

Rosa Norma Aguilar Lozano
Emer Ronald Rosales Solórzano
Jakson Joel Villalobos Papa
Percy Amilcar Zevallos Pollito

SECADO CONVENCIONAL DE MADERA

para muebles de *Aspidosperma parvifolium*
A.DC. (quillabordon)

Rosa Norma Aguilar Lozano
Emer Ronald Rosales Solórzano
Jakson Joel Villalobos Papa
Percy Amilcar Zevallos Pollito

SECADO CONVENCIONAL DE MADERA

para muebles de *Aspidosperma parvifolium*
A.DC. (quillabordon)

Editora jefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora ejecutiva

Natalia Oliveira

Asistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecario

Janaina Ramos

Proyecto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imágenes de portada

iStock

Edición de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Derechos de autor © Atena Editora

Derechos de autor del texto © 2024

Los autores

Derechos de autor de la edición ©

2024 Atena Editora

Derechos de esta edición concedidos a
Atena Editora por los autores.

Publicación de acceso abierto por Atena
Editora



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido del texto y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos a los autores, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Los manuscritos nacionales fueron sometidos previamente a una revisión ciega por pares por parte de miembros del Consejo Editorial de esta editorial, mientras que los manuscritos internacionales fueron evaluados por pares externos. Ambos fueron aprobados para su publicación en base a criterios de neutralidad académica e imparcialidad.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

Consejo Editorial**Ciencias Exactas y de la Tierra e Ingeniería**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Secado convencional de madera para muebles de Aspidosperma parvifolium A.DC. (quillabordon)

Diagramación: Ellen Andressa Kubisty
Corrección: Maiara Ferreira
Indexación: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisión: Los autores
Autores: Rosa Norma Aguilar Lozano
Emer Ronald Rosales Solórzano
Jakson Joel Villalobos Papa
Percy Amilcar Zevallos Pollito

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)	
S444	<p>Secado convencional de madera para muebles de Aspidosperma parvifolium A.DC. (quillabordon) / Rosa Norma Aguilar Lozano, Emer Ronald Rosales Solórzano, Jakson Joel Villalobos Papa, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Otro autor Percy Amilcar Zevallos Pollito</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acceso: World Wide Web Inclui bibliografía ISBN 978-65-258-2740-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.407243107</p> <p>1. Madera. I. Lozano, Rosa Norma Aguilar. II. Solórzano, Emer Ronald Rosales. III. Papa, Jakson Joel Villalobos. IV. Título. CDD 674</p>
Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Los autores de este trabajo: 1. Certifican que no tienen ningún interés comercial que constituya un conflicto de interés en relación con el contenido publicado; 2. Declaran haber participado activamente en la construcción de los respectivos manuscritos, preferentemente en: a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para envío; 3. Acrediten que el texto publicado está completamente libre de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirmar la cita y la referencia que sean correctas de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconocen haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para la realización de la investigación; 6. Autorizar la publicación de la obra, que incluye las fichas del catálogo, ISBN (Número de serie estándar internacional), D.O.I. (Identificador de Objeto Digital) y demás índices, diseño visual y creación de portada, maquetación interior, así como su lanzamiento y difusión según criterio de Atena Editora.

DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. Esta publicación constituye únicamente una cesión temporal del derecho de autor, derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de manuscritos publicados, en los términos previstos en la Ley. sobre Derechos de autor (Ley 9610/98), en el artículo 184 del Código Penal y en el art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza y estimula a los autores a suscribir contratos con los repositorios institucionales, con el objeto exclusivo de difundir la obra, siempre que cuente con el debido reconocimiento de autoría y edición y sin fines comerciales; 3. Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que no los vende en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico, por lo tanto, está exento de transferencias de derechos de autor a los autores; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y vinculados a instituciones públicas de educación superior, según recomendación de la CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. No transfiere, comercializa ni autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, así como cualquier otro dato de los mismos, para fines distintos al ámbito de difusión de esta obra.

La divulgación del libro “**Secado convencional de madera para muebles de *Aspidosperma parvifolium* A.DC. (quillabordon)**”, cumple con el más ambicioso alcance y labor productiva de todo investigador con los resultados de una investigación para impartir a la comunidad universitaria y público en general, que se llama aportación.

La presente tiene alcance significativo y trascendente, porque reúne objetivos de calidad académica y eficacia en el sistema universitario. Asimismo, es imprescindible porque cumple pasos que marcan una diferencia como producto, para su aceptación en el mercado intelectual. En consecuencia, no solo responde a todos los problemas básicos en su tema, sino que presenta los principios esenciales capaces de guiar en la correcta orientación para el estudio de secado de la madera de especies forestales.

Los aportes de fondo no constituyen una obra terminada, es un tema motivador para investigaciones con mayor profundidad, siendo esta un grano en la inmensidad de alternativas existentes. Los contenidos de sus secciones deben ser interpretadas con pasión y sus temas introduce al lector en el mundo del secado de la madera, aplicando modelos para un buen aprendizaje.

En el libro “Secado convencional de madera para muebles de *Aspidosperma parvifolium* A.DC. (quillabordon)” botánica del *Aspidosperma parvifolium* A.DC. (quillabordon), secado convencional o artificial de la madera, proceso de secado, programas de secado, consideraciones para programar el secado, defectos de secado, tensiones de la madera, apilado, cinética del secado convencional, agua en la madera, tipos de agua en la madera, densidad básica, contracción, gradiente de humedad y propiedades, para luego obtener resultados sobre: Curva de secado, variación dimensional de la madera en el secado, defectos de secado de la madera y calidad de secado y energía consumida en el proceso de secado. Por ello deseamos que el aporte de la enseñanza impartida en el presente coseche el reconocimiento y que esta y futura generación sea guiada por las instrucciones del libro.

Los autores

DEDICATORIA

A Dios el todopoderoso por darnos vida y salud, y a la familia por estar a nuestro lado en todos los momentos.

Los autores

Agradecemos a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la UNAMAD por brindar el uso de sus laboratorios para desarrollar la investigación.

Agradecemos al CONCYTEC por haber financiado económicamente para desarrollar la investigación.

Al Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano, por haber animado, apoyado en la postulación y presentación del estudio al CONCYTEC.

Al Ph.D. Zevallos Pollito, Percy Amílcar, por haber apoyado con su conocimiento para poder culminar con la investigación.

Al Dr. Roger Chambi Leguas por el asesoramiento en el análisis de los datos recopilados.

A la Ing. Lis Cántaro coordinadora regional de AIDER, por brindar las facilidades a la autora Rosa Norma Aguilar Lozano para el levantamiento de datos en campo.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el secado convencional en horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC.). Para ello, se realizaron tres ensayos de secado de muestras de *A. parvifolium* procedente del distrito Las Piedras, provincia de Tambopata, Madre de Dios – Perú, usando el horno de secado IMAD EKO 2 (2019) instalado en la Planta de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. La carga de madera de cada ensayo fue de aproximadamente 191,59 pt, es decir 69 muestras de 1 pulg x 10 pulg. x 10 pies. Se aplicó el programa de secado 2 predefinido del horno de secado, durante un tiempo de secado de 4 días en cada ensayo. Durante el secado se monitoreó a cada 24 horas la temperatura, humedad de equilibrio (HE%), y contenido de humedad de la madera (CH%) en 4 muestras, por medio de sensores del horno de secado. Además, se midió mediante el higrómetro de pines el CH% inicial y CH% final de las muestras de los ensayos. Para determinar la contracción se midió las dimensiones iniciales y finales de todas las muestras de cada ensayo. La calidad de secado de cada ensayo se evaluó mediante los índices de alabeos y grietas de las muestras. Los resultados muestran que la temperatura y HE% presentaron una variación a lo largo de las 4 días similar entre los tres ensayos. La curva de secado de los ensayos muestra una disminución progresiva del CH% de la madera de forma lineal a lo largo del tiempo de secado. En cuanto que la curva de velocidad de secado mostró se ajustó a un modelo no lineal parabólico. La contracción volumétrica de la madera vario de 5,01% a 6,16% entre los ensayos. La calidad de secado fue “menos que regular”, “buena” y “muy buena” en los ensayos 1, 3, y 2, respectivamente. El consumo promedio de energía del horno fue de 252,2 kW h por cada ensayo.

PALABRAS CLAVE: Madera tropical; calidad de secado; defectos de secado; alabeos de la madera; contracción de la madera.

The objective of the present study was to evaluate the conventional kiln drying of quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC.) furniture wood in the IMAD EKO 02 kiln. For this purpose, three drying trials of *A. parvifolium* boards from Las Piedras district, Tambopata province, Madre de Dios - Peru, were carried out using the IMAD EKO 2 drying kiln (2019) installed at the Wood Technology Plant of the National Amazonian University of Madre de Dios. The lumber load of each trial was approximately 191.59 pt, i.e. 69 boards of 1 in. x 10 in. x 10 ft. The predefined drying schedule 2 of the drying kiln was applied for a drying time of 4 days (96 hours) in each trial. During drying, temperature, equilibrium moisture content (HE%), and wood moisture content (CH%) were monitored every 24 hours on 4 boards by means of sensors in the drying kiln. In addition, the initial CH% and final CH% of the test boards were measured using a pin hygrometer. To determine shrinkage, the initial and final dimensions of all the boards in each trial were measured. The drying quality of each trial was evaluated by the warping and cracking rates of the boards. The results show that the temperature and HE% showed a similar variation over the 4 days between the three trials. The drying curve of the tests shows a progressive decrease of the CH% of the wood in a linear way along the drying time. The drying rate curve showed a non-linear parabolic model. The volumetric shrinkage of the wood varied from 5.01% to 6.16% between trials. Drying quality was "less than fair", "good" and "very good" in trials 1, 3, and 2, respectively. The average energy consumption of the oven was 252.2 kWh for each trial.

KEYWORDS: Tropical wood; drying quality; drying defects; wood warping; wood shrinkage.

CAPÍTULO I - PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Formulación del problema general	2
1.2.2 Formulación de los problemas específicos	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Variables	3
1.4.1 Variables independientes	3
1.4.2 Variables dependientes	4
1.5 Operacionalización de variables	4
1.6 Hipótesis	5
1.6.1 Hipótesis general	5
1.6.2 Hipótesis específicas	5
1.7 Justificación e importancia	5
1.7.1 Justificación técnica	5
1.7.2 Justificación socioeconómica	6
1.7.3 Justificación ecológica	6
1.8 Consideraciones éticas	6
CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes de estudio	7
2.2 Bases teóricas	8
2.2.1. <i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC. (quillabordon)	8
2.2.2 Secado convencional o artificial	10
2.2.3 Proceso de secado	11
2.2.4 Programas de secado	13

2.2.5 Consideraciones para programar el secado	14
2.2.6 Defectos de secado	15
2.2.7 Tensiones de la madera	18
2.2.8 Apilado	18
2.2.9 Cinética del secado convencional	19
2.3 Definición de términos	19
2.3.1 Agua de constitución	19
2.3.2 Agua higroscópica	19
2.3.3 Agua libre	19
2.3.4 Contenido de humedad de equilibrio (CHE)	19
2.3.5 Punto de saturación de la fibra (PSF)	19
2.3.6 Contenido de humedad libre (CHL)	20
2.3.7 Contenido de humedad máximo (CHM)	20
2.3.8 Densidad básica (DB)	20
2.3.9 Masa seca	20
2.3.10 Masa húmeda	20
2.3.11 Volumen verde o húmedo	20
CAPÍTULO III - METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	22
3.1 Tipo de estudio	22
3.2 Diseño del estudio	22
3.3 Población y muestra	22
3.3.1 Población	22
3.3.2 Muestra	22
3.4 Métodos y técnicas	23
3.4.1 Métodos	23
3.4.2 Técnicas	23
3.4.3 Programa de secado	26

3.4.4 Control del proceso de secado	27
3.4.5 Cinética del secado convencional	28
3.4.6 Contracción de la madera	28
3.4.7 Energía consumida en el proceso de secado	29
3.5 Tratamiento de los datos	30
CAPÍTULO IV - RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	31
4.1 Curva de secado	31
4.2 Variación dimensional de la madera en el secado	38
4.3 Defectos de secado de la madera y calidad de secado	38
4.4 Energía consumida en el proceso de secado	40
CONCLUSIONES	41
SUGERENCIAS.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS.....	45

INTRODUCCIÓN

La especie forestal quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC.) es moderadamente fácil de aserrar, y presenta una regular trabajabilidad debido al grano entrecruzado. El comportamiento al secado natural es bueno, el tiempo de secado natural de la albura y duramen es prolongado de un aproximado de 96 días, desde un contenido de humedad inicial promedio de 44 % hasta un contenido de humedad final promedio de 13,5 % que es el promedio del contenido de humedad en Madre de Dios. Sus principales usos son para la construcción de interiores y exteriores, construcción de barcos y buques, construcciones pesadas, pisos, laminado, cajonería y hoy principalmente para la mueblería y ebanistería en general.

La tecnología avanzada para secado nos permite conocer el proceso de secado para cada especie, por tal motivo nuestra investigación se basó en la necesidad e importancia de buscar información sobre el proceso adecuado y el comportamiento que tendrá la madera quillabordon en el secado convencional con cámara de secado eléctrico tipo IMAD EKO 02. En el país no se tiene información específica del tema a estudiar, la información existente es muy general y en otro tipo de cámaras de secado que no son muy aplicables en la industria maderera de la región de Madre de Dios.

