7	17.45	1.5
103	13.9	13.1	13.5	0.8
104	8	7.7	7.85	0.3
105	46	40	43	6
106	15.7	14.9	15.3	0.8
107	18.4	15.7	17.05	2.7
108	7.9	7.8	7.85	0.1
109	46.7	46	46.35	0.7
110	12.8	12.2	12.5	0.6
111	33	23.6	28.3	9.4
112	11.3	10.8	11.05	0.5
113	22.7	21	21.85	1.7
114	17.6	16	16.8	1.6
115	16.2	15.4	15.8	0.8
116	11.4	11.1	11.25	0.3
117	11	10.7	10.85	0.3
118	15.7	14.7	15.2	1
119	21.1	19.6	20.35	1.5
120	10.3	9.9	10.1	0.4
121	11.6	9.9	10.75	1.7
122	9.7	9.1	9.4	0.6
123	8.8	8.4	8.6	0.4
124	13.2	12.6	12.9	0.6
125	10.5	9.9	10.2	0.6
126	10.7	10.1	10.4	0.6
127	9.9	9.5	9.7	0.4
128	11.9	11.4	11.65	0.5
129	9.8	9.5	9.65	0.3
130	10.9	10.3	10.6	0.6
131	9.1	8.9	9	0.2
132	11.3	10.3	10.8	1
133	10.6	9.6	10.1	1
134	9.2	9	9.1	0.2
135	8.7	8.4	8.55	0.3

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
136	10.5	9.8	10.15	0.7
137	10.3	10	10.15	0.3
138	12	11.5	11.75	0.5
139	10.2	9.8	10	0.4
140	10.3	10	10.15	0.3
141	8.9	8.7	8.8	0.2
142	9.3	9	9.15	0.3
143	10.1	9.4	9.75	0.7
144	9.7	9.3	9.5	0.4
145	12.7	11.9	12.3	0.8
146	9.3	9	9.15	0.3
147	12.4	11.7	12.05	0.7
148	9.8	9.4	9.6	0.4
149	11.3	10.8	11.05	0.5
150	10.6	10.3	10.45	0.3
151	10	9.7	9.85	0.3
152	11.1	10.7	10.9	0.4
153	10.3	9.5	9.9	0.8
154	7.8	7.5	7.65	0.3
155	18.3	15.3	16.8	3
156	10.9	10.7	10.8	0.2
157	15.5	14.6	15.05	0.9
158	13.3	13.1	13.2	0.2
159	11.2	10.9	11.05	0.3
160	8	7.8	7.9	0.2
161	16.3	13.6	14.95	2.7
162	11.8	11.6	11.7	0.2
163	10.7	10.4	10.55	0.3
164	9.7	9.4	9.55	0.3
165	12.3	11.8	12.05	0.5
166	19.7	14.3	17	5.4
167	9.7	9.3	9.5	0.4
168	9.2	8.8	9	0.4
169	13	12.1	12.55	0.9
170	9.3	8.6	8.95	0.7
171	19.6	16.4	18	3.2
172	13.4	12.5	12.95	0.9
173	8.5	8.2	8.35	0.3
174	29.3	19.9	24.6	9.4
175	8.3	8.1	8.2	0.2
176	14	12.2	13.1	1.8
177	9.5	9.1	9.3	0.4
178	10.4	10.2	10.3	0.2
179	8.6	8.4	8.5	0.2
180	13.7	12.1	12.9	1.6

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
181	12.4	9.4	10.9	3
182	13.6	12.8	13.2	0.8
183	32.6	29.9	31.25	2.7
184	12.3	12.2	12.25	0.1
185	32.3	25.9	29.1	6.4
186	14.2	13.6	13.9	0.6
187	17.6	15.5	16.55	2.1
188	14.6	12.6	13.6	2
189	12	11.2	11.6	0.8
190	27.3	20.9	24.1	6.4
191	22.5	17.8	20.15	4.7
192	9	8.6	8.8	0.4
193	18.4	15.9	17.15	2.5
194	13.5	12.5	13	1
195	20.9	17.3	19.1	3.6
196	22.6	20.6	21.6	2
197	9.7	9.5	9.6	0.2
198	9.1	9	9.05	0.1
199	8.8	8.6	8.7	0.2
200	8.8	8.6	8.7	0.2
201	13.1	12.5	12.8	0.6
202	13.1	12.3	12.7	0.8
203	9.4	9.2	9.3	0.2
204	8.5	8.4	8.45	0.1
205	10.9	10.6	10.75	0.3
206	8.9	8.8	8.85	0.1
207	10.6	10.1	10.35	0.5
208	12.1	10.8	11.45	1.3
209	9.6	9.4	9.5	0.2
210	9.5	9.3	9.4	0.2
211	9.7	9.4	9.55	0.3
212	8.9	8.6	8.75	0.3
213	10.1	9.7	9.9	0.4
214	10.3	9.8	10.05	0.5
215	9.4	9	9.2	0.4
216	12.9	12.2	12.55	0.7
217	12.1	11.3	11.7	0.8
218	13.9	13	13.45	0.9
219	11.9	11.5	11.7	0.4
220	9.3	8.8	9.05	0.5
221	10.1	9.8	9.95	0.3
222	10.1	9.6	9.85	0.5
223	9	8.5	8.75	0.5
224	10.3	9.8	10.05	0.5
225	8.9	8.4	8.65	0.5

Anexo 29: Evaluación de defectos de forma y estructura de las tablillas de la carga 2

Tabla	Colapso		Grietas en las caras			Grietas en los extremos			Alabeos	
	Presenta	No presenta	Número (unidades)	Profundidad Promedio (mm)	Largo Promedio (cm)	Número (unidades)	Ancho Promedio (mm)	Suma de Largos (mm)	Tipo	Flecha (mm)
1		x								
2		x							Arqueadura	2
3		x								
4		x							Encorvadura	4
5		x							Arqueadura	2
6		x							Arqueadura	4
7		x	1	2	4				Arqueadura	3
8		x							Arqueadura	3
9		x								
10		x							Encorvadura	2
11		x								
12		x							Arqueadura	4
13		x							Encorvadura	4
14		x							Encorvadura	3
15		x							Arqueadura	3
16		x							Encorvadura	2
17		x							Encorvadura	3
18		x								
19		x							Arqueadura	4
20		x							Arqueadura	2
21		x							Arqueadura	2
									Encorvadura	3
22		x							Arqueadura	4
									Encorvadura	2
23		x								
24		x								
25		x							Arqueadura	1
26		x								
27		x							Arqueadura	2
28		x							Arqueadura	6
29		x							Arqueadura	3
30		x							Arqueadura	5
31		x							Encorvadura	5
32		x							Encorvadura	4
33		x							Arqueadura	3
34		x							Arqueadura	4
35		x							Arqueadura	6
36		x							Arqueadura	5
37		x								
38		x								
39		x							Arqueadura	3
									Encorvadura	2
40		x							Encorvadura	3
41		x								
42		x								
43		x							Arqueadura	1
44		x							Arqueadura	3