La calidad del secado depende del comportamiento al proceso de secado de la madera la misma que nos demostrará si el programa empleado ha sido adecuado o no para la especie estudiada, por lo que fue posible evaluar si el programa de secado es apropiado para la especie, el contenido de humedad y las diferencias de tensión que ocurren en la madera.

Por tanto, el desconocimiento de la eficiencia del proceso, en ese sentido este estudio busca evaluar el proceso del programa de secado que contiene el horno para las especies de densidad dura. Se pretende utilizar el programa para la especie, y hacer algunas correcciones y adecuaciones del programa acorde a las variables de producción empleadas con la finalidad de tener un mejor ajuste y recomendar su uso.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú se aprovechan volúmenes considerables del cual sólo 20 especies son de importancia comercial. Pero hay otras especies maderables de categoría C, D y E más abundantes y frecuentes, con características aptas para usos comunes que no son aprovechadas por la industria nacional, debido a algunas características indeseables (Serfor 2016).

En el proceso de la transformación de la madera el secado es uno de los más importantes porque nos permitirá obtener madera de calidad con mayor valor, lo mismo que podrá ser trasladado con menores costos. El tener un programa de secado adecuado nos permitirá tener una rentabilidad mayor y les servirá a empresas madereras que deseen realizar este proceso de secado; así mismo es necesario tener en cuenta que este proceso puede resultar riesgoso si no se tiene conocimiento del programa adecuado y a la vez muy costoso; un programa de secado adecuado disminuirá pérdidas de madera por no tener demasiados defectos en el secado (Tuset y Duran 1979).

Muchas empresas madereras pequeñas y medianas ven con riesgo la implementación de secaderos debido a los defectos de secado que genera la madera al ser secada de manera inadecuada y sin conocer el comportamiento de la madera. Esto debido a que, hasta la actualidad no se tiene estudios de las maderas de Perú a detalle y de manera específica; es así que las empresas realizan el secado al aire libre y otros procesos que son ineficientes.

Casi no existen estudios del proceso de secado artificial para la especie *Aspidosperma parvifolium* A. DC (quillabordon), solo a nivel natural o al aire libre. Particularmente en el horno IMAD EKO 02 de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente no se ha probado y evaluado técnicamente los programas de secado que contiene ni para especies tradicionales o comerciales ni mucho menos para la especie *A. parvifolium*, por tanto, existe un desconocimiento de la eficiencia del proceso, en ese sentido este estudio busca evaluar el proceso del programa de secado que contiene el horno para las especies de densidad dura. Se pretende utilizar el programa para la especie, y hacer algunas correcciones y adecuaciones del programa acorde a las variables de producción empleadas con la finalidad de tener un mejor ajuste y recomendar su uso.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Formulación del problema general

Ante el desconocimiento del proceso de secado convencional de madera para muebles de quillabordon en horno eléctrico IMAD EKO 02, se formuló el problema a manera de pregunta siguiente:

- ¿Cómo será el secado convencional en horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC)?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

- ¿Cómo será la representación gráfica de la curva de secado y la curva de velocidad de secado de la madera en el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02?
- ¿Cuáles serán los defectos aplicando el programa del secado convencional en el horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quillabordon?
- ¿Qué porcentaje tendrá la variación dimensional de la madera aplicando el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02?
- ¿Cuál será el consumo de energía durante todo el proceso de secado de la madera quillabordon del horno IMAD EKO 02?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el secado convencional de la madera para muebles de quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC.) en el horno IMAD EKO 02.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la curva de secado (contenido de humedad vs. tiempo) y la curva de velocidad de secado de la madera (velocidad de secado vs. Contenido de humedad).
- Determinar la variación dimensional de la madera en el secado.
- Evaluar los defectos de secado de la madera producidos en el secado convencional.
- Determinar la energía consumida en el proceso de secado de la madera.

1.4 VARIABLES

1.4.1 Variables independientes

- Programa de secado de la madera
- Dimensiones de la madera

1.4.2 Variables dependientes

- Defectos de la madera
- Índice de calidad de la madera

1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de variables consiste en determinar el método a través del cual las variables serán medidas, en este estudio se tiene variables independientes y variables dependientes, según se detalla en la tabla 1:

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Objetivos	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Analizar la curva de secado (contenido de humedad vs tiempo) y la curva de la velocidad de secado de la madera (velocidad de secado vs contenido de humedad).	Condiciones de secado de la madera (dependiente).	Control y evaluación del proceso de secado de la madera.	Contenido de humedad actual de la madera.	%
			Velocidad de secado de la madera	m/s
			Relación contenida de humedad con tiempo	%/días
			Relación entre contenido de humedad con velocidad de secado	%/m/s
			Contracción de la madera	%
Determinar la variación dimensional de la madera durante el secado	Dimensiones de la madera (independiente)	Ancho y espesor	Reducción del espesor y ancho de la madera	mm
Evaluar los defectos de secado de la madera producido en el secado convencional	Calidad de secado de la madera (dependiente)	Defectos de la madera	Índice de alabeo y grietas	%
Determinar la energía consumida en todo el proceso de secado de la madera	Kilovatios hora (kW h) consumidos independiente	Parámetros del medidor	Energía consumida	kW h

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis general

- Ha: El proceso de secado convencional en horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC.) es adecuado.
- Ho: El proceso de secado convencional en horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quillabordon (*Aspidosperma parvifolium* A. DC.) es inadecuado.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Ha: La curva de secado y la curva de velocidad de secado se ajustan a un modelo lineal.
- Ho: La curva de secado y la curva de velocidad de secado se ajustan a un modelo no lineal.
- Ha: La contracción volumétrica de la madera aplicando el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02 es menor o igual a 14%.
- Ho: La contracción volumétrica de la madera aplicando el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02 es mayor a 14%.
- Ha: La calidad del secado de la madera aplicando el programa de secado del horno IMAD EKO 02 es adecuado.
- Ho: La calidad del secado de la madera aplicando el programa de secado del horno IMAD EKO 02 no es adecuado.
- Ha: El consumo de energía del horno IMAD EKO 02 durante el procedimiento de todo el secado es elevado.
- Ho: El consumo de energía del IMAD EKO 02 durante el procedimiento de todo el secado no es elevado.

1.7 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.7.1 Justificación técnica

El avance de la tecnología permite conocer el proceso de secado adecuado para cada especie, por lo tanto, esta investigación buscó obtener información del comportamiento de secado de la madera de quillabordon mediante el proceso de secado convencional en la cámara de secado eléctrico tipo IMAD EKO 02. Existe información muy general sobre el proceso de secado para quillabordon en horno de secado convencional. Un adecuado programa para el secado de la madera dará como resultado un buen comportamiento y una buena calidad de madera, estos resultados se verán en la diferencia de humedad y las tensiones que se produzcan en la madera

1.7.2 Justificación socioeconómica

Para desarrollar la industria maderera actualmente es fundamental el secado convencional, debido a que le da un valor agregado al producto. Sin embargo, este proceso requiere de gran inversión para su instalación, además, un proceso inadecuado puede generar pérdidas grandes de madera, tiempo, costos en pago de personal y gasto de energía, es por ello que las empresas pequeñas no implementan este tipo de secadores. Estos problemas se minimizan o desaparecen con un proceso de secado adecuado. El conocimiento del comportamiento de la madera en un secado convencional, permite estimar la variación del contenido de humedad, contenido de humedad final, tiempo de secado, la velocidad de secado, y los defectos de secado; proporcionando una mejor planificación y simulación de todo el proceso de secado.

1.7.3 Justificación ecológica

Actualmente se viene depredando el bosque con mucha presión, esto debido a que la madera no se está aprovechando adecuadamente, con un bajo rendimiento en la transformación primaria y secundaria. Mediante esta investigación se busca generar conocimientos que ayuden a generar mayor valor agregado a la madera durante su transformación, que impactará en la sostenibilidad del recurso forestal.

1.8 CONSIDERACIONES ÉTICAS

La investigación tomó en consideración las siguientes medidas o acciones éticas:

- Se respetó todas las normas, reglamentos y directivas de la UNAMAD, así como las normas técnicas peruanas para el proceso y control de secado de madera: INACAL NTP 251.008, INACAL NTP 251.134.
- Se utilizó las medidas de seguridad e implementos básicos y necesarios en todo el proceso de la investigación, tales como uso de guantes, lentes, protectores para la vista, casco, botas y otros implementos necesarios en cada etapa de desarrollo de la investigación.
- Se informó a los participantes y colaboradores, sobre los riesgos y las medidas de seguridad del uso de la cámara de secado convencional eléctrico, maquinarias, equipos y otros instrumentos de uso.
- Se tuvo los máximos cuidados para no generar gastos excesivos de energía de la cámara de secado y de no derramar agua al ambiente.
- La investigación se llevó a cabo cuando se tuvo la autorización del jurado de evaluación de tesis, previo permiso del responsable del laboratorio de preservado y secado de la madera y responsable del horno de secado convencional modelos IMAD EKO 02.

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Avalos et al. (2013), en su estudio, obtuvo para *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. (ana capi) un buen rendimiento al secado artificial mediante la aplicación de un programa suave caracterizado por temperatura del bulbo seco relativamente baja y depresiones pequeñas; no hay tensiones de secado; el índice de contracción volumétrica es promedio y la relación T/R es de 1,6, lo que explica la presencia de ligeras deformaciones, básicamente arqueadura, en menor medida abarquillado, que pueden ser eliminadas por medios mecánicos, especialmente porque las tensiones no son significativas en el secado. Para *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav) Steud. (yacushapana amarilla) también tiene buena resistencia al secado industrial mediante la aplicación de un programa suave que se caracteriza por una temperatura del bulbo seco relativamente baja y depresiones pequeñas; no hay tensiones de secado; el índice de contracción volumétrica es medio y la relación T/R es de 1,6, lo que explica la presencia de ligeras deformaciones que pueden eliminarlas con medios mecánicos, especialmente porque las tensiones de secado son ausentes. “En ambos no hay presencia de mancha azul debido a alto contenido de celulosa y bajo contenido de tejido parenquimatoso”.

Ihuaraqui (2008), en su investigación, descubrió que los programas de 4/4”, 6/4” y 8/4”, que utilizaba la empresa eran satisfactorios y podían mejorarse reduciendo los tiempos de respuesta. La contracción de la especie de cumala de 4/4” para este estudio fue de 0,05% para el grosor y de 0,8% para el ancho; en 6/4 fue de 0,25% y 1,01%, en el grosor y ancho respectivamente; del mismo modo a 8/4” se obtuvo una contracción de 0,26% en el grosor y el ancho 1,35%. Al ingresar muestras a la cámara de secado con pequeñas rajaduras o grietas producidas por golpes tienen más probabilidades de fracturarse por tensiones internas generadas por las fuerzas capilares. Algunos defectos físicos se pueden reducir con un adecuado manejo de las muestras en el traslado hasta el horno.

Chambi (2010), en su investigación realizada en el aserradero Forestal Rio Piedras SAC - Tambopata, descubrió que la humedad se puede predecir muy bien en un momento dado utilizando las ecuaciones: $y = 0,0001x^2 - 0,0673x + 16,6430$ con un coeficiente R^2 de 0,997 para el ensayo 1, $y = 26,5326e^{0,0034x}$ con un coeficiente R^2 de 0,995 para el ensayo 2, donde cada ensayo representa uno de los programas probados más utilizados en el aserradero; las velocidades de secado en las dos pruebas corresponden al tercer periodo de secado decreciente, donde se demostró que la madera por tener más CH% tiende a ser más resistente a la pérdida de agua, esto debido a que el último está gobernado por el movimiento difusivo. El índice de calidad de secado total en los ensayos 1 y 2 fueron de 1,77 y 1,92 respectivamente, para una calidad de secado más pobre y condiciones de secado deficientes; el gradiente medio de humedad de la madera es bajo con valores de 0,87% y 0,50% en ambas pruebas 1 y 2. En la evaluación de tensión, la madera resultante

del secado al horno exhibe fuerzas de compresión en la superficie de la madera y tensión interna. La contracción ponderada de los tres cortes en la prueba 1 fue de 4,05%, 2,96% y 7,01% para la contracción de ancho, espesor y volumen, en el ensayo 2 tiene una contracción ponderada de 5,59%, 3,63% y 9,22 % para contracción en el ancho, espesor y volumen respectivamente.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. *Aspidosperma parvifolium* A.DC. (quillabordon)

Según la Confederación peruana de la madera (2008), la especie en estudio tiene las siguientes características:

- Nombre y familia:

Nombre internacional: Yema de huevo, amarillo (Venezuela), pau marfim, pau amarello (Brasil), yomo de huevo, pau marfil (Paraguay), guatambú amarillo (Argentina) Walabadan (Surinam).

Nombre científico: *Aspidosperma parvifolium* A.DC.

Nombre común: quillobordón, quillobordón amarillo.