100		x							Arqueadura	2
101		x							Torcedura	9
102		x							Arqueadura	3
103		x	6		30	2		70	Encorvadura	3
104		x							Arqueadura	8
		x							Encorvadura	2
105		x							Arqueadura	2
106									Arqueadura	5
107		x							Arqueadura	2
		x							Encorvadura	3
108		x							Arqueadura	5
109		x							Arqueadura	5
110		x							Arqueadura	5
111		x							Arqueadura	2
112		x								
113		x							Arqueadura	1
114		x							Arqueadura	2
115		x								
116		x							Arqueadura	1
117		x							Arqueadura	2
118		x							Arqueadura	3
119		x							Encorvadura	3
		x							Arqueadura	8
120		x							Encorvadura	1
		x							Arqueadura	3
121		x								
122		x							Encorvadura	2
123		x								
124		x							Arqueadura	2
125		x							Arqueadura	2
126		x							Arqueadura	1
127		x							Arqueadura	2
128		x							Arqueadura	2
129		x							Arqueadura	5
130		x							Arqueadura	2
		x							Encorvadura	3
131		x							Arqueadura	3
132		x							Arqueadura	1
133		x							Arqueadura	6
		x							Encorvadura	3
134		x							Arqueadura	3
		x							Encorvadura	3
135		x							Arqueadura	3
136		x							Encorvadura	1
137		x								
138		x							Arqueadura	2
		x							Encorvadura	3
139		x							Arqueadura	4
140		x							Encorvadura	8
141		x							Arqueadura	2
		x							Encorvadura	2
142		x							Arqueadura	5
143		x							Encorvadura	2
144		x							Arqueadura	4
145		x								
146		x								
147		x								
148		x								
149		x								

200		x								
201		x							Encorvadura	3
202		x	3		30				Arqueadura	2
203		x							Encorvadura	2
204		x								
205									Encorvadura	2
		x							Arqueadura	3
206		x							Arqueadura	3
207		x	3		30				Torcedura	21
208		x							Encorvadura	2
209		x							Arqueadura	3
210									Arqueadura	3
		x							Encorvadura	2
211		x				3		90	Arqueadura	3
212		x				2		40	Encorvadura	2
213		x				2		250	Arqueadura	2
214		x								
215		x							Arqueadura	3
216		x							Torcedura	12
217		x							Encorvadura	2
218		x	8		45				Torcedura	14
219		x							Arqueadura	2
220		x							Arqueadura	4
221		x								
222		x								
223		x								
224		x								
225		x								

Anexo 30: Calculo de índice de alabeos de la carga 2

ALABEO	NIVEL DE CLASIFICACION				Indice de alabeos
	A	B	C	D	
Acanaladura	99.56%	0.00%	0.00%	0.44%	0.006
Arqueadura	54.22%	37.33%	8.44%	0.00%	0.27
Encorvadura	78.22%	10.22%	9.33%	2.22%	0.08
Torcedura	94.67%	0.00%	1.33%	4.00%	0.07
INDICE DE CALIDAD TOTAL DE SECADO					0.43

Anexo 31: Dimensiones iniciales de las tablillas de la carga 3

N° de muestra	DIMENSION INICIAL			
	Extremo 1		Extremo 2	
	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
1	24.3	139.7	24.2	139.2
2	23.8	142.4	24.15	141.3
3	25.8	141.75	24.2	139.8
4	25.3	146.4	25.9	147.9
5	26.4	151.4	29	151.7
6	26	144.4	24	144
7	26.4	152.3	27	151
8	25.5	148	24.9	150
9	26	151	26.8	150.2
10	26.7	151.6	26.4	151.6
11	27	148	26.6	147.6
12	26.6	144.7	26.5	144
13	26.2	150	25	149.6
14	25.7	150.7	26.3	152.7
15	27.6	145	28	144.9
16	24.2	149.2	24.7	149.3
17	26.9	145.3	26.9	148.5
18	26.2	148.7	25.6	144.3
19	26.2	145.3	26	146.8
20	26.8	144.6	25.8	145.2
21	25.2	143.3	25.3	142
22	25.9	150.8	25.5	149.8
23	25.8	148.5	26	148.4
24	24.5	145	25.1	146.2
25	24.4	143.3	24.2	145.5
26	30	147.4	30.3	145.5
27	29.6	147.1	29.5	146.3
28	20.9	146.1	25	145.9
29	29.6	147.7	29.4	146.9
30	30	153	29.9	153
31	27.4	145	26.8	147.1
32	28	146.4	28	147.5
33	27.4	145.8	27	147.15
34	27.8	145.8	27.5	145
35	27.4	144.6	28.1	144.8
36	24.4	142.2	23.3	141.4
37	29	147	28.5	146.8
38	27.9	146.5	27.9	146
39	31	148.6	29.3	146.9
40	23.6	138	25.5	135.8
41	26.8	141.8	26.9	145
42	25.8	139.7	24.6	141
43	24.3	145.2	24.4	146.6
44	24.5	145.3	25	144.1
45	22.5	144.7	24.8	144.8
46	25.1	144.8	25	144.1
47	25.4	144.4	25.1	144.5
48	23.7	144.3	25	144.5
49	23.9	144	23.7	144.7
50	24.4	142.5	24	144.4

Anexo 32: Dimensiones de los separadores de la carga 3

SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Largo (cm)	Observación
1	19.9	18.9	105.2	CUADRADA
2	20	19.1	106.7	CUADRADA
3	19.6	19.4	105.2	CUADRADA
4	19.4	20	106.5	CUADRADA
5	19.6	19.8	106.5	CUADRADA
6	18.9	19	106	CUADRADA
7	19.1	20.2	105.5	CUADRADA
8	18.7	19	106.5	CUADRADA
9	19.5	18.4	104.4	CUADRADA
10	20	19.1	106	CUADRADA
11	19.8	19.8	105	CUADRADA
12	19.4	19.7	105.2	CUADRADA
13	19.8	19.2	105	CUADRADA
14	19.6	19	106	CUADRADA
15	19.9	18.7	105.2	CUADRADA
16	19.9	19.4	107	CUADRADA
17	19.5	20.2	106.4	CUADRADA
18	20	18.7	103.4	CUADRADA
19	18.9	18.9	105	CUADRADA
20	19.6	19.9	106	CUADRADA
21	19.7	18.6	105	CUADRADA
22	19.7	19.1	104	CUADRADA
23	18.7	19.2	104.8	CUADRADA
24	18.8	17.8	105	CUADRADA
25	20	19	105.2	CUADRADA
26	19.9	19.8	106	CUADRADA
27	20	19.5	106.3	CUADRADA
28	19.6	18.9	105	CUADRADA
29	20	19.5	104.8	CUADRADA
30	20.2	19.4	106	CUADRADA
31	18.5	19	106	CUADRADA
32	19	19	106.4	CUADRADA
33	19.5	19.1	105	CUADRADA
34	19.3	18.4	105	CUADRADA
35	20.4	19.4	104.5	CUADRADA
36	20.1	19.4	106	CUADRADA
37	19.6	18.8	105	CUADRADA
38	19.6	19.6	105	CUADRADA
39	19.4	19.2	106	CUADRADA
40	18.8	18.3	106.4	CUADRADA
41	19.3	19.7	105	CUADRADA
42	18.6	19	106.5	CUADRADA
43	19.9	19.8	104.9	EN H
44	19.4	19.4	105.2	EN H
45	19.6	19.3	105	EN H
46	21	19	104.8	EN H
47	20.4	20	104.8	EN H
48	24.4	25.1	105	EN H
49	25.2	25.3	105	EN H
50	25	25	105.5	EN H