Familia: APOCYNACEAE

- Procedencia

Se encuentra en Guyanas, Surinam, Paraguay, Venezuela, Brasil, Argentina, Colombia y Perú. En Perú, está distribuido en los departamentos de Huánuco, Loreto, San Martín y Ucayali. En los ecosistemas de bosque seco tropical (bsT) y bosque húmedo tropical (bhT), en suelos bien drenados de bosque primario. Está asociado con *Guarea* sp., *Protium* sp., *Virola sebifera*, *Schizolobium* sp., *Jacaranda* sp., *Cedrelinga catenaeformis* y Palmas del género *Lepidocaryum*.

- Descripción del árbol

El árbol se caracteriza por tener un tronco recto generalmente, un dosel irregular, ramas laterales, con una altura máxima de 30 m, a partir de los 20 m de altura se considera comercial, DAP 80 cm, el color de la corteza es marrón grisáceo, tiene una textura densa de aproximadamente 10 mm de espesor. Las lenticelas son coloridos, presentan látex cremoso y un sabor amargo.

- Descripción de la madera

Color: Transición gradual de albura al duramen. Albura de color amarillo claro. Duramen de color amarillo ligeramente oscuro.

Brillo: Medio.

Grano: Entrecruzado.

Textura: Fina.

Veteado: Arcos superpuestos.

Olor: Ausente o no distintivo.

- Propiedades físicas

Densidad básica: 0,60 g/cm³

Contracción volumétrica: 14,00 %

Relación T/R: 1,60

Contracción tangencial: 8,30%

Contracción radial: 5,20%50

- Propiedades mecánicas

Módulo de elasticidad en flexión: 146,00 t/cm²

Módulo de ruptura en flexión: 389,00 kg/cm²

Comprensión paralela: 152,00 kg/cm²

Comprensión perpendicular: 81,00 kg/cm²

Corte paralelo a las fibras: 104,00 kg/cm²

Dureza de lados: 625,00 kg/cm²

Tenacidad: 3,80 kg-m

- Características de las trozas Diámetro: 32 pulgadas promedio.

Forma: Cilíndrica recto.

Defectos: No significativos.

Conservación: Es resistente al ataque de hongos xilófagos e insectos, pero no es recomendable almacenar por mucho tiempo en el bosque.

- Aserrió y secado

Ligeramente fácil para el aserrío, regularmente trabajable por el tipo de grano entrecruzado.

Se comporta muy bien en el secado al aire libre, sin defectos ni mancha, llegando a secarse en un promedio de 96 días de 44 % de humedad de inicio promedio hasta un 13,5 % de contenido de humedad equilibrio.

- Duración natural y usos

Es resistente al ataque de hongos xilófagos.

Preservación: No requiere.

Usos: Se usa en construcciones interiores, exteriores, barcos, buques, construcciones pesadas, pisos, laminados, mueblería, ebanistería y cajonería.

2.2.2 Secado convencional o artificial

Sepulveda (2007), indica que este tipo de secado implica crear condiciones ambientales artificiales de presión, temperatura y humedad, mucho más bajas que el contenido de humedad de la madera, permitiendo que la madera se seque rápidamente. También lo define como el equilibrio dinámico entre la transferencia de calor de la corriente de aire a la madera, la evaporación superficial de la madera, la difusión de la humedad a través de la madera y el flujo másico de agua libre. Mediante equipos e instalaciones se establecen condiciones climáticas distintas a las atmosféricas normales en espacios cerrados. Gracias al ventilador, se crea un flujo constante de aire para circular a través de las pilas, con la temperatura y la humedad relativa controladas de acuerdo con programas preestablecidos en función de la especie y el tamaño de la madera que se está secando. La velocidad de secado se puede aumentar, elevando la temperatura al nivel permitido para las especies específicas y la calidad deseada del producto final. La humedad relativa del aire también se puede controlar para que la humedad no cree tensiones de tracción indeseables. La importancia del secado artificial es que, con estos métodos, los tiempos de secado se reducen además de reducir los costos de transporte, las propiedades de durabilidad generalmente mejoran, excepto por impacto o choque, mejorada Resistencia mejorada a la mayoría de hongos e insectos, mejor aplicación de cepillado, lijado, pegamento y recubrimiento. El proceso de secado se realiza normalmente en recipientes cerrados, en cuyo interior se instalan climas artificiales con aumento de temperatura y disminución de la humedad relativa. Cada paso de secado se mantiene durante un tiempo determinado, según un programa predeterminado determinado experimentalmente según el tipo y tamaño de la madera. A medida que las condiciones cambiantes producen una humedad de equilibrio cada vez más baja, se crea un gradiente de humedad en las piezas

de madera, que determina la velocidad de difusión del agua, desde el interior hacia la periferia. El secado convencional es el sistema de secado más utilizado en el mundo y se pueden distinguir diferentes formas, en función de la intensidad de temperatura aplicada y las características de la instalación.

Paredo, Juacida e Inzunza (1985), sostiene que hoy en día es uno de los procesos más utilizados en las grandes empresas manufactureras, teniendo en cuenta los factores limitantes de esta aceleración, la velocidad del aire circulante, la humedad relativa y el grado de calor. El secador de alta temperatura es un secador de compartimiento en el que la temperatura de secado es más alta que el punto en que hierve el agua. Las ventajas más interesantes del secado a alta temperatura radican en la reducción del tiempo de secado utilizado de 1/4 a 1/6 comparado con el secado convencional, la pequeña superficie requerida para la instalación, la reducción de la humedad de equilibrio y el menor consumo de energía.

BOLFOR (1998), sostiene que las secadoras son generalmente cámaras o compartimentos cerrados, equipados con ventiladores para la circulación forzada de aire dentro de la cámara, también tienen sistemas de calefacción controlados que elevan la temperatura del horno y dispositivos de regulación para obtener el cambio de temperatura deseado. el ambiente dentro del horno, con temperaturas entre 40 y 100 °C. Algunos de los problemas comúnmente asociados con el secado artificial de cualquier madera son el encogimiento, deformación, agrietamiento y colapso, además de los costos de instalación, mantenimiento y alto costos de secado debido al consumo de energía.

2.2.3 Proceso de secado

Según Moscoso, Pérez y Ugarte (2014), consiste en la remoción del agua libre y parte del agua higroscópica, hasta alcanzar el contenido de humedad que se requiere; Para realizar esta acción es necesario tener en cuenta las fases de secado y cómo se deben gestionar las variables de control en cada uno. En cualquier procedimiento de secado normal, se deben observar los siguientes pasos:

- Calentamiento

Es el aumento gradual de la temperatura dentro de la cámara hasta alcanzar el valor necesario para iniciar la siguiente etapa de secado. Aunque el tiempo de empaque depende de la especie a secar y de su espesor, se recomienda 1 hora por cm de espesor para maderas suaves y 2 horas para maderas duras (Moscoso, Pérez y Ugarte 2014).

- Acondicionamiento inicial

Esta parte es muy importante y muchas veces no se hace mientras la madera se seca. En general, la madera que se coloca en el horno tiene cambio de contenido de humedad; Además, debido al secado natural o al aire, es más probable que la superficie

de la madera se seque más que el interior. Por ello, es necesario acondicionar la humedad de la madera para eliminar las limitaciones del proceso de secado y facilitar la eliminación del agua del interior de la madera por capilaridad. En este sentido, la humedad relativa de la cámara alcanza un valor cercano al 100%, con una temperatura generalmente no superior a los 45°C, saturando la humedad en dentro del horno. Este paso no solo ayuda a homogeneizar la humedad dentro de la madera, evitando la aparición de defectos mayores, sino que también promueve la aparición de calor en el centro de las piezas. A veces, en presencia de GH alta, la pieza forma una capa superficial muy seca, lo que evita el flujo de agua y la transferencia de calor hacia la pieza, provocando un ‘endurecimiento de la superficie’, que no permite dejar secar la madera (Moscoso, Pérez y Ugarte 2014).

- Secado

El secado en sí, es decir, la reducción del contenido de humedad de la madera, se logra variando las condiciones climáticas de la cámara de acuerdo con el contenido de humedad de la madera, dependiendo de cómo se llame el programa de secado. La velocidad de secado, así como la aparición de defectos es diferente según las características de la especie. Esta fase se divide en tres fases:

Periodo 1: Por encima del punto de saturación de la fibra (PSF), se deben evitar las altas temperaturas. Si bien por encima de este punto no existen cambios dimensionales que puedan provocar tensiones, fisuras y deformaciones, lo que puede ocurrir es un defecto conocido como “colapso”. Para cualquier aumento de temperatura durante este período, se seguirán los mismos criterios de aumento que se indican en el período de calefacción. En el caso de especies susceptibles al crecimiento de hongos, este aumento puede ser mayor para superar la temperatura a la que crecen este tipo de organismos en el menor tiempo posible. Teniendo en cuenta la facilidad de secado durante este período (recuerde que por encima de PSF solo se elimina el agua libre), GS no necesita valores demasiado altos. Aunque dependiendo de la especie, es recomendable comenzar este período con un CHE de 1519%.

Periodo 2: Alrededor del punto de saturación de la fibra (PSF), donde debe operar con extrema precaución. Una vez que se ha eliminado el agua libre, también se elimina el agua higroscópica. Haciendo que se necesite más esfuerzo para eliminarlo, por lo que la temperatura debe aumentarse gradualmente con el mismo criterio de aumento utilizado anteriormente.

- Recuerda que en este punto la madera comienza a encogerse.

Periodo 3: Por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), cuando se puede aumentar la temperatura y se introduce aire cada vez más seco hasta alcanzar el contenido de humedad deseado en la madera. Aquí nuevamente, la temperatura se puede aumentar siguiendo el mismo criterio de aumento anterior. Para aplicar aire cada vez más seco, se puede reducir la HR o la CHE, o se puede aumentar la GS, lo que dependerá de las variables del horno al que se esté secando (Moscoso, Pérez y Ugarte 2014).

- Acondicionamiento final

Una vez que el centro de las piezas alcance el CH final deseado, su superficie tendrá un CH más bajo. Esta diferencia provoca tensiones internas que pueden provocar deformaciones al momento de trabajar la madera con las máquinas. Para evitar este problema, se realizará un acondicionamiento final, que incluya bajar la temperatura y aumentar la humedad relativa de la cámara para que la humedad dentro de las habitaciones sea uniforme. Para verificar que la madera no está en tensión, se debe realizar la prueba del tenedor en muestras secadas al horno, que se explicará en el siguiente módulo. El tiempo de acondicionamiento es muy variable y depende de la especie, el grosor y la GH de los componentes. Por ejemplo, el tiempo de acondicionamiento para una moena rosada (*Ocotea bofo*) de 1" de grosor es de 10 horas, mientras que para una pipa de agua de 2" de grosor (*Cariniana domestica*) es de 26 horas (CITEMadera 2009).

- Enfriamiento

Debido a que la madera aún está en el horno (apagada), se recomienda dejar abierta la puerta del gabinete durante la noche para permitir que la temperatura disminuya lentamente a un valor equivalente a la temperatura exterior, evitar cambios bruscos de temperatura en el horno. La descarga del horno se puede realizar a la mañana siguiente. Este método se recomienda para costa y selva, donde no hay mucha variación de temperatura entre el día y la noche. En zonas como la sierra o lugares con climas duros, es recomendable enfriar durante el día (CITEMadera 2009).

2.2.4 Programas de secado

Según CITEMadera (2009), en referencia al programa de secado, se refiere a una serie de condiciones climáticas establecidas en la cámara de secado, dependiendo del contenido de humedad de la madera que se está secando. Las diferentes propiedades y características entre especies no sugieren que todas puedan secarse a la misma velocidad y en las mismas condiciones, por lo que es importante aplicar programas de secado específicos para cada especie. Los programas de secado están determinados principalmente por especies y espesores. Para su selección, hay información disponible de una variedad de fuentes sobre las especies más populares y los programas de espesores. En el caso de secar una madera rara, también puede encontrar programas de secado en función de la densidad y grosor de la madera. Hay especies que son bastante dóciles ya que se pueden secar con mucha facilidad sin dejar defectos importantes.

Esto también indica que se les pueden aplicar programas de secado fuertes, es decir, a altas temperaturas y baja humedad relativa sin problemas. Pero también hay especies que se debe tener cuidado para evitar daños, para estas especies debes usar programas suaves, con temperaturas moderadas y alta humedad en la habitación. Por ejemplo, para madera de 1 " de espesor: cedro - *Cedrela odorata* (programa fuerte),

Podocarpus sp - ulcurnano (programa medio) y *Manilkara bidentata* - quinilla (programa suave). Para seguir los pasos indicados en el programa de secado, el operador del horno debe configurar sus valores en la unidad de control. Como se mencionó anteriormente, los valores programados dependen de las variables del horno en el que seque. Es importante mencionar que los programas de secado se refieren únicamente al paso de secado en sí, no brindan información sobre el acondicionamiento inicial y final. Dados los diferentes factores que intervienen en el secado de la madera y los diferentes diseños de hornos, no existe un programa ideal, sino un programa estándar (CITEmadera 2009).

2.2.5 Consideraciones para programar el secado

Pedras (2005) antes de iniciar a implementar el programa de secado, debemos considerar los siguientes puntos importantes.

- La especie

Dependerá si son coníferas o latifoliadas.

- Características y propiedades físicas

Veremos su estructura, densidad y variación dimensional.

- El tipo y dimensiones de la madera

Corresponderá si la madera tiene albura, duramen o ambos, si es joven o madura, si es madera reactiva, su soporte y corte.