SEPARADORES				
N° de muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Largo (cm)	Observación
51	25.15	25.2	105	EN H
52	25.2	24.6	105	EN H
53	24.2	24.9	105	EN H
54	25	23.3	105	EN H
55	24.6	24.6	105.4	EN H
56	24	24.3	105	EN H
57	24.7	25.2	106	EN H
58	24	22.7	106.2	EN H
59	23.3	22.8	100.4	EN H
60	25.5	25.1	105	EN H
61	24.5	23.7	105	EN H
62	24.8	23.8	104	EN H
63	24.4	24.5	104.5	EN H
64	25	24.2	105	EN H
65	25	24.8	105	EN H
66	24.9	23.6	105	EN H
67	23.8	23.2	104.5	EN H
68	24.6	25.1	105	EN H
69	24.8	24.8	105	EN H
70	23.1	24.6	105	EN H
71	25	24.1	105	EN H
72	24.7	24.4	105	EN H
73	24.4	24.5	105.3	EN H
74	25.6	25	105	EN H
75	25.1	24.8	106	EN H
76	23.4	22.8	105	EN H
77	23.2	23.2	105	EN H
78	24.7	24.4	105	EN H
79	24.8	24.7	105	EN H
80	25	24.4	105	EN H
81	25.1	24.6	105	EN H
82	24.9	24	106	EN H
83	25.1	25	105	EN H
84	25.1	24.6	104.8	EN H
85	19.7	19.2	106	EN H
86	19.6	18.5	106.3	EN H
87	18.3	19.2	106	EN H
88	19.7	19.6	105	EN H
89	17.5	19.5	106.2	EN H
90	19	19.6	106	EN H
91	19.1	19.2	105	EN H
92	19.9	19.8	106	EN H
93	19	19.7	105	EN H
94	18.4	19	106.6	EN H
95	19.8	19.1	105	EN H
96	19.7	18.9	106	EN H
97	19.3	19.3	105.2	EN H
98	18.8	19.2	104.8	EN H
99	19.7	18.6	105	EN H
100	19	19.7	106.3	EN H

Anexo 33: Calculo de contenido humedad inicial de la madera de la carga 3

PROBETA	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	CH inicial (%)
1	188.98	155.21	21.76
2	168.05	109.80	53.05
3	86.21	70.33	22.58
4	93.14	76.81	21.26
5	123.60	85.20	45.07
PROMEDIO	132.00	99.47	32.74

Anexo 34: Medición de la temperatura y humedad relativa de la cámara de la carga 3

Medición	Repetición	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
15-dic	1	47	71
	2	47	67
	3	45	79
	4	46	78
16-dic	1	55.2	56
	2	54	49
	3	48.2	60
	4	48.8	58
17-dic	1	51.1	55
	2	51.2	52
	3	48.1	54
	4	48.3	53

Anexo 35: ANVA de los valores de temperatura del ambiente de la carga 3

Análisis de Varianza de valores de Temperatura del Ambiente – Carga 3					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	2.065	2.065	0.55	0.499
Error	4	14.977	3.744		
Total	5	17.042			

Anexo 36: ANVA de los valores de HR del ambiente de la carga 3

Análisis de Varianza de valores de humedad relativa del Ambiente – Carga 3					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	69.36	69.36	0.95	0.384
Error	4	290.86	72.71		
Total	5	360.22			

Anexo 37: ANVA de los valores de EMC del ambiente de la carga 3

Análisis de Varianza de valores de contenido de humedad de equilibrio - Carga 3					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	3.375	3.375	0.76	0.433
Error	4	17.793	4.448		
Total	5	21.168			

Anexo 38: Temperatura de las paredes internas y externas de la carga 3

DIA		15-dic	16-dic	17-dic
Pared	Repetición	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Interna	1	48.5	31.8	40.7
	2	57	36	44
	3	40.42	32.6	45.8
	4	46	31	43
Coef. Var. (%)		14.37	6.69	4.9
Promedio		48.0	32.9	43.4
Promedio general		41.4		
Externa	1	21	17.9	18.9
	2	22.2	18	18.8
	3	22	18.3	20.5
	4	22.7	21.3	18.1
Coef. Var. (%)		3.25	8.61	5.32
Promedio		21.975	18.875	19.075
Promedio general		19.975		

Anexo 39: Ley de Fourier de la carga 3

LEY FOURIER	
Diferencia de temperatura	21.4
Resistencia de flujo	1.40001463

F estándar (kcal/m2. h)	F de cámara (KCAL/H)	F de Proceso (kcal)
15.3	1414.8	449916.2

CHi	CHf	Diferencia de CH (decimal)	Q de agua (kilos)	Kcal para evaporar	% con respecto a energía de evaporación
40.1	10.7	0.469	20401.5	11424840	3.9

Anexo 4O: Contenido de humedad final de las tablillas de la carga 3

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
1	8.7	8.6	8.65	0.1
2	13.7	12.9	13.3	0.8
3	14.2	12.7	13.45	1.5
4	9.3	9.1	9.2	0.2
5	8.6	8.1	8.35	0.5
6	10.9	10.5	10.7	0.4
7	9.8	9.4	9.6	0.4
8	9.1	8.2	8.65	0.9
9	10	9.9	9.95	0.1
10	10	9.7	9.85	0.3
11	8.9	8.8	8.85	0.1
12	9.2	9	9.1	0.2
13	8.9	8.5	8.7	0.4
14	9.5	9.2	9.35	0.3
15	12.6	12.2	12.4	0.4
16	9.4	9.1	9.25	0.3
17	8.9	8.6	8.75	0.3
18	15.6	14.4	15	1.2
19	8.9	8.8	8.85	0.1
20	12.8	12.3	12.55	0.5
21	11.2	10.8	11	0.4
22	11.3	10.6	10.95	0.7
23	9	8.7	8.85	0.3
24	8.8	8.5	8.65	0.3
25	8.8	8.5	8.65	0.3
26	9.7	9.6	9.65	0.1
27	11.4	10.9	11.15	0.5
28	9.4	9.1	9.25	0.3
29	8.8	8.5	8.65	0.3
30	8.6	8.4	8.5	0.2
31	15.5	14.2	14.85	1.3
32	13.4	13	13.2	0.4
33	10.4	9.9	10.15	0.5
34	12.1	11.8	11.95	0.3
35	12.1	11.7	11.9	0.4
36	8.8	8.3	8.55	0.5
37	9	8.7	8.85	0.3
38	10.2	9.9	10.05	0.3
39	9.7	9.4	9.55	0.3
40	8.2	8.1	8.15	0.1
41	12.1	11.7	11.9	0.4
42	11.5	11.1	11.3	0.4
43	7.7	7.4	7.55	0.3
44	7.6	7.3	7.45	0.3
45	15.3	14	14.65	1.3

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
46	8	8	8	0
47	8	7.9	7.95	0.1
48	9.8	10.3	10.05	-0.5
49	9.5	9.4	9.45	0.1
50	7.2	6.8	7	0.4
51	11.4	10.8	11.1	0.6
52	8.3	8	8.15	0.3
53	8	7.8	7.9	0.2
54	8.2	8	8.1	0.2
55	12.7	12	12.35	0.7
56	9.4	9.1	9.25	0.3
57	12.7	11.9	12.3	0.8
58	8.6	8.6	8.6	0
59	10.2	9.5	9.85	0.7
60	11	10.7	10.85	0.3
61	11.6	11	11.3	0.6
62	10.8	10.3	10.55	0.5
63	8.5	8	8.25	0.5
64	11	9.1	10.05	1.9
65	10.3	9.7	10	0.6
66	16	15.5	15.75	0.5
67	10.6	10	10.3	0.6
68	9.8	9.3	9.55	0.5
69	9.6	9.1	9.35	0.5
70	10	9.1	9.55	0.9
71	14.5	14.2	14.35	0.3
72	12.9	12.3	12.6	0.6
73	12.8	12.4	12.6	0.4
74	8.9	8.8	8.85	0.1
75	11.8	11.4	11.6	0.4
76	10.8	10	10.4	0.8
77	12.8	11.9	12.35	0.9
78	15.8	15.1	15.45	0.7
79	9.6	9	9.3	0.6
80	13.2	11.9	12.55	1.3
81	13.1	12.6	12.85	0.5
82	13	12.5	12.75	0.5
83	12.5	12	12.25	0.5
84	9.7	9.1	9.4	0.6
85	13.9	12.8	13.35	1.1
86	13.2	12.7	12.95	0.5
87	10.2	9.5	9.85	0.7
88	12.3	11.7	12	0.6
89	13.2	12.7	12.95	0.5
90	26.4	18.1	22.25	8.3

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
91	14.1	13	13.55	1.1
92	13.1	12.9	13	0.2
93	12.3	12	12.15	0.3
94	11.9	11.6	11.75	0.3
95	11.2	10.6	10.9	0.6
96	14.4	13.9	14.15	0.5
97	20.5	16.2	18.35	4.3
98	15.3	14.6	14.95	0.7
99	13.8	13	13.4	0.8
100	13.2	12.8	13	0.4
101	15	14.2	14.6	0.8
102	13.2	12.8	13	0.4
103	19.5	17	18.25	2.5
104	14	13	13.5	1
105	11	10.7	10.85	0.3
106	10.8	10.4	10.6	0.4
107	12.6	12.3	12.45	0.3
108	14.1	13.9	14	0.2
109	8.8	8.4	8.6	0.4
110	14.5	13.6	14.05	0.9
111	9.5	9.2	9.35	0.3
112	9.2	8.8	9	0.4
113	9.9	9.5	9.7	0.4
114	13	12.6	12.8	0.4
115	14.3	13.7	14	0.6
116	12.4	11.9	12.15	0.5
117	10.2	10	10.1	0.2
118	9.8	9.5	9.65	0.3
119	10.4	9.9	10.15	0.5
120	11.3	10.7	11	0.6
121	11.9	11.5	11.7	0.4
122	12.1	11.5	11.8	0.6
123	11.3	11	11.15	0.3
124	9.3	9	9.15	0.3
125	10.4	10	10.2	0.4
126	12.3	12	12.15	0.3
127	12.4	12.1	12.25	0.3
128	17.7	15	16.35	2.7
129	13.1	12.4	12.75	0.7
130	9.5	9	9.25	0.5
131	9	8.8	8.9	0.2
132	9.9	9.2	9.55	0.7
133	21.2	17.2	19.2	4
134	12.3	12.1	12.2	0.2
135	12.2	11.8	12	0.4

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
136	8	7.8	7.9	0.2
137	10.4	10.4	10.4	0
138	10.7	10.3	10.5	0.4
139	8.9	8.8	8.85	0.1
140	8.7	8.5	8.6	0.2
141	11	10.4	10.7	0.6
142	10.8	10.5	10.65	0.3
143	9.7	9.4	9.55	0.3
144	22.3	17.7	20	4.6
145	12	12	12	0
146	9.1	8.8	8.95	0.3
147	9.2	8.2	8.7	1
148	14.4	13.4	13.9	1
149	11.2	10.8	11	0.4
150	9.1	8.6	8.85	0.5
151	9.1	8.7	8.9	0.4
152	9.3	8.8	9.05	0.5
153	11.6	10.8	11.2	0.8
154	10.4	10.2	10.3	0.2
155	9.2	8.8	9	0.4
156	10.5	10.2	10.35	0.3
157	8.7	8.5	8.6	0.2
158	16	14.5	15.25	1.5
159	9.3	9.1	9.2	0.2
160	6.4	6.2	6.3	0.2
161	9.3	8.9	9.1	0.4
162	8.4	8.2	8.3	0.2
163	7.7	7.5	7.6	0.2
164	10.2	9.8	10	0.4
165	9.1	8.5	8.8	0.6
166	15.7	14.3	15	1.4
167	8.6	8.2	8.4	0.4
168	13.1	12.6	12.85	0.5
169	9.2	9.1	9.15	0.1
170	9.5	9.3	9.4	0.2
171	8.2	7.9	8.05	0.3
172	8.2	7.6	7.9	0.6
173	6.1	6	6.05	0.1
174	8.7	7.9	8.3	0.8
175	11.2	10.5	10.85	0.7
176	12	11.6	11.8	0.4
177	7.8	7.6	7.7	0.2
178	8.8	8	8.4	0.8
179	6.9	6.6	6.75	0.3
180	8.4	8.2	8.3	0.2

Contenido de humedad final				
Tabla	CH centro (%)	CH superficie (%)	CH promedio (%)	Gradiente
181	7.5	7	7.25	0.5
182	7.7	7.7	7.7	0
183	8.6	8.4	8.5	0.2
184	8.3	8.1	8.2	0.2
185	7	6.4	6.7	0.6
186	7.9	7.5	7.7	0.4
187	8.2	7.9	8.05	0.3
188	9	8.7	8.85	0.3
189	8.8	8.4	8.6	0.4
190	8.6	7.6	8.1	1
191	8.3	8.2	8.25	0.1
192	17.2	13.3	15.25	3.9
193	7.4	7.2	7.3	0.2
194	12.4	12	12.2	0.4
195	9.5	9	9.25	0.5
196	11.7	11.2	11.45	0.5
197	8	7.4	7.7	0.6
198	9.8	9.3	9.55	0.5
199	10.6	10.1	10.35	0.5
200	9.1	8.8	8.95	0.3
201	9.2	9	9.1	0.2
202	8.7	8.6	8.65	0.1
203	10.2	10	10.1	0.2
204	17.5	16	16.75	1.5
205	18	16.4	17.2	1.6
206	8.1	6.9	7.5	1.2
207	9.2	8.7	8.95	0.5
208	9	8.9	8.95	0.1
209	11.7	11.4	11.55	0.3
210	14.9	14.1	14.5	0.8
211	8.5	8.5	8.5	0
212	8.1	8.1	8.1	0
213	8.9	8.5	8.7	0.4
214	14.6	13.5	14.05	1.1
215	12.2	11.8	12	0.4
216	7.1	7.2	7.15	-0.1
217	10.8	10.2	10.5	0.6
218	14.5	13.8	14.15	0.7
219	9	8.7	8.85	0.3
220	13.7	12.3	13	1.4
221	12.8	12.3	12.55	0.5
222	15.3	13.8	14.55	1.5
223	11.1	11	11.05	0.1
224	12.7	12	12.35	0.7
225	10.3	9.8	10.05	0.5