- Sistema de secado

En el horno o en la cámara, pueden ser precalentador, deshumidificador, de temperatura alta y el tipo convencional puede ser normal o acelerado.

- Se determina la relación entre el dispositivo y los factores más importantes como: temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, gradiente de humedad, gradiente de secado.
- Calidad y destino del producto

Esta última consideración pasa por saber si la madera entrará en la categoría estructural, si se clasificará según su apariencia y destino de mercado, ya sea nacional o extranjero.

- La Modelación del programa de secado

Para modelar e iniciar un programa de secado basado en la pérdida de humedad, se deben tener en cuenta las siguientes variables para que se puedan realizar cálculos adicionales con datos experimentales de las muestras relacionadas con estas variables:

Densidad básica de la especie.

- Espesor de la muestra.
- Temperatura inicial
- Temperatura final
- Velocidad de circulación del aire.
- Contenido de humedad inicial de la madera.
- Contenido de humedad final de la madera.

2.2.6 Defectos de secado

- Alabeo

El alabeo es una deformación que normalmente sufre una pieza de madera debido a la curvatura de su eje longitudinal, transversal o ambos (Sepulveda 2007). Los que más se presentan son: acanalamiento, torcedura, encorvadura y arqueadura.

- Acanaladura o abarquillado

Es cuando las aristas verticales no están al mismo nivel con el centro, se percibe que al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana se apoyará la parte central de la cara, dejando los bordes cóncavos en relieve. Suele producirse en madera en flor, al reaserrado superficies de madera dura y cuando hay piezas de diferentes espesores en la misma hilera o cámara (Sepulveda 2007).



Figura 1. Defecto de acanaladura o abarquillado

Fuente: Sepulveda (2007).

- Torcedura:

Es la deformación en la dirección transversal y longitudinal, es visible cuando las esquinas de la madera se encuentran levantadas con referencia a la base. "Susceptibles en maderas con fibra espiralada, diagonal o entrelazada, madera con médula, piezas mal aserradas y cuando hay ausencia de sobrepesos en la carga" (Sepulveda 2007).



Figura 2. Defecto de torcedura

Fuente: Sepulveda (2007).

$$\text{Ecuación 1: Torcedura} = \frac{H}{L} \times 100$$

Donde:

H: altura máxima de la arista levantada, en milímetros.

L: longitud de la pieza, en milímetros.

- Encorvadura

Se trata de una curvatura a lo largo del borde de una pieza de madera, se nota al colocar la pieza de borde sobre una superficie plana, se observa luz o separación entre el borde de la pieza y la superficie de apoyo. La causa de esta deformación se da en madera agrietada, en madera joven y reactiva, excesiva contracción longitudinal y contracción variable entre espesores cercanos al tronco y corteza (Sepulveda 2007).

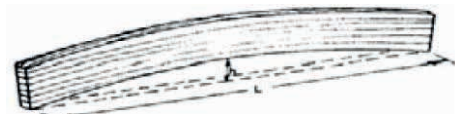


Figura 3. Defecto de encorvadura

Fuente: Sepulveda (2007).

$$\text{Ecuación 2: Encorvadura} = \frac{H}{L} \times 100$$

Donde:

H: altura máxima del canto cóncavo de la pieza, en milímetros.

L: longitud de la pieza, en milímetros.

- Arqueadura

Esta es la curvatura de las caras en la dirección longitudinal. Se puede observar al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa una luz o espacio entre la superficie de la pieza y el piso. Los trozos de madera con flores, madera joven, contracción longitudinal y veta desalineada son muy susceptibles a este defecto (Sepulveda 2007).



Figura 4. Defecto de arqueadura

Fuente: Sepulveda (2007).

$$\text{Ecuación 3: } \textit{Arqueadura} = \frac{H}{L} \times 100$$

Donde:

H: altura máxima de la cara cóncava, en milímetros.

L: longitud de la pieza, en milímetros.

- Grietas

Las grietas son la separación de las partes constituyentes de la madera, son aberturas en la superficie de la madera y el interior, generalmente a lo largo de los radios, que pueden no ser visible en la madera, los dos tipos de grietas son causadas por fuerzas de secado que genera tensiones en la madera, debido a la diferencia de contracción que se produce entre las regiones exterior e interior; entre madera común y reactiva y entre diferentes planos de la madera, son todos productos de secado demasiado rápido. Se tomará el procedimiento adecuado para la medición de grietas superficiales realizando un análisis visual tanto de la cara como del borde, a lo largo de todo el largo de la pieza, luego se tomará las medidas de la cara más afectada (Sepulveda 2007).

- Rajaduras

Esta es la separación longitudinal de las fibras que atraviesan de un lado a otro de la pieza, se producen en el extremo de la madera, debido a la rápida pérdida de agua provocando tensiones de tracción, puede haber grietas simultáneas provenientes del bosque al tumar los árboles (Sepulveda 2007).

- Colapso

El colapso no es un defecto causado por las contracciones típicas del secado por debajo de la región de saturación de la fibra. Ocurre durante la captación de agua libre y consiste en una reducción o deformación de la cavidad celular. Las causas que probablemente generen esta reacción, que ocurre en algunas especies de madera, son: las paredes celulares, especialmente los vasos, son completamente impermeables; la cavidad de la celda está llena de agua sin burbujas de aire; baja resistencia a la compresión perpendicular, plasticidad de la pared celular por sustancias como los taninos; Estas causas, más la alta temperatura inicial y el rápido secado de la superficie, producen este defecto. El colapso es característico del duramen y suele ir acompañado de un endurecimiento leve de la superficie, deformación excesiva, acanalamiento en la parte transversal y apalamiento (Arango 1990).

2.2.7 Tensiones de la madera

“La madera seca cubre todos los síntomas provocados por la humedad generada en el interior de la madera durante el secado”. Incluyendo la reducción de la permeabilidad debida al secado de la superficie de la madera y, en particular, el desarrollo de tensiones por secado que se pueden mantener en la madera incluso al final del proceso de secado (Cofre, 2003).

El secado brusco o rápido provocará defectos, generando colapso en maderas densas y gruesas que no siempre se pueden eliminar. Cuando la superficie de la madera alcanza el punto de saturación de la fibra (PSF) y el interior se mantiene húmedo, la tensión comienza a desarrollarse a medida que el exterior disminuye de tamaño o se contrae, pero no puede hacerlo en toda su extensión porque el interior aún permanece húmedo. Aquí se dice que las capas secas del exterior están estiradas y en un estado de tensión. El estrés por secado puede hacer que la madera se deforme cuando se cura para obtener una capa final de pintura. Estas tensiones se pueden controlar cortando una hoja delgada de madera en tiras estrechas con una sierra circular. Cuanto mayor sea la tensión, mayor será la curvatura (Peredo, Juacida e Inzunza 1985).

Cuando se trata de evaluar la tensión de la madera, existe una forma sencilla de determinar o visualizar cuánta tensión puede tener que controlar una determinada carga de madera mediante el método de tenedores tensión, estos se extraerán de las áreas del mismo árbol que las tablas detalladas en la norma técnica, y se puede hacer con dos o cuatro pinzas (Cofre 2003).

También en la evaluación de la tracción de la madera, si las abrazaderas exteriores de la horquilla se doblan hacia adentro en el momento del corte, esto indica que la madera tiene una resistencia a la compresión en la superficie de la pieza de trabajo y una resistencia a la tracción en el interior. El tratamiento de humectación debe continuar si las abrazaderas se mantienen rectas o ligeramente curvadas hacia afuera, la madera está casi libre de tensión y el secado está completo. Finalmente, si las abrazaderas de la horquilla están claramente dobladas hacia afuera, las fuerzas se invierten, la superficie de la pieza de trabajo está en tensión y el interior está comprimido, lo que indica un exceso de humedad en la madera durante el proceso de acondicionamiento (BOLFOR 1998).

2.2.8 Apilado

De acuerdo a las Norma Técnica Peruana 251.134 (INACAL 2005), la madera deberá clasificarse y apilarse de acuerdo a sus dimensiones (Figura 18 y 19 del anexo 7).

2.2.9 Cinética del secado convencional

La cinética del proceso de secado de la madera, es una expresión de la evolución de las condiciones ambientales y de la madera durante el proceso de secado; las expresiones gráficas para la cinética del secado son las curvas de secado:

- El contenido de agua en la madera en función del tiempo de secado, se denomina curva de secado.
- La velocidad de secado es una función del contenido de humedad de la madera, conocida como curva de velocidad de secado

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Rosales (2018), en su libro “física de la madera”, analiza, discute, reporta, concluye y concuerda con las definiciones para uso en el secado de la madera los términos siguientes:

2.3.1 Agua de constitución

Es una parte integral del material de madera o de la estructura en sí, y sólo puede eliminarse destruyendo el material en sí (es decir, quemándolo).

2.3.2 Agua higroscópica

Se incorpora a la pared celular, es una fuente de contracción de la madera cuando se pierde (absorción) y se expande o hincha cuando se recupera (absorción), pudiendo eliminarse por calentamiento a 100 - 110 ° C.

2.3.3 Agua libre

Llena la cavidad de células o tubos (vasos, tráquea, fibras, etc.) y es absorbido por la acción de los capilares. Las dos últimas sustancias, impregnadas y libres, son las dos que componen el contenido de humedad de la madera.

2.3.4 Contenido de humedad de equilibrio (CHE)

El contenido de humedad de equilibrio que alcanza la madera cuando se expone a condiciones ambientales constantes durante un tiempo adecuado.

2.3.5 Punto de saturación de la fibra (PSF)

Es el contenido de humedad de la madera cuyas fibras contienen toda el agua húmeda, pero no agua libre, y su principal ventaja es que cuando se produce el secado, también se produce el secado, la contracción y la pérdida de peso.

2.3.6 Contenido de humedad libre (CHL)

Se refiere a la cantidad de agua que contiene la madera solo en las cavidades o lumen de la célula.

2.3.7 Contenido de humedad máximo (CHM)

Indica la cantidad máxima de agua que puede contener la madera, es decir, la pared celular y el lumen están completamente saturados de agua.

2.3.8 Densidad básica (DB)

Es el cociente entre la masa de la muestra de ensayo anhidra y el volumen correspondiente a la saturación y se expresa en g/cm³.

2.3.9 Masa seca

Se indica como la masa anhidra, la masa final o la masa seca de madera, libre de humedad, en gramos.

2.3.10 Masa húmeda

Conocido como masa saturada o peso húmedo de la madera, mayor del punto de saturación de las fibras, expresada en gramos.

2.3.11 Volumen verde o húmedo

El lugar que ocupa la madera en el espacio se denomina volumen o viene a ser el tamaño de la madera, mayor del punto de saturación de las fibras, expresada en centímetros cúbicos.

2.3.12 Contracción

Es el porcentaje reducido de la pieza de madera debido al menor contenido de humedad de la saturación de la fibra. Se expresa como porcentaje del volumen verde de la madera y puede ser radial, transversal, longitudinal y volumétrico

2.3.13 Gradiente de humedad

La gradiente de humedad es el factor que determina la distribución de la humedad en todas las partes de una pieza de madera

2.3.14 Propiedades mecánicas de la madera

Es la resistencia de la madera a cargas externas debido al esfuerzo de las tensiones internas

2.3.15 Propiedades físicas de la madera

Son las características que nos indica el tipo de madera y saber la importancia de la misma

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE ESTUDIO

Esta investigación es de tipo no experimental o descriptivo para lo cual se utilizó los principios del método científico.

3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO

El diseño del estudio del trabajo de investigación es descriptivo, analítico, cuantitativo y cualitativo.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

Considerando que el horno de secado IMAD EKO 2 (2019) tiene la capacidad máxima de 1 000 pt (2,36 m³), en el estudio se evaluó tres cargas (3 ensayos) de 191,59 pt cada uno que hacen en total 574,77 pt (1,36 m³).

$N \text{ de muestras} = 191,59 \text{ pt} / 8,33 \text{ pt} = 22,99 = 23 \text{ unidades de muestras}$

La población estuvo conformada por 69 muestras, o 23 muestras por cada ensayo, provenientes de 5 árboles, en base a la norma técnica peruana NTP 251.008 (INACAL 2016).

3.3.2 Muestra

El número de muestras a muestrear se determinó mediante la fórmula:

$$\text{Ecuación 4: } n^{\circ} = \frac{N \times P \times Q \times Z^2}{d^2 (N - 1) + Z^2 \times P \times Q}$$

$$= (69 \times 0,5 \times 0,5 \times 1,96^2) / ((0,1 \times 0,1) \times (69 - 1) + (1,96^2 \times 0,5) \times (0,5))$$

P: proporción de éxito = 0,5 * porque se desconoce la variabilidad.