Anexo 41: Evaluación de defectos de forma y estructura de las tablillas de la carga 3

Tabla	Colapso		Grietas en las caras			Grietas en los extremos			Alabeos	
	Presenta	No presenta	Número (unidades)	Profundidad Promedio (mm)	Largo Promedio	Número (unidades)	Ancho Promedio	Suma de largos (mm)	Tipo	Flecha (mm)
1		x							Arqueadura	2
2		x							Arqueadura	1
3		x							Arqueadura	3
4		x							Arqueadura	2
5		x							Arqueadura	4
6		x	2		30				Arqueadura	2
7		x							Arqueadura	3
8		x								
9		x							Torcedura	6
10		x							Arqueadura	4
11		x							Arqueadura	1
12		x								
13		x							Arqueadura	2
14		x								
15		x							Torcedura	5
16		x							Arqueadura	2
17		x								
18		x							Arqueadura	2
19		x							Arqueadura	3
20		x							Arqueadura	3
21		x							Arqueadura	1
22		x								
23		x							Arqueadura	3
24		x							Arqueadura	2
25		x							Arqueadura	3
26		x								
27		x							Arqueadura	3
28		x								
29		x							Arqueadura	2
30		x							Arqueadura	2
31		x								
32		x								
33		x							Arqueadura	2
34		x							Encorvadura	2
35		x							Arqueadura	1
36		x							Encorvadura	6
37		x							Arqueadura	1
38		x							Arqueadura	4
39		x							Arqueadura	4
40		x							Arqueadura	2
41		x								
42		x	1		40				Arqueadura	2
43		x							Arqueadura	4
44		x							Arqueadura	1
45		x							Arqueadura	2

46		x								
47		x							Arqueadura	2
48		x							Arqueadura	3
49		x								
50		x							Arqueadura	2
51		x								
52		x							Arqueadura	2
53		x							Arqueadura	3
54		x							Arqueadura	2
55		x								
56		x							Arqueadura	2
57		x								
58		x							Encorvadura	4
59		x							Arqueadura	1
60		x							Torcedura	3
61		x							Encorvadura	3
62		x							Arqueadura	6
63		x							Torcedura	5
64		x							Torcedura	4
65		x								
66		x							Arqueadura	3
67		x							Encorvadura	3
68		x								
69		x								
70		x								
71		x							Arqueadura	2
72		x							Torcedura	4
73		x								
74		x							Arqueadura	4
75		x							Arqueadura	2
76		x							Arqueadura	1
77		x							Arqueadura	1
78		x							Torcedura	8
79		x								
80		x							Torcedura	3
81		x							Arqueadura	4
82		x								
83		x							Arqueadura	1
84		x							Torcedura	7
85		x							Arqueadura	5
86		x							Arqueadura	2
87		x							Arqueadura	2
88		x							Torcedura	3
89		x								
90		x								
91		x							Torcedura	3
92		x								
93		x								
94		x								
95		x							Arqueadura	2
96		x							Arqueadura	2
97		x							Arqueadura	2
98		x								
99		x							Arqueadura	3
100		x								

101		x							Arqueadura	2
102		x							Arqueadura	2
103		x								
104		x							Encorvadura	2
105		x								
106		x							Arqueadura	3
107		x								
108		x							Arqueadura	2
109		x								
110		x							Arqueadura	1
111		x							Arqueadura	2
112		x							Arqueadura	2
113		x							Arqueadura	2
114		x								
115		x							Arqueadura	3
116		x							Arqueadura	1
117		x								
118		x								
119		x							Arqueadura	2
120		x							Torcedura	3
121		x								
122		x							Torcedura	5
123		x							Encorvadura	2
124		x							Acanaladura	1
125		x								
126		x								
127		x							Arqueadura	2
128		x							Encorvadura	2
129		x								
130		x							Arqueadura	2
131		x							Arqueadura	2
132		x								
133		x								
134		x								
135		x							Encorvadura	4
136		x							Arqueadura	2
137		x							Arqueadura	5
138		x								
139		x								
140		x							Torcedura	3
141		x							Arqueadura	1
142		x							Torcedura	2
143		x							Arqueadura	2
144		x								
145		x								
146		x								
147		x							Arqueadura	3
148		x							Arqueadura	2
149		x							Arqueadura	2
150		x								
151		x							Arqueadura	2
152		x							Arqueadura	2
153		x								
154		x							Arqueadura	2
155		x							Arqueadura	1
156		x							Torcedura	3
157		x							Torcedura	11
158		x								
159		x							Encorvadura	3
160		x								

161		x							Arqueadura	4
162		x							Arqueadura	2
163		x							Arqueadura	1
164		x								
165		x								
166		x							Arqueadura	2
167		x							Arqueadura	1
168		x								
169		x								
170		x								
171		x							Arqueadura	2
172		x							Arqueadura	2
173		x							Arqueadura	3
174		x							Arqueadura	1
175		x							Arqueadura	2
176		x								
177		x							Arqueadura	2
178		x							Arqueadura	2
179		x							Arqueadura	2
180		x							Torcedura	15
181		x								
182		x								
183		x							Arqueadura	2
184		x							Arqueadura	5
185		x							Arqueadura	5
186		x							Arqueadura	3
187		x							Arqueadura	2
188		x								
189		x							Arqueadura	3
190		x							Torcedura	6
191		x							Arqueadura	2
192		x								
193		x							Arqueadura	1
194		x								
195		x							Arqueadura	1
196		x							Arqueadura	3
197		x							Arqueadura	3
198		x							Torcedura	7
199		x							Arqueadura	3
200		x							Arqueadura	4
201		x							Arqueadura	3
202		x							Torcedura	6
203		x								
204		x							Torcedura	5
205		x							Torcedura	12
206		x							Arqueadura	2
207		x							Torcedura	7
208		x							Arqueadura	3
209		x							Torcedura	5
210		x								

211		x							Torcedura	2
									Arqueadura	2
212		x							Torcedura	3
									Arqueadura	4
213		x							Arqueadura	2
214		x								
215		x							Torcedura	3
216		x							Torcedura	10
217		x							Acanaladura	1
218		x							Torcedura	4
219		x							Torcedura	6
220		x				1	1	90	Torcedura	9
221		x							Arqueadura	2
222		x								
223		x							Arqueadura	4
224		x								
225		x				1	1	25	Torcedura	15

Anexo 42: Calculo de índice de alabeos de la carga 3

ALABEO	NIVEL DE CLASIFICACION				Indice de alabeos
	A	B	C	D	
Acanaladura	99.11%	0.89%	0.00%	0.00%	0.004
Arqueadura	49.33%	48.44%	2.22%	0.00%	0.264
Encorvadura	95.56%	1.78%	2.22%	0.44%	0.037
Torcedura	85.33%	4.89%	5.33%	4.44%	0.144
INDICE DE CALIDAD TOTAL DE SECADO					0.45

Anexo 43: Programa de secado detallado de la carga 1

	DIA	1				2				3				4			
	FECHA	26-oct				27-oct				28-oct				29-oct			
	HORA	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.			
Programa	TEMP (°C)	35	35	35	38	42	42	42	43	47	47	47	50	50			
	EMC (%)	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	17	16.5			
Cámara	TEMP (°C)	22.2	27.5	32	37.8	40.9	40.5	42.1	43	46.8	47.3	46.1	48.3	46.5			
	HR%	18.8	20	19.9	19.2	18.6	19.3	19.1	18.9	18.5	19	19.4	17.5	16.5			
Contenido de humedad de la madera	T-1	31.80	32.84	32.37	32.04	30.25	27.94	27.46	27.24	27.83	26.65	26.09	25.74	23.96			
	T-2	56.63	55.18	52.66	49.57	42.84	34.26	31.01	30.10	30.52	28.85	28.04	27.05	25.08			
	T-3	62.23	60.85	58.95	55.99	52.09	48.15	44.67	40.17	39.63	37.13	35.03	33.54	30.31			
	T-4	69.59	69.07	67.27	64.53	61.20	57.82	56.41	54.84	52.66	49.16	48.34	47.79	42.05			
	T-5	35.06	37.10	37.30	36.38	33.91	31.67	30.20	27.71	27.56	26.81	25.64	24.33	23.02			
	T-6	62.07	61.87	59.97	58.10	56.36	55.10	54.53	53.75	53.84	53.09	52.36	51.51	50.15			
	T-7	61.96	60.47	56.72	51.76	46.54	42.05	38.62	35.70	35.37	33.57	31.15	28.91	27.42			
	T-8	28.49	33.03	33.62	32.91	31.60	29.83	28.81	27.46	28.32	28.28	27.32	26.02	25.13			
Promedio	50.98	51.30	49.86	47.66	44.35	40.85	38.96	37.12	36.97	35.44	34.25	33.11	30.89				

	DIA	5				6				7			
	FECHA	30-oct				31-oct				01-nov			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMC (%)	17.5	17.5	17	15.5	15.5	15.5	14.5	14	14	14	13	14
Cámara	TEMP (°C)	45.5	47.8	47	46.9	48.9	50	47	48	48.8	50.1	46.9	47.8
	HR%	17.4	17	17.1	15.4	15.6	15	14.5	14.2	14	13.6	12.9	13.7
Contenido de humedad de la madera	T-1	23.59	23.76	23.22	22.30	22.08	21.64	20.69	20.12	19.83	19.62	18.64	18.33
	T-2	24.24	24.34	23.39	22.16	21.94	21.22	19.87	19.06	18.57	18.10	17.00	16.54
	T-3	29.18	29.08	27.86	26.22	25.88	25.09	23.56	22.77	22.50	22.33	21.36	21.14
	T-4	40.52	41.27	39.81	35.77	34.78	34.33	31.31	29.62	28.95	28.98	26.30	26.02
	T-5	22.61	22.73	21.75	20.98	21.00	20.35	19.33	18.89	18.65	18.40	17.45	17.43
	T-6	49.23	48.63	47.77	46.60	45.79	44.77	43.52	42.44	41.78	41.31	39.66	39.18
	T-7	26.23	25.59	24.25	23.27	22.65	21.47	20.31	19.51	18.80	18.10	17.15	16.74
	T-8	24.85	24.75	23.66	23.11	23.36	22.22	21.16	20.86	20.51	20.07	19.02	19.06
Promedio	30.06	30.02	28.96	27.55	27.19	26.39	24.97	24.16	23.70	23.36	22.07	21.81	

		8				9				10			
		02-nov				03-nov				04-nov			
FECHA		12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMC (%)	13.5	13.5	13	11.5	11.5	11.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.5	9.5
Cámara	TEMP (°C)	47.1	50.3	46	49.7	49.6	49.9	49.2	49.2	50.7	51	49.3	49.7
	HR%	13.3	13.2	12.9	11.6	11.8	11.7	10.7	10.7	10.3	10.4	9.4	9.6
Contenido de humedad de la madera	T - 1	18.11	17.68	17.27	16.73	16.29	15.66	14.77	14.77	14.39	14.03	13.52	13.19
	T - 2	16.04	15.21	14.80	13.89	13.19	12.42	11.40	11.40	10.96	10.59	10.07	9.79
	T - 3	21.05	27.26	20.37	19.87	19.73	19.25	18.19	18.19	17.61	17.04	16.09	15.42
	T - 4	25.66	25.50	23.98	22.50	21.94	20.73	18.17	18.17	17.11	15.85	14.61	14.17
	T - 5	17.20	16.71	16.49	16.09	15.75	15.28	14.79	14.79	14.57	14.36	13.97	13.83
	T - 6	38.91	38.66	37.18	36.53	35.41	34.29	32.03	32.03	31.19	30.42	29.21	28.10
	T - 7	16.05	15.18	14.82	14.08	13.31	12.58	11.52	11.52	11.03	10.69	10.16	9.77
	T - 8	18.64	17.95	17.65	17.37	16.61	15.93	15.05	15.05	14.68	14.25	13.65	13.24
Promedio		21.46	21.77	20.32	19.63	19.03	18.27	16.99	16.99	16.44	15.90	15.16	14.69

		11				12				13			
DIA		05-nov				06-nov				07-nov			
FECHA		12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMC (%)	9.5	9.5	9	9	9	9	9	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Cámara	TEMP (°C)	50	49.6	49.7	50	50.7	49.9	50.7	49.4	50.2	50	49.7	49.6
	HR%	9.3	9.3	8.9	9.1	8.8	9	8.9	8.3	8.3	8.6	8.7	8.6
Contenido de humedad de la madera	T - 1	12.86	12.58	12.30	11.90	11.76	11.45	11.27	11.02	10.84	10.67	10.33	10.26
	T - 2	9.48	9.20	8.90	8.56	8.47	8.17	8.02	7.86	7.71	7.54	7.29	7.33
	T - 3	14.78	14.27	13.60	13.09	12.80	12.41	12.15	11.76	11.53	11.29	10.88	10.74
	T - 4	13.63	13.07	12.60	12.36	12.14	11.63	11.48	11.17	10.91	10.60	10.31	10.29
	T - 5	13.62	13.39	13.20	12.90	12.77	12.44	12.32	12.04	11.74	11.50	11.15	11.06
	T - 6	27.17	26.30	25.20	23.87	23.05	22.05	21.42	20.26	19.52	18.77	17.88	17.26
	T - 7	9.43	9.21	8.80	8.43	8.30	8.07	7.86	7.59	7.43	7.33	7.02	6.94
	T - 8	12.79	12.42	12.10	11.64	11.42	11.11	10.95	10.61	10.38	10.21	9.89	9.80
Promedio		14.22	13.81	13.34	12.84	12.59	12.17	11.93	11.54	11.26	10.99	10.59	10.46

	DIA	14			
	FECHA	08-nov			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	45	31
	EMC(%)	8.5	8.5	8	7.5
Cámara	TEMP (°C)	49.7	50.3	47.6	33.3
	HR%	8.3	8.5	7.9	7.6
Contenido de humedad de la madera	T - 1	10.13	9.89	9.69	9.82
	T - 2	7.26	7.08	6.90	7.12
	T - 3	10.56	10.30	10.06	10.20
	T - 4	10.03	9.76	9.57	9.55
	T - 5	10.83	10.53	10.32	10.53
	T - 6	16.69	16.06	15.37	14.20
	T - 7	6.98	6.77	6.46	6.55
	T - 8	9.55	9.41	9.16	9.29
	Promedio	10.25	9.98	9.69	9.66