Q = (1 - p) d = Error muestral: 0,1

Z = 1,96 nivel de confianza al 95%. $n^{\circ} = 40,39$

N = 69

Muestra óptima: Sólo es aplicable en caso que, la muestra sea mayor al 10% de la población $40,39/69 = 0,59 \geq 0,05$ o $61,95 \% > 10 \%$.

$$\text{Ecuación 5: } n = \frac{n^{\circ}}{1 + \frac{n^{\circ}}{N}}$$

La muestra del número muestras a evaluar a partir de la población según fórmula anterior sería:

$$d = 0,01$$

$$Z = 95\%$$

$$n = 22,95$$

$$n = 23$$

Por lo tanto, el número mínimo de muestras requeridos para evaluación y análisis en tres ensayos fue de 69 muestras (23 muestras x 3 ensayos) de corte tangencial, radial, u oblicua simultáneamente de tal manera que se aproveche al máximo la madera, número que excede lo que indica (BOLFOR 1998)

Se sugiere que, por cada 8500 pt, se tomen al menos 4 muestras para el control del proceso de secado (BOLFOR 1998).

3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1 Métodos

los métodos que se aplicó en este trabajo de investigación es el no probabilístico.

3.4.2 Técnicas

El estudio consistió en someter las muestras de quillabordon (*A. parvifolium*) al programa de secado que contiene el horno eléctrico IMAD EKO 2 (2019) para el secado de maderas duras, para posteriormente evaluar los defectos de secado, y según a esto, determinar la calidad de secado.



Figura 5. Horno convencional de secado de la madera.

Todas las fases del proceso del estudio se describen a continuación:

- Ubicación y selección de muestras

La madera fue extraída del bosque primario de un predio agrícola, ubicado en el sector bajo Bello Horizonte-Bajo Loboyoc, distrito Las Piedras, provincia Tambopata, Departamento Madre de Dios (Figura 6).

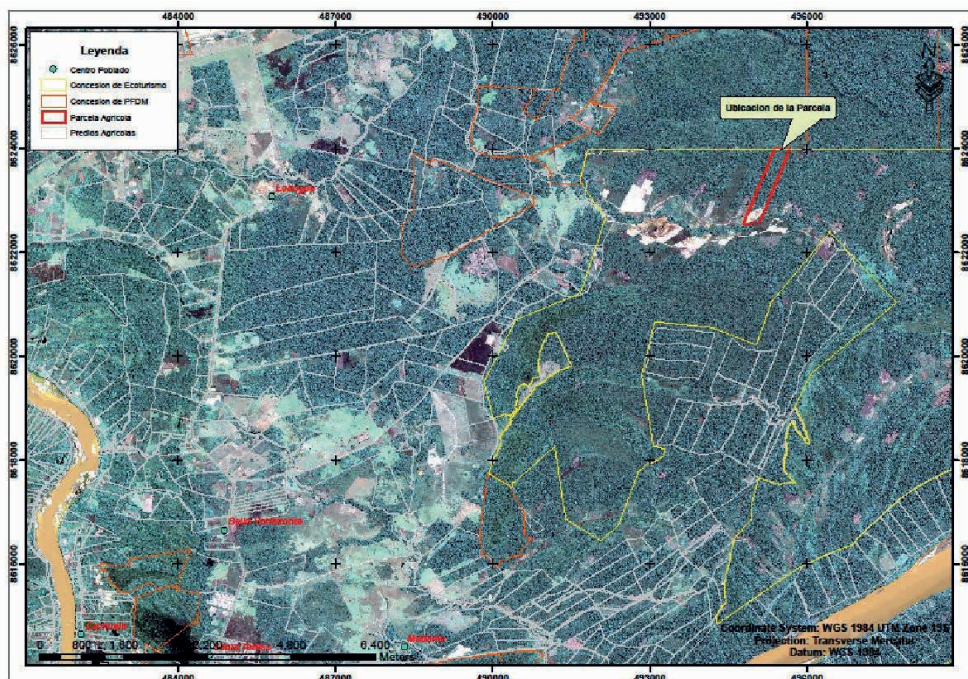


Figura 6. Mapa de ubicación del predio agrícola de donde fue extraída la madera

El secado se realizó en la planta piloto de tecnología de la madera de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, laboratorio de secado de la madera – UNAMAD.

La selección de muestras se realizó a partir de cinco árboles de aproximadamente 0,65 cm de diámetro por 15 metro de largo, el mismo que se dividió en bolillos de 10 pies de longitud y divididos en tablones para poder ser trasladados al aserradero y ser cortados en muestras de las medidas requeridas.

Los tablones se cortaron en muestras por cada ensayo y se separó 23 que eran lo necesario para cada ensayo, sumando los 3 ensayos se tuvo 69 muestras de manera uniforme con las medidas de 1 pulgada x 10 pulgadas x 10 pies cada una de las muestras (Figura 17 del anexo).

- Apilado

El apilado de las muestras se realizó para cada ensayo, en un paquete de 8 filas, 1 m de ancho y 0,4 m de altura, utilizando separadores de la misma especie, secos y sin defectos de 25 mm x 25 mm x 100 cm, con una distancia máxima entre separadores de 48 cm de acuerdo a lo recomendado en el manual de secado del horno (Figura 7) y (Figura 18 y 19 del anexo).

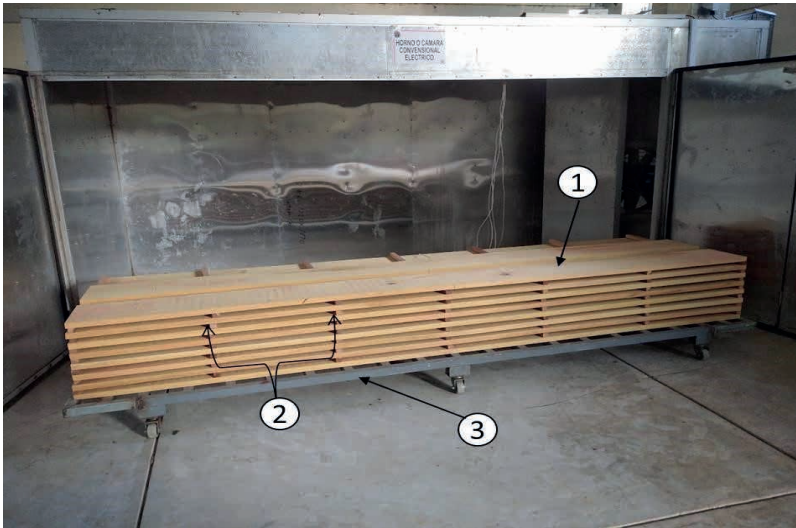


Figura 7. Elementos del paquete (1. Madera cortada, 2. Espaciadores, 3. Parrilla)

- Las muestras

La madera que conformaron los paquetes para este estudio corresponde a muestras con cortes tangencial, radial y oblicuo c.on las siguientes dimensiones que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Corte y tipo de muestras para investigación

Corte	Tipo	Espesor (pulg.)	Ancho (pulg.)	Longitud (pies)
Muestra de corte radial	duramen	1	10	10
Muestra de corte tangencial	duramen	1	10	10
Muestra de corte oblicuo	duramen	1	10	10

3.4.3 Programa de secado

a. Grupo y programa de secado para *Aspidosperma parvifolium*.

La cámara de secado eléctrico IMAD EKO 02 pertenece a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la UNAMAD, el cual fue utilizado para analizar el proceso de secado. Primero en los controladores del modelo de horno se seleccionó el tipo de madera, y la especie azúcar huayo, por tener densidad muy parecida a la especie de estudio quillabordón (*A. parvifolium*) que tiene una densidad de 0,60 g/cm³ ver Tabla 3 y 4.

Tabla 3. Grupos y especies de madera.

Grupos de madera	Especie de madera por grupos
1	Maderas muy duras: tahuari, chonta, shihuahuaco oscuro, pali sangre
2	Maderas duras: estoraque, shihuahuaco champagne, capirona, pumaquiro, chontaquiro, diablo fuerte, azúcar huayo, congona
3	Maderas intermedias: cedro, caoba, pino, ciprés, tornillo, cachimbo
4	Maderas muy suaves: cumala, bolaina, marupa, topa,

Fuente. Manual IMAD EKO 02.

Tabla 4. Número de programa utilizado para la madera en estudio

Número de programa	Especie de madera recomendada para este programa
1	Shihuahuaco
2	Azucar huayo
3	Estoraque
4	Tahuari
5	Cedro
6	Cashimbo
7	Tornillo
8	Moena
9	Pumaquiro
13	muy suave
....20	muy fuerte

Fuente. Manual IMAD EKO 2. b. Monitoreo del secado

El secado se evaluó mediante tres programas de secado (Tabla 5, 6, 7) por cada programa se empleó 23 muestras.

Tabla 5. Programa empleado 1

Programa 1		
Día	temperatura	EMC
día 1	32	16
día 2	34	14
día 3	27	18
día 4	50	4,5

Tabla 6. Programa empleado 2

Programa 2		
Día	temperatura	EMC
día 1	34	16
día 2	40	9
día 3	45	7,5
día 4	50	4,5

Tabla 7. Programa empleado 3

Programa 3		
Día	temperatura	EMC
día 1	32	19
día 2	34	16
día 3	40	11
día 4	46	7

3.4.4 Control del proceso de secado

- Se realizó el control del secado antes, durante y después del secado.
- Se obtuvo datos del horno cada 24 horas de la temperatura, contenido de humedad de equilibrio de la cámara y el contenido de humedad de la madera detectada por la sonda colocada en las muestras de control.
- La humedad inicial y final se midió con el higrómetro de pines en las muestras de 1" de espesor de las muestras control (muestra de control), a 30 cm de las puntas, para determinar el contenido de humedad (INACAL 2014).
- Se midieron los alabeos y grietas para evaluar el programa de secado utilizado.

3.4.5 Cinética del secado convencional

Se registró las condiciones ambientales (humedad equilibrio y temperatura) dentro del horno cada 24 horas para la elaboración de la cinética de secado.

3.4.6 Contracción de la madera

Para calcular la contracción de las muestras en ancho, grosor y longitud, se realizaron mediciones preliminares marcando con precisión las zonas de medición, para realizar el mismo procedimiento de medición para cada pieza al final del secado.

Evaluación de defectos de secado

Se identificaron, cuantificaron y midieron los defectos de secado de los alabeos y grietas de las muestras para la evaluar el programa de secado, Esto permitió conocer la calidad del secado y las condiciones en las que se puede evaluar el programa de secado de la siguiente:

- Cálculo del índice de alabeos

Para el cálculo del índice de alabeos se utilizó el método aplicado en otros estudios previos de Guerrero e Inzunza (1980), Figueroa (1991), y Sepúlveda (2007) en Chile. La clasificación está basada en los valores máximos aceptables de cada nivel descritos por el INN (1972), siendo el índice de alabeos el resultado promedio ponderado de los defectos, el promedio es la suma del número de muestras multiplicada por el factor correspondiente al nivel de clasificación tal como se muestra en la tabla 8, mediante el cual se evaluaron los alabeos, para muestras con una longitud de 3 m.

Tabla 8. Nivel de clasificación de los alabeos

Deformaciones (mm)	Nivel de clasificación			
	A	B	C	D
Acanaladura	0	2,6	5,2	7,8
Arqueadura	0	4,0	7,0	12,0
Encorvadura	0	1,0	1,5	2,0
Torcedura	0	3,1	5,8	9,0

Fuente. INN (1972:7).

NIVELES	INTENSIDAD
A= sin alabeo	0
B= alabeo leve	0,5
C= alabeo leve – fuerte	1,0
D= alabeo intenso	1,5

Para el cálculo del índice de alabeos se aplicó la siguiente fórmula en base a la Tabla 8.

Ecuación 6:

$$I_A = \frac{\sum_{j=1}^4 N_j \times FD_j}{N_{Total}}$$

I_A : Índice de alabeos

N_j : Número de muestras en el nivel de clasificación j

FD_j : Factor de intensidad o desclasificación del nivel de clasificación j

N_{Total} : Número total de tablillas muestreadas

- Cálculo del índice lineal de grietas

Para el índice de grietas se utilizó la fórmula de índice lineal de grietas (ILG) aplicada por Sepúlveda (2007):

El índice lineal de grietas (ILG) = Σ Grietas superficiales / Largo pieza

- Determinación de la calidad y condiciones de secado

Se determinó la calidad de la madera y se evaluó el programa de secado utilizando el método de Bravo (1977), Guerrero e Inzunza (1980), Figueroa (1991) y Sepúlveda (2007), basado en la suma de los índices de alabeos y agrietamiento, el valor del índice resultante determinó la calidad y condiciones de secado en base a la tabla 5 donde muestra el sistema utilizado para determinar la calidad y condiciones del producto seco.

Tabla 9 Determinación de calidad y condiciones de secado

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

Fuente: Figueroa (1991:68)

3.4.7 Energía consumida en el proceso de secado

Se registró la lectura inicial antes del secado y la lectura final después de finalizado el secado en cada uno de los 3 ensayos, y por diferencia de las lecturas se determinó la energía consumida en cada ensayo en kilovatios hora (kW h).

3.5 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Se utilizó estadística descriptiva para analizar y procesar los datos, como medidas de tendencia central (media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación) donde se evaluó la evolución de humedad de equilibrio, curva de secado mediante modelos lineales y no lineales, variación dimensional de la madera en el secado, defectos de secado de la madera y calidad de secado y Energía consumida en el proceso de secado.

Así mismo se utilizó medidas de dispersión (regresiones lineales y no lineales) para generalizaciones de estudio, coeficiente de correlación, gráficos para curvas de secado y para realizar comparaciones. Los análisis y gráficos estadísticos se realizaron en el programa Origin 2020.

RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 CURVA DE SECADO

Las condiciones ambientales (temperatura) dentro del horno de secado presentaron una evolución lineal en los ensayos 1, 2 y 3, en valores aproximados al programa de secado previamente configurado (Figura 8).

La temperatura inicial registrada por los sensores dentro de la cámara de secado fue ligeramente superior en el ensayo 2, con 34°C, en comparación con los ensayos 1 y 3, que registraron 32°C. La temperatura final fue de 50°C en los ensayos 1 y 2, y ligeramente menor en el ensayo 3 con 48°C.

Respecto a la HE% de la cámara de secado, que indica la humedad del aire, los valores fueron más bajos en el ensayo 2, desde 16% al 4,5%, a lo largo de los 4 días de secado. Mientras que en el ensayo 3, los valores fueron más altos, variando de 19% a 7%, es decir el aire fue ligeramente más húmedo en comparación al ensayo 2. Los valores de HE% en el ensayo 1 fueron intermedios y presentaron mayor variación a lo largo de los 4 días de secado.

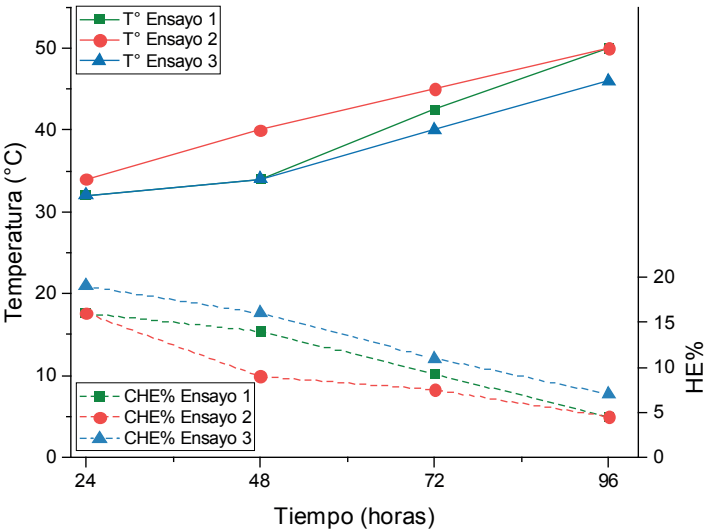


Figura 8. Evolución de la humedad de equilibrio (HE%) y de la temperatura (T°) de la cámara de secado, durante el tiempo de secado, en cada ensayo.

El incremento constante de la temperatura con tendencia lineal es un comportamiento esperado a lo largo del tiempo, debido a que constantemente es necesario una mayor energía calorífica en la superficie de la madera para lograr que la madera pierda humedad. La temperatura de secado en los ensayos (35°C a 50°C) fueron levemente menores a lo utilizado en programas de secado conservadores, que varían desde 40°C a 65°C (Jankowsky y Gonçalves 2006; Chambi 2010).

Es conocido que temperaturas más altas durante el secado causarán un incremento proporcional de defectos de secado, principalmente grietas y colapso (Severo 2000). Teniendo en cuenta esto, en el presente estudio se probó un programa de secado más conservador a lo comúnmente utilizado.

Por otro lado, la HE% aplicado en los ensayos (16 - 19% a 4,5 - 7%) está dentro del rango de la mayoría de los programas de secado para maderas tropicales (17% a 7%) (Severo 2000; Chambi Legoas 2010; Jankowsky y Gonçalves Luiz 2006).

La curva de secado de la madera en los 3 ensayos, mostró que el contenido de humedad de la madera (CH%) disminuyó a mayor tiempo de secado (Figura 9).

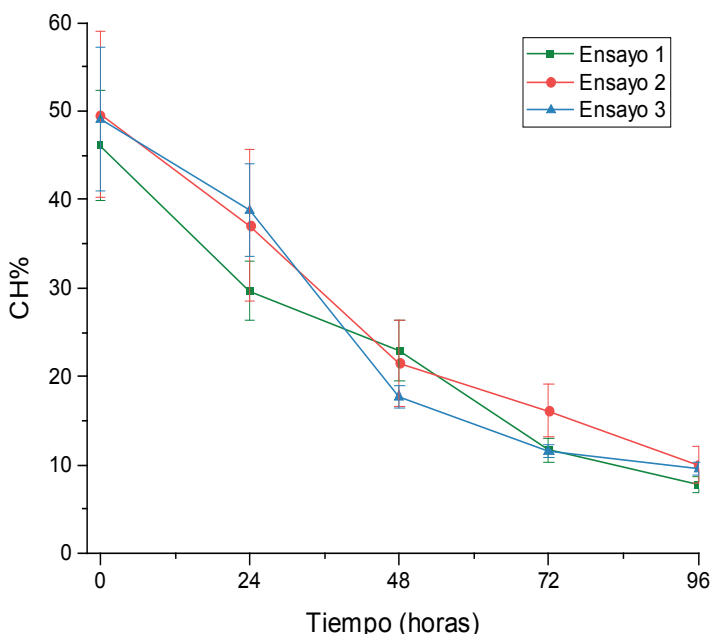


Figura 9. Curva de secado de la madera, que representa la evolución del contenido de humedad de la madera (CH) con el tiempo de secado, por ensayo. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

El ajuste de la curva de secado utilizando el modelo lineal, mostró un $r = -0,96$, RMSE (raíz del error cuadrático medio) = 0,92 (Figura 10), mientras que, utilizado un modelo cuadrático o parabólico (modelo no lineal) la curva tuvo un mejor ajuste, con un $r^2 = 0,96$ y RMSE = 2,88 (Figura 11). Por tanto, comparando estos modelos, se observó que la disminución del CH% con el tiempo, es decir la curva de secado, sigue una relación no lineal (Figura 10 y Figura 11).

Los programas de secado se ajustaron para alcanzar un CH% final promedio próximo a 12%, en base a la fórmula descrita en Rosales-Solórzano (2019) para esta especie, por tanto, el secado para un CH% final demasiado bajo sería innecesario.

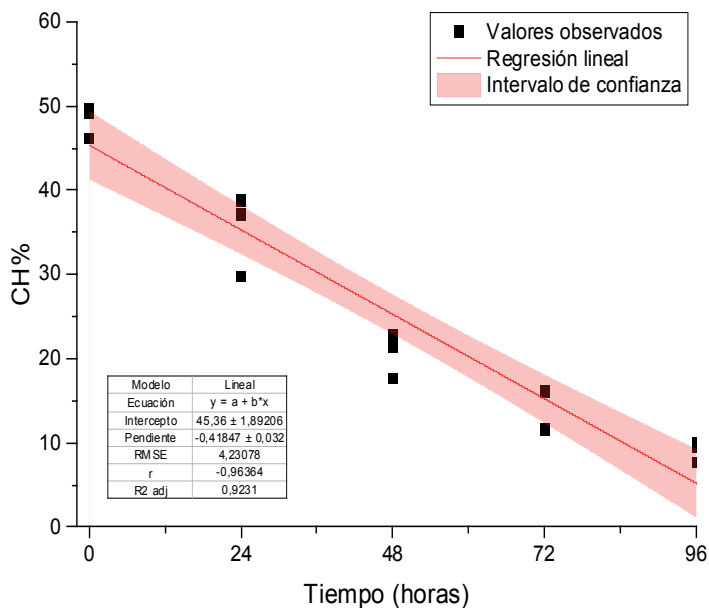


Figura 10. Modelo lineal de la curva de secado de la madera ajustado a los valores de CH% observado durante el tiempo de secado. RMSE: Raíz del error cuadrático medio o desviación estándar de los residuos; r: coeficiente de correlación; R²adj: Coeficiente de determinación ajustado.

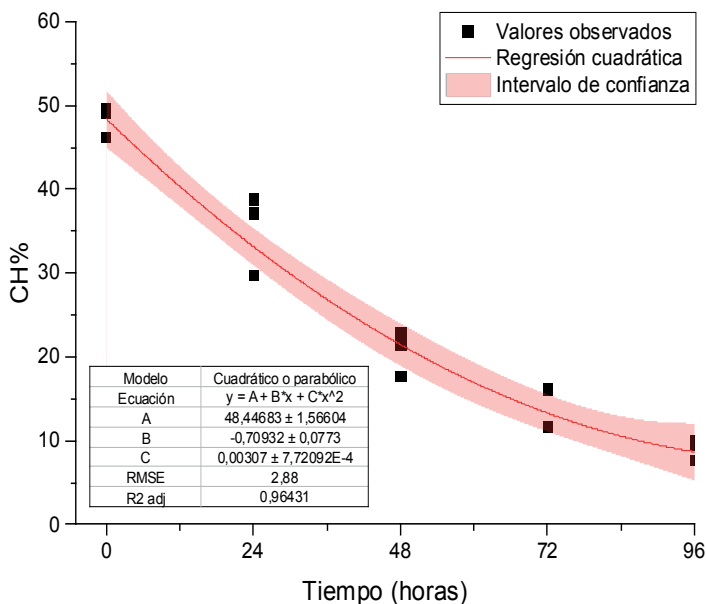


Figura 11. Modelo no lineal (cuadrático o parabólico) de la curva de secado de la madera ajustado a los valores de CH% observado durante el tiempo de secado. RMSE: Raíz del error cuadrático medio ó desviación estándar de los residuos; R²adj: Coeficiente de determinación ajustado.

La curva de secado del tipo cuadrático (no lineal) observado en el presente estudio, concuerda con otros estudios, donde también determinaron curvas de secado del tipo cuadrático en el secado de *Pinus radiata* (Ananias, Vallejos y Salinas 2005), o en el secado de *Dipteryx micrantha* (Chambi 2010).

La madera del ensayo 1 tuvo un menor CH% final de alrededor de 7,7%, levemente menor que lo registrado en los ensayos 2 y 3, con 10% y 9,6% respectivamente. Los mejores resultados obtenidos en el ensayo 1, está relacionado a que la madera entró con un CH% inicial más bajo de 46,1%, comparado con la madera de los ensayos 2 y 3, que tuvieron un CH% inicial de 49,6% y 49,1% (Tabla 10 y Figura 11).

Tabla 10. Variación del contenido de humedad (CH%) de las muestras monitoreadas con sensores de humedad (S1, S2, S3, y S4, media y desviación estándar (DE) del CH%, a lo largo del tiempo de secado, en el ensayo 1.

	Tiempo (horas)	CH%					
		M1	M2	M3	M4	Media	DE
Ensayo 1	0	47,7	38,3	45,3	53,2	46,1	6,2
	24	30,7	25,1	30,2	32,9	29,7	3,3
	48	24,2	18,6	22,0	26,8	22,9	3,5
	72	11,3	10,0	13,2	12,4	11,7	1,4
	96	7,6	6,5	8,6	8,0	7,7	0,9
Ensayo 2	0	61,1	53,2	43,1	40,8	49,6	9,4
	24	48,6	38,6	32,0	29,1	37,1	8,7
	48	15,5	26,6	23,9	19,8	21,5	4,9
	72	12,6	18,9	18,2	14,7	16,1	3,0
	96	7,8	10,6	12,5	9,0	10,0	2,0
Ensayo 3	0	60,3	41,1	49,0	46,0	49,1	8,1
	24	46,4	35,1	37,4	36,2	38,8	5,2
	48	19,4	18,1	16,8	16,7	17,7	1,3
	72	12,4	11,6	11,3	10,7	11,5	0,7
	96	10,2	9,9	9,8	8,7	9,6	0,7

Los resultados de los tiempos de secado resaltan la importancia de realizar un pre-secado al aire libre de la madera antes de ingresar al horno de secado. Pues, cuanto menor sea el CH% de las piezas de madera entrante, se favorece el proceso de secado, logrando menores tiempos y piezas más secas. Por ejemplo, el tiempo de secado de madera de *Dipteryx micrantha* es de 16 días al secar madera con CH% de 31%, pero se reduce a 11 días cuando el CH% inicial es de 16%, es decir una reducción de la tercera parte del tiempo de secado (Chambi 2010).

El tiempo de secado de 4 días (96 horas) para alcanzar CH% menores a 12% significó un periodo de secado muy corto, en comparación con otros estudios en maderas tropicales;

por ejemplo, manteniendo CH% inicial por debajo de 50%, se tuvo un tiempo de secado de 5 días para lograr CH% finales <12% en el secado de especies de densidad media-baja como *Swietenia macrophylla*, y *Nectandra sp.*; mientras que en especies de densidad alta como *Terminalia amazonia*, *Brosimum alicastrum*, el tiempo de secado se extendió hasta 14 días. Inclusive, en el secado de *Aspidosperma megalocarpon*, una especie del mismo género que la especie evaluada en el presente estudio (*Aspidosperma parvifolium*), se obtuvo un tiempo de secado de 22 días (Zavala 2016).

El mayor volumen de madera evaluada y mayor capacidad del horno de secado empleado en el estudio de Zavala (2016) podrían haber incrementado el tiempo de secado, y de la misma forma, el bajo volumen de madera usada en el presente estudio podría haber favorecido el secado en menos tiempo. De hecho, en el secado de tablillas de *Dipteryx micrantha* a nivel industrial, usando hornos convencionales de capacidad de 100 m³, el tiempo de secado fue de 16 días para un CH% inicial de 31% y CH% final de 7% (Chambi 2010).