Anexo 44: Programa de secado detallado de la carga 2

	DIA	2				3				4				
	FECHA	20-nov				21-nov				22-nov				
	HORA	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	34	34	34	38	40	40	40	45	47	47	47	50	49
	EMC (%)	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	17	18
Cámara	TEMP (°C)	33.5	30.9	33.4	38.1	39.9	40	40	45	46	47	47	49	48.4
	HR%	16.8	18.3	20.6	19.7	19	19	19	19.8	19.1	19	19	17	18.3
Contenido de humedad de la madera	T - 5	74.78	73.70	71.07	68.75	65.30	63.10	60.30	58.60	57.10	56.90	56.01	55.70	54.85
	T - 6	73.38	72.58	70.24	69.23	66.50	64.50	61.50	59.10	57.90	55.30	53.60	51.20	50.10
	T - 7	73.90	72.57	69.08	68.20	63.90	61.30	57.60	55.00	53.00	51.00	49.00	45.90	44.83
	T - 8	55.30	55.15	49.08	47.90	45.10	42.90	39.80	37.60	34.70	32.90	28.10	24.00	23.37
	Promedio	59.27	58.60	55.69	54.62	51.96	50.16	47.64	45.86	44.34	43.02	41.14	39.16	38.23

	DIA	5				6				7			
	FECHA	23-nov				24-nov				25-nov			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	49	49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMC (%)	18	18	17	16	15	15	14	13	13	13	12.5	12
Cámara	TEMP (°C)	47.9	48.2	50.3	49.9	49	49.4	49.7	48.8	48.4	46.8	50.4	50
	HR%	17.8	18.3	16.7	15.7	15.1	14.9	13.9	12.9	12.9	13.2	12.5	12.2
Contenido de humedad de la madera	T - 5	53.88	53.83	52.84	51.82	50.10	49.91	48.52	46.07	45.05	43.70	43.38	41.22
	T - 6	49.44	49.77	48.25	47.57	45.50	45.20	43.02	40.76	39.03	37.10	36.45	34.53
	T - 7	44.23	43.90	41.91	41.29	39.47	39.04	37.55	35.93	34.93	34.25	34.00	32.80
	T - 8	22.85	22.79	21.70	21.13	20.10	19.82	19.21	18.37	17.79	17.35	17.36	17.14
	Promedio	37.68	37.66	36.54	35.96	34.63	34.39	33.26	31.83	30.76	29.88	29.64	28.54

	DIA	8				9				10			
	FECHA	26-nov				27-nov				28-nov			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMC (%)	12	12	11.5	11	11	11	10.5	10.5	10	10	10	9.5
Cámara	TEMP (°C)	49	50.4	50.3	50.4	50.4	50.6	49.9	49.5	50.4	50.2	50.6	49.8
	HR%	12.4	12	11.4	10.8	11.1	10.9	10.6	10.3	9.9	9.8	9.7	9.6
Contenido de humedad de la madera	T - 5	39.40	38.61	32.95	13.35	12.91	16.98	12.21	11.65	11.19	10.79	10.42	9.90
	T - 6	32.70	31.23	29.88	27.98	26.44	25.25	24.02	21.99	20.03	18.24	16.93	15.41
	T - 7	32.06	31.75	31.12	30.09	29.44	29.30	28.80	27.94	27.31	26.99	26.69	25.57
	T - 8	16.42	16.33	16.25	16.19	15.97	15.91	15.80	15.49	15.34	15.24	15.13	14.76
	Promedio	27.52	26.98	25.44	20.34	20.34	20.79	19.40	18.61	17.94	17.33	16.88	16.12

	FECHA	29-nov				30-nov				01-dic			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMC (%)	9.5	9.5	9.5	9	9	9	9	8.5	8.5	8.5	8	8
Cámara	TEMP (°C)	50.7	50.1	49.4	50.2	49.5	50.5	50.2	49.8	49.3	49.8	50.6	49.4
	HR%	9.4	9.5	9.7	8.9	9	8.8	9.1	8.6	8.7	8.6	7.9	7.9
Contenido de humedad de la madera	T - 5	9.72	9.37	9.20	8.78	8.54	8.28	8.20	7.80	7.49	7.26	6.81	6.76
	T - 6	14.75	14.01	13.40	13.08	12.66	12.25	12.10	11.60	11.34	11.00	10.66	10.49
	T - 7	25.36	24.90	24.30	23.88	23.31	22.89	22.70	21.70	21.34	20.90	20.46	19.86
	T - 8	14.80	14.57	14.50	14.35	14.21	14.00	14.00	13.70	13.63	13.39	13.23	13.11
	Promedio	15.91	15.47	15.16	14.86	14.57	14.23	14.14	13.66	13.43	13.11	12.78	12.59

	DIA	14				15
	FECHA	02-dic				03-dic
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	46	46
	EMC (%)	8	8	11	7.5	7.5
Cámara	TEMP (°C)	49.2	49.6	51.3	44.8	37.1
	HR%	8.1	8.1	9.7	8.3	7.8
Contenido de humedad de la madera	T - 5	6.68	6.65	7.39	5.43	5.79
	T - 6	10.25	10.03	9.92	9.48	9.32
	T - 7	19.45	19.08	18.93	17.75	17.49
	T - 8	12.95	12.80	12.65	12.21	12.06
	Promedio	12.37	12.17	12.20	11.31	11.23

Anexo 45: Programa de secado detallado de la carga 3

		1		2				3				4			
		07-dic		08-dic				09-dic				10-dic			
		06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	
Programa	TEMP (°C)	35	35	35	38	40	43	43	46	50	50	50	50	50	
	EMIC (%)	20	20	20	20	20	19	19	19	18	18	18	17	16	
Cámara	TEMP (°C)	23.9	31.5	34.4	38.7	40.6	42.9	42.9	44.5	49.8	49.2	48.4	50.3	48.8	
	HR%	16.6	18.1	20.4	19.6	19.4	19	18.6	17.9	17.6	17.8	18.1	17.2	16.4	
Contenido de humedad de la madera	T-1	64.87	64.87	63.11	59.56	53.54	46.92	37.04	34.49	32.95	30.00	27.49	25.95	23.90	
	T-2	69.50	71.45	70.14	58.90	43.50	30.97	29.00	29.04	27.00	26.00	25.38	21.81	16.42	
	T-3	72.22	71.88	70.42	67.00	62.34	57.43	53.06	50.29	48.03	45.67	43.25	39.53	32.92	
	T-4	62.76	61.21	59.82	55.61	51.61	49.86	45.02	42.25	42.19	39.51	37.26	35.25	34.03	
	T-5	62.47	58.77	53.29	45.66	42.22	40.55	36.34	39.15	39.74	35.84	31.74	30.77	31.18	
	T-6	54.71	56.14	54.42	51.47	48.66	47.17	45.23	45.07	44.36	41.41	37.78	35.78	32.84	
	T-7	65.53	62.44	58.96	55.26	50.54	45.93	39.05	38.28	35.98	31.52	28.19	26.63	25.11	
	T-8	56.43	55.47	54.07	51.05	46.82	42.58	39.36	38.84	38.17	35.23	31.83	29.74	27.16	
	Promedio	63.56	62.78	60.53	55.56	49.90	45.18	40.51	39.68	38.55	35.65	32.87	30.68	27.95	