Por otro lado, el secado de especies exóticas de plantaciones, como el *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.*, maderas de densidad baja, se realiza en tiempos más cortos de 2 a 3 días (Ananias et al., 2005; Severo, 2000). Así, el tiempo de secado se determina en función de la densidad de la madera de la especie, CH% inicial, programa de secado, volumen de madera, y eficiencia del horno de secado.

La curva de velocidad de secado mostró que en general, la velocidad de secado de una pieza a un determinado CH% disminuye cuanto menor es su CH%; es decir, es la madera es más resistente a perder humedad cuanto menor sea su CH%; así dentro de la cámara de secado conforme transcurre el tiempo y el CH% va disminuyendo se hace cada vez más difícil lograr menores CH%, por lo que es necesario condiciones más extremas de temperatura y humedad (Figura 12).

La curva de velocidad de secado presenta diferentes patrones de variación entre los 3 ensayos, donde los ensayos 2 y 3 mostraron seguir una curva de velocidad de secado más regular, en cuanto que el ensayo 1 mostró una curva más irregular. En los ensayos 2 y 3, la velocidad de secado incrementó durante la fase inicial de secado de 0,45-0,55 $\Delta\text{CH\% hora}^{-1}$ a 0,650,9 $\Delta\text{CH\% hora}^{-1}$, en un intervalo de CH% de 38%-40% a 18%-22%. En contraste, en el ensayo 1, la velocidad de secado disminuyó abruptamente, de 0,7 a 0,3 $\Delta\text{CH\% hora}^{-1}$, en un intervalo de 30% a 23%.

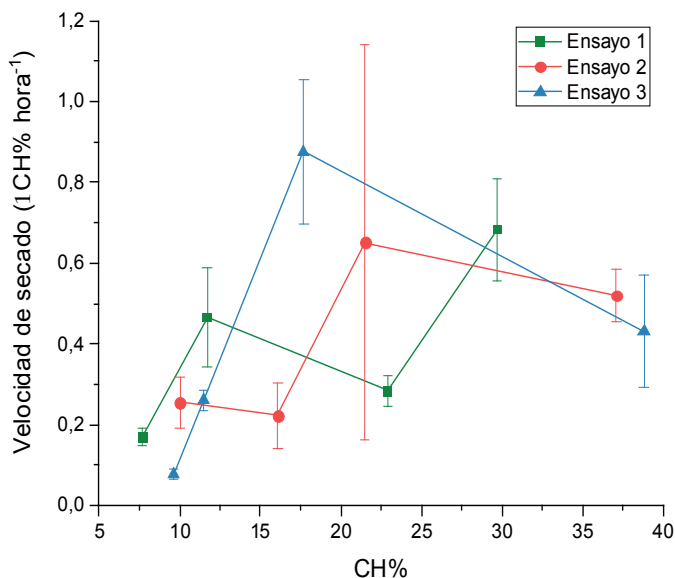


Figura 12. Curva de velocidad de secado ($\Delta\text{CH\% hora}^{-1}$) por ensayo. Expresa la cantidad de humedad evaporada en la madera ($\Delta\text{CH\%}$) en una hora de secado a diferentes CH% de humedad. El secado es más lento cuanto menor es el CH% de la madera

La curva de velocidad de secado tuvo un mejor ajuste al modelo cuadrático en comparación con el modelo lineal (Figura 13 y Figura 14). El modelo cuadrático indica que la velocidad de secado tiende a aumentar ligeramente o mantenerse constante desde un 40% CH hasta un 27% CH, a partir de allí la velocidad de secado disminuye considerablemente hasta niveles de 0,1 CH% hora⁻¹ a un 8% CH, indicando que cuanto menor CH% tenga la madera, la pérdida de humedad es muy lenta.

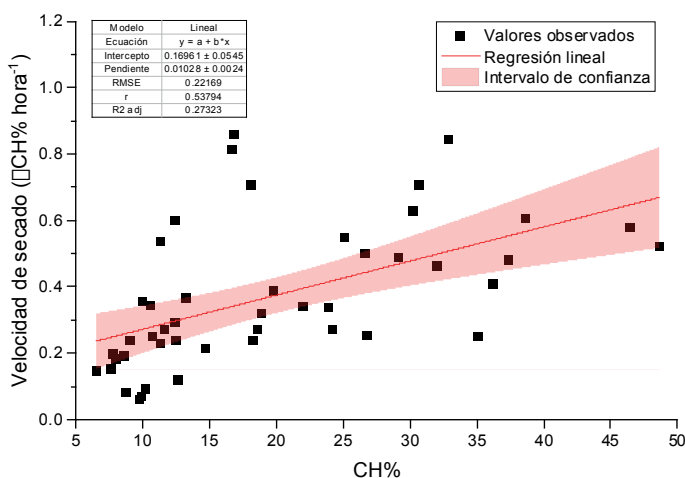


Figura 13. Modelo lineal de la curva de velocidad de secado. RMSE: Raíz del error cuadrático medio o desviación estándar de los residuos; r: Coeficiente de correlación; R²adj: Coeficiente de determinación ajustado.

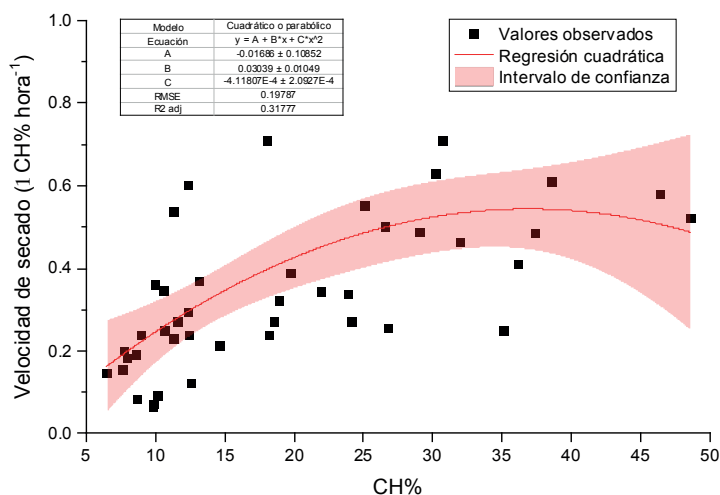


Figura 14. Modelo no lineal (cuadrático o parabólico) de la curva de velocidad de secado. RMSE: Raíz del error cuadrático medio o desviación estándar de los residuos; R²adj: Coeficiente de determinación ajustado.

La curva de velocidad de secado para la especie estudiada *A. parvifolium*, concuerda con la curva de velocidad teórica representada por 3 etapas de secado: Fase I, donde a partir de un CH% elevado, la pieza de madera pierde agua rápidamente de la parte superficial por efecto de las altas temperaturas y humedad relativa de la cámara de secado. En la Fase II, la madera se seca con una velocidad de secado decreciente, por tanto, este periodo toma más tiempo que la etapa anterior, aunque la cantidad de agua removida es menor. La velocidad de secado disminuye de forma casi lineal hasta que la superficie de la madera se seca completamente, sin embargo, la parte interna aún posee agua higroscópica. En este punto, se inicia la Fase III, que es gobernado por el movimiento difusional del agua de la parte interna a la superficie y al exterior, hasta que la madera alcance CH% por debajo de 8%, con velocidad de secado muy lenta (Ananias, Vallejos y Salinas 2005).

En *D. micrantha*, otra especie amazónica, la curva de velocidad de secado siguió una tendencia lineal en piezas con CH% inicial de 27% (debajo del PSF) (Chambi 2010). Por tanto, la tendencia lineal en el estudio de *D. micrantha* se explica porque el secado comenzó con un CH% muy bajo en comparación con el CH% del presente estudio que fue muy elevado (49% CH). En general, cuando el secado se inicia con CH% alto por encima del PSF es común observar el patrón cuadrático, similar a lo encontrado en el presente estudio.

4.2 VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LA MADERA EN EL SECADO

Como consecuencia de la pérdida de humedad durante el proceso de secado, la madera sufre una contracción en sus dimensiones. Los resultados del presente estudio muestran que las muestras de madera de *A. parvifolium* sufrieron una contracción volumétrica media de 6,16%, 6,05%, y 5,01%, respectivamente en los ensayos 1, 2, y 3 (Tabla 11).

Tabla 11. Contenido de humedad (CH%) final de la madera después del secado, contracción volumétrica de las muestras, con sus respectivas desviaciones estándar (DE) para cada ensayo.

	CH% inicial		CH% final		Contracción volumétrica (%)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Ensayo 1	40,30	4,00	10,66	0,63	6,16	0,72
Ensayo 2	39,77	1,07	12,99	1,23	6,05	1,65
Ensayo 3	41,29	3,50	11,28	0,96	5,01	0,70

Dado que el grado de contracción volumétrica es consecuencia de la humedad removida en la madera, el secado a partir de altos CH% iniciales de la madera se reflejarán en mayor contracción volumétrica de la madera. Debido a esto, los valores de contracción volumétrica de 5,01% y 6,16% a partir de un CH% inicial de 40% mostrado en el presente estudio, son menores a lo reportado por Chavesta (2005) para la misma especie *A. parvifolium*, con contracción volumétrica de 14% a partir de un CH% inicial de 88%.

Así, en otro estudio, el secado con CH% inicial por debajo del PSF (30%) de madera de *D. micrantha*, generó una contracción de 7% a 9,2% (Chambi 2010), valores más cercanos a lo reportado en el presente estudio.

En general, para maderas tropicales sudamericanas, cuando el CH% inicial es alto, cercano al estado verde, la contracción volumétrica (contracción radial + contracción tangencial) varía ampliamente de 5,9% a 26% (JUNAC, 1989).

4.3 DEFECTOS DE SECADO DE LA MADERA Y CALIDAD DE SECADO

El análisis de defectos de secado mostró diferentes índices de alabeos y grietas entre los ensayos (Tabla 12). El ensayo 1 tuvo mayor índice de alabeos (1,92) que los ensayos 2 y 3, lo que indica una mayor intensidad y frecuencia de alabeos en el ensayo 1, principalmente torceduras. Inesperadamente, las condiciones de secado de ensayo 2, no generó ningún tipo de alabeo en las muestras de madera.

Respecto al defecto de grietas, contrariamente a lo observado para alabeos, el ensayo 2 presentó mayor índice de grietas (0,42) que el ensayo 1 (0,08) y el ensayo 3 (0,36) (Tabla 12), indicando que las condiciones de secado en el ensayo 2, y en menor medida en el ensayo 3, propician una leve intensidad y frecuencia de grietas en las muestras de madera de *A. parvifolium*.

El índice de calidad total de secado, que se obtiene de la suma del índice de alabeos y el índice de grietas, fue de 2,01, 0,42, y 0,73, respectivamente para el ensayo 1, 2, y 3.

De acuerdo al Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN 1972), estos índices indican una calidad de secado “menos que regular” y condiciones de secado “poco adecuadas” en el ensayo 1; mientras que en los ensayos 2 y 3, indica que la calidad de secado fue “muy buena” y “buena”, respectivamente, es decir unas condiciones de secado “adecuadas”.

Tabla 12. Índice de alabeos y grietas por ensayo. La suma de ambos índices resulta en el índice de calidad total de secado; a menor índice mejor calidad de secado.

Defectos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Encorvadura	0,00	0,00	0,00
Torcedura	1,42	0,00	0,30
Acanaladura	0,43	0,00	0,00
Arqueadura	0,07	0,00	0,07
Índice de alabeos	1,92	0,00	0,37
Índice de grietas	0,08	0,42	0,36
Índice de calidad total de secado	2,00	0,42	0,73

La deficiente calidad de secado del ensayo 1, estaría relacionado a variaciones irregulares de la velocidad de secado. En contraste, tanto el ensayo 2 y ensayo 3 mantuvieron una variación regular de la velocidad de secado de tendencia parabólica (Figura 11, y Figura 14). La disminución abrupta de la velocidad de secado, durante las primeras etapas de secado, que se produjo en el ensayo 1 habría contribuido a una curva de secado irregular (Figura 8), y en consecuencia mayor intensidad y frecuencia de alabeos.

No obstante, la buena calidad de secado logrado en el ensayo 2 y 3, demuestra que el programa de secado aplicado es adecuado para el secado de madera de *A. parvifolium* de 1 pulgada de espesor.

Estudios de calidad del secado en especies tropicales amazónicas son escasos. Entre los pocos estudios realizados, se tiene que los programas de secado utilizados para madera de *Virola sp* (Cumala) fueron satisfactorios (Ihuaraqui 2008). En contraste, en *D. micrantha* (Shihuahuaco), madera de densidad alta, se encontró que los programas de secado empleados fueron poco adecuados (Chambi 2010).

En especies exóticas como pino y eucalipto, los programas de secado han sido ampliamente probados y ajustados para buena calidad de secado de la madera. En *Eucalyptus dunni*, los programas de secado suaves presentaron buena calidad de secado (Severo 2000). Sin embargo, a pesar de la eficiencia de los programas de secado, aún es común la presencia de defectos como colapso, alabeos, grietas y rajaduras, tanto en especies exóticas como especies nativas (Jankowsky y Gonçalves 2006).

4.4 ENERGÍA CONSUMIDA EN EL PROCESO DE SECADO

Por medio de la diferencia entre las lecturas tomadas del medidor de energía antes y después del secado, se calculó la energía consumida en kW h (Tabla 13).