		5				6				7			
		11-dic				12-dic				13-dic			
		12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMIC (%)	16	16	16	15	16	16.5	16	14	14	14	13	11.5
Cámara	TEMP (°C)	48.2	49.3	48.4	49.3	43.5	44.4	44.8	49.2	49.3	49.6	50.2	49.5
	HR%	16.1	15.4	15.9	15.4	16	16.4	16.1	13.9	14.1	14.2	13.2	11.5
Contenido de humedad de la madera	T-1	23.08	20.59	21.30	20.59	19.34	19.69	19.14	18.77	17.76	17.26	16.72	15.90
	T-2	28.71	15.17	19.28	15.17	15.15	16.80	35.63	35.41	33.97	32.87	31.65	30.17
	T-3	32.29	26.28	28.31	26.28	24.01	24.55	23.43	22.61	21.84	20.86	19.79	18.71
	T-4	33.68	33.44	35.02	33.44	31.50	31.14	31.13	30.85	29.31	29.33	30.28	29.19
	T-5	28.48	26.06	26.26	26.06	23.40	23.65	23.43	23.65	22.06	21.63	21.25	19.92
	T-6	31.52	28.06	28.91	28.06	25.70	26.02	25.36	25.26	24.09	23.49	22.88	21.90
	T-7	23.79	21.20	21.68	21.20	19.47	19.93	19.52	19.56	18.77	18.60	18.29	17.51
	T-8	25.87	22.57	23.33	22.57	20.81	21.06	20.27	19.99	18.88	17.96	17.04	15.74
Promedio	28.43	24.17	25.51	24.17	22.42	22.86	24.74	24.51	23.34	22.75	22.24	21.13	

	DIA	8				9				10			
	FECHA	14-dic				15-dic				16-dic			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMIC (%)	11.5	11.5	10.5	10.5	10	10	9.5	9	9	9	8.5	8.5
Cámara	TEMP (°C)	50.4	47.2	48.1	50	48.2	47.6	50.1	49	48.7	49	49.4	49.7
	HR%	11.5	11.4	10.9	10.5	10.1	9.9	9.5	9.3	8.9	9	8.8	8.5
Contenido de humedad de la madera	T-1	15.46	15.19	14.84	14.42	14.15	13.86	13.35	12.74	12.40	11.96	11.27	10.86
	T-2	28.93	27.37	26.84	25.87	24.22	23.11	22.53	21.19	20.11	19.18	18.65	16.53
	T-3	18.03	17.30	16.86	16.44	15.72	15.12	14.30	13.17	12.38	11.57	11.00	10.62
	T-4	28.99	28.64	28.95	30.55	29.43	28.38	29.11	28.06	28.01	30.56	34.20	34.16
	T-5	19.36	19.05	18.60	18.02	17.59	17.39	17.02	16.16	15.92	15.78	15.18	14.86
	T-6	21.33	20.83	20.53	20.21	19.70	19.31	18.96	18.22	17.75	17.19	16.47	15.77
	T-7	17.27	17.00	16.75	16.63	16.54	16.47	16.60	16.30	16.34	16.38	16.21	16.19
	T-8	14.84	14.01	13.20	12.54	11.92	11.37	10.73	10.13	9.79	9.46	8.90	8.66
	Promedio	20.53	19.92	19.57	19.34	18.66	18.13	17.83	17.00	16.59	16.51	16.49	15.96

	DIA	11				12				13			
	FECHA	17-dic				18-dic				19-dic			
	HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	EMIC (%)	8.5	8.5	8	8	8	8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Cámara	TEMP (°C)	49.4	49.5	49.3	50	49.6	48.9	50	50	48.6	49.6	49	48.9
	HR%	8.6	8.7	8.3	8	7.9	8	7.6	7.5	7.4	7.5	7.6	7.6
Contenido de humedad de la madera	T-1	10.40	10.06	10.00	9.80	9.87	9.85	9.50	9.36	8.95	8.63	8.32	8.05
	T-2	16.16	15.68	15.24	14.98	14.72	14.70	14.39	14.08	13.72	13.69	13.53	13.07
	T-3	10.16	9.84	9.69	9.58	9.36	9.27	9.02	8.88	8.62	8.59	8.40	8.16
	T-4	31.83	31.40	30.90	30.08	29.05	28.64	28.12	26.90	26.01	25.71	25.06	23.06
	T-5	14.57	14.23	14.00	13.90	13.80	13.15	12.95	12.63	12.45	12.30	12.23	11.93
	T-6	15.05	14.53	14.26	14.01	13.52	13.08	12.98	12.65	12.48	12.41	12.31	11.97
	T-7	15.89	15.76	15.48	15.31	15.06	14.95	14.81	14.90	14.92	14.89	14.98	14.82
	T-8	8.34	8.13	7.90	7.69	7.53	7.41	7.39	7.15	7.03	6.90	6.86	6.72
	Promedio	15.30	14.95	14.68	14.42	14.11	13.88	13.65	13.32	13.02	12.89	12.71	12.22

		DIA	14				15
		FECHA	20-dic				21-dic
		HORA	12:00 a.m.	06:00 a.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	12:00 a.m.
Programa	TEMP (°C)	50	50	45	45	33	
	EMC (%)	7.5	7.5	7	7	7	
Cámara	TEMP (°C)	49.8	50	47	42	33	
	HR%	7.3	7.3	7.2	7.1	7	
Contenido de humedad de la madera	T-1	7.96	7.64	7.48	7.18	7.22	
	T-2	12.82	12.43	12.27	11.95	12.07	
	T-3	8.09	7.83	7.71	7.43	7.48	
	T-4	23.29	22.49	21.91	19.66	18.76	
	T-5	11.76	11.28	11.02	10.76	10.80	
	T-6	11.80	11.38	11.19	10.92	10.98	
	T-7	14.92	14.60	14.45	14.22	14.37	
	T-8	6.75	6.54	6.45	6.22	6.31	
	Promedio	12.17	11.77	11.56	11.04	11.00	

Anexo 46: ANVA para la presencia de alabeos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	2489.62	2489.62	255.62	0.000
Error	4	38.96	9.74		
Total	5	2528.58			

Anexo 47: Prueba de Tukey para presencia de alabeos

Prueba de Tukey con una confianza de 95% para la presencia de alabeos				
Factor	N	Media	Agrupación	
Con alabeo	3	70.37	A	
Sin alabeo	3	29.63		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 48: ANVA para tipos de alabeos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	4155	1385.0	5.52	0.024
Error	8	2007	250.8		
Total	11	6162			

Anexo 49: Prueba de Tukey para para tipos de alabeos

Prueba de Tukey con una confianza de 95% para para tipos de alabeos				
Factor	N	Media	Agrupación	
Arqueado	3	53.8	A	
Torcedura	3	22.68	A	B
encorvado	3	21.71	A	B
Acanalado	3	1.723		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.