Tabla 13. Consumo de energía en kilovatios hora (kW h) en el proceso de secado con el horno IMAD EKO 02.

	Lectura de inicio	Lectura final	Total de consumo (kW h)
Ensayo 1	11,7	317,4	305,7
Ensayo 2	317,4	566,6	249,2
Ensayo 3	566,6	789,4	222,8
		Consumo promedio	259,2

Considerando que, a la fecha del estudio, el costo por kW h en Puerto Maldonado es de 0,8128 soles por kW h, entonces el costo de energía del horno de secado IMAD EKO 02 para secar la madera de quillobordon con el programa utilizado, es de aproximadamente 211 soles. El costo por pie tablar (pt) para el volumen de madera seca (191,59 pt) fue de 1,1 sol/pt.

Sin embargo, el horno de secado IMAD EKO 02 tiene una capacidad de 1 000 pt, por tanto, el secado de un volumen completo podría dar menor costo por pt. Estudios con volúmenes completos deben ser realizados para conocer mejor el costo de secado de la madera.

CONCLUSIONES

- La curva de secado de la madera, es decir la disminución del CH% de la madera con el tiempo de secado, de *A. parvifolium*, mostró un mejor ajuste al modelo no lineal, del tipo cuadrático o parabólico, en los 3 ensayos. De la misma forma, la curva de velocidad de secado, es decir la velocidad de pérdida de humedad en relación con su CH% actual, fue no lineal del tipo cuadrático o parabólico en los 3 ensayos.
- La variación dimensional, es decir la contracción volumétrica, fue en torno de 5,01% a 6,16% para los 3 ensayos, que representan una baja contracción de las muestras de madera.
- La calidad total de secado fue “muy buena” y “buena” para los ensayos 2 y 3, representando condiciones de secado “adecuadas”. En contraste, en el ensayo 1, la calidad de secado fue “menos que regular” representando condiciones de secado “poco adecuadas”. La deficiente calidad de secado en el ensayo 1, puede explicarse por las variaciones irregulares de la temperatura y HE% de la cámara de secado. Los defectos de secado más intensos y comunes fueron las torceduras y grietas.
- La energía consumida en promedio por cada proceso de secado fue de 259,2 kW h.
- De acuerdo a los resultados el proceso de secado convencional de madera para muebles de la especie *A. Parvifolium* es adecuado según los programas aplicados en el presente estudio

SUGERENCIAS

- Realizar ensayos con piezas de madera de 2 pulgadas de espesor probando variaciones del programa de secado estudiado.
- Probar programas de secado para piezas con mayor CH% inicial, para contar con diferentes programas de secado de acuerdo al CH% de la madera.
- Probar programas de secado fuertes, con temperaturas más altas y HE% más bajos para conocer si se pueden acortar los tiempos de secado manteniendo una buena calidad de secado.
- Asegurarse que la temperatura y HE% de la cámara de secado sigan el programa de secado preestablecido, porque variaciones bruscas de estas variables generarán una mala calidad de secado de la madera.
- Se recomienda realizar estudios de secado convencional en otras especies forestales amazónicas de importancia comercial.
- Realizar estudios con volúmenes cercanos a 1 000 pt para evaluar la calidad de secado y consumo de energía con la capacidad total del horno de secado IMAD EKO 02.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANIAS, R.A., VALLEJOS, S. y SALINAS, C., 2005. Estudio de la cinética del secado convencional y bajo vacío del pino radiata. *Maderas. Ciencia y tecnología* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 37–47. [Consulta: 29 agosto 2022]. ISSN 0718-221X. DOI 10.4067/s0718-221x2005000100005. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718221X2005000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=en.

ARANGO JHONSON, A., 1990. *Secado de la madera* [en línea]. Antioquía, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje “SENA”. Disponible en: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/4888>.

AVALOS, A.G.D., SANTIAGO, P.P., GUEVARA, L.S. y ESPINOZA, M.L.L., 2013. Estudio del comportamiento al secado artificial de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. Lima, Perú:

BOLFOR (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible), 1998. Guía para el secado de la madera en hornos. Documento Técnico N° 69. Santa Cruz, Bolivia:

CHAMBI LEGOAS, R., 2010. *Estudio del secado convencional y rendimiento de Dipteryx micrantha Harms, en el aserradero Forestal Río Piedras S.A.C – Tambopata*. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

CHAVESTA, M.C., 2005. *Maderas para pisos*. Primera ed. Lima, Perú: ESERGRAF. ISBN 9972-2624-1-3.

CITEMADERA (Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera), 2009. *Técnicas De Secado De La Madera* [en línea]. S.I.: s.n. Disponible en: <https://dasonomia.files.wordpress.com/2016/11/secado-maderasapuntes.pdf>.

COFRE, D., 2003. *Efecto del vaporizado final en las tensiones de la madera aserrada, en Pinus radiata*. S.I.: Universidad Austral de Chile.

CPM (Confederación Peruana de la Madera), 2008. *Compendio de información técnica de 32 especies forestales (Tomo II)* [en línea]. Segunda ed. Lima, Perú: CITE Madera. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1458597/2>. Compendio de información técnica de 32 especies Forestales Tomo II.pdf.pdf.

FIGUEROA, R., 1991. *Secado artificial de madera de coigüe (Nothofagus dombeyi (Mirb.) Oerst), previa aplicación de un pre tratamiento de inmersión en agua caliente*. S.I.: Universidad Austral de Chile.

GUERRERO, G. y INZUNZA, L., 1980. *Comportamiento de Eucalyptus globulus (LABILL) crecido en Colcura, sometidas a un programa de secado australiano*. S.I.: Universidad Austral de Chile.

IHUARAQUI, M.E., 2008. *Evaluación del comportamiento al secado artificial de la madera aserrada de cumala (Virola sp.) en la Empresa Tropical Lumber SAC y propuestas de mejoramiento. Iquitos –Perú* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Disponible en: http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3519/Mario_Tesis_Titulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad), 2005. *NTP 251.134. Madera. Apilado horizontal de la madera aserrada*. 2005. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad), 2014. *NTP 251.010. 2014*.

- MADERA. *Métodos para determinar el contenido de humedad*. 2014. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad), 2016. *NTP 251.008. Madera y carpintería para construcción. Selección y colección de muestras*. 2016. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- INN (Instituto Nacional de Normalización), 1972. NCh 993 E Of. 72. Madera. Procedimiento y criterios de evaluación para Clasificación. Santiago:
- JANKOWSKY, I.P. y GONÇALVES LUIZ, M., 2006. Review of wood drying research in Brazil: 1984-2004. *Drying Technology*, vol. 24, no. 4, pp. 447–455. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373930600611893.
- MOSCOSO GUERRERO, J., PÉREZ CAMPOS, R. y UGARTE OLIVA, J., 2014. *Competencias básicas para la producción industrial de madera* [en línea]. Lima, Perú: CITE Madera. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571582/02_BP_para_el_Secado_de_Madera_en_Hornos_Convencionales.pdf.
- NIGOS ELEKTRONIC-NIS, Manual de usuario para secadora convencional unidad de control automática MC-412 (ver 3.1).
- PEREDO, M., JUACIDA, R. y INZUNZA, L., 1985. *Curso de capacitación en secado de maderas. Informe Convenio 88*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- ROSALES-SOLÓRZANO, E.-R., 2019. Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 17, no. 40, pp. 33–42. DOI 10.18845/rfmk.v17i40.4905.
- ROSALES, E.R.S., 2018. *Física de la madera. Niveles de humedad en función de la densidad básica de la madera para su uso sostenible*. Lima, Perú: s.n.
- SEPULVEDA, C., 2007. *Aplicación de un sistema convencional en base a pérdida de humedad para madera de Aromo australiano (Acacia melanoxylon R. Brown)*. S.I.: Universidad Austral de Chile.
- SERFOR, 2016. Anuario Forestal 2015 “Perú Forestal en Números 2015”. Lima, Perú.
- SEVERO, E.T.D., 2000. Qualidade da secagem de madeira serrada de Eucalyptus dunnii. *Ciência Florestal*, vol. 10, no. 1, pp. 109–124.
- TUSET, R. y DURAN, F., 1979. *Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización (aserrado, secado, preservación, descortezado, partículas)* [en línea]. S.I.: Hemisferio Sur. [Consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/2436>.
- ZAVALA ZAVALA, D., 2016. Secado de maderas tropicales en estufas convencionales. *Madera y Bosques*, vol. 6, no. 1, pp. 41–54. ISSN 14050471. DOI 10.21829/myb.2000.611341.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

Objetivos	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Analizar la curva de secado (contenido de humedad vs tiempo) y la curva de la velocidad de secado de la madera (velocidad de secado vs contenido de humedad).	Condiciones de secado de la madera (dependiente).	Control y evaluación del proceso de secado de la madera.	Contenido de humedad actual de la madera.	%
			Velocidad de secado de la madera	m/s
			Relación contenida de humedad con tiempo	%/días
			Relación entre contenido de humedad con velocidad de secado	%/m/s
			Contracción de la madera	%
Determinar la variación dimensional de la madera durante el secado	Dimensiones de la madera (independiente)	Ancho y espesor	Reducción del espesor y ancho de la madera	mm
Evaluar los defectos de secado de la madera producido en el secado convencional	Calidad de secado de la madera (dependiente)	Defectos de la madera	Índice de alabeo y grietas	%
Determinar la energía consumida en todo el proceso de secado de la madera	Kilovatios hora (kW h) consumidos independiente	Parámetros del medidor	Energía consumida	kW h

ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	VARIABLES E INDICADORES	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p>General: ¿Cómo será el secado convencional en horno eléctrico IMAD EKO 02 de madera para muebles de quilibordón (<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. CD)?</p> <p>Específicos: ¿Cómo será la representación gráfica de la curva de secado y la curva de velocidad de secado de la madera en el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02?</p>	<p>VARIABLES:</p> <p>INDEPENDIENTE: X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programa de secado de la madera - Dimensiones de la madera <p>DEPENDIENTE: Y</p> <ul style="list-style-type: none"> - Defectos de la madera <p>INDICADORES:</p> <p>INDICADORES X:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura (T°) del horno. - Contenido de humedad de equilibrio del horno (CHE%). - Contenido de humedad inicial y final (CHI % y CHF %). - Tiempo de secado (T°) - Espesor y ancho de la madera. - Consumo de energía <p>INDICADORES Y:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calidad de la madera secada. - Defectos de la madera secada. - Contenido de humedad actual de la madera. - Velocidad del secado. - Relación CH%/tiempo. - Relación CH%/velocidad. - Contracción milimétrica (C) de la madera. 	<p>General: Evaluar el secado convencional de la madera para muebles de quilibordón (<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. CD.) en el horno IMAD EKO 02.</p> <p>Específicos: Analizar la curva de secado (contenido de humedad vs. tiempo) y la curva de velocidad de secado de la madera (velocidad de secado vs. Contenido de humedad).</p>	<p>General: Ha: El proceso de secado convencional en horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quilibordón (<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. CD.) es adecuado y óptimo. Ho: El proceso de secado convencional en horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quilibordón (<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. CD.) es inadecuado y no son óptimos.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ha: La curva de secado y la curva de velocidad de secado se ajustan a un modelo lineal. - Ho: La curva de secado y la curva de velocidad de secado se ajustan a un modelo no lineal. <p>Ha: La contracción volumétrica de la madera aplicando el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02 es menor o igual a 14%. Ho: La contracción volumétrica de la madera aplicando el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02 es mayor a 14%.</p> <p>Ha: La calidad del secado de la madera aplicando el programa de secado del horno IMAD EKO 02 es adecuado. Ho: La calidad del secado de la madera aplicando el programa de secado del horno IMAD EKO 02 no es adecuado.</p> <p>Ha: La calidad del secado de la madera aplicando el programa de secado del horno IMAD EKO 02 es adecuado. Ho: La calidad del secado de la madera aplicando el programa de secado del horno IMAD EKO 02 no es adecuado.</p>	<p>Tipo de Investigación: Descriptiva.</p> <p>Método de Investigación: Descriptivo (cuantitativo y analítico)</p> <p>Clase de Investigación: Aplicado</p>
<p>¿Cuáles serán los defectos aplicando el programa del secado convencional en el horno IMAD EKO 02 de madera para muebles de quilibordón?</p>		<p>Determinar la variación dimensional de la madera en el secado.</p>		
<p>¿Qué porcentaje tendrá la variación dimensional de la madera aplicando el programa de secado convencional del horno IMAD EKO 02?</p>		<p>Evaluar los defectos de secado de la madera producidos en el secado convencional.</p>		
<p>¿Cuál será el consumo de energía durante todo el proceso de secado de la madera quilibordón del horno IMAD EKO 02?</p>		<p>Determinar la energía consumida en el proceso de secado de la madera.</p>		

ANEXO 3: BASE DE DATOS

Tabla 14. Dimensiones, peso, y CH%, iniciales (antes del secado) y finales (después del secado) de las muestras en cada ensayo

Tabla	Dimensiones iniciales (mm)			Peso inicial (g)	CH% inicial	Dimensiones finales (mm)			Peso final (g)	CH% final	
	Largo	Ancho	Espesor			Largo	Ancho	Espesor			
Ensayo 1	1	305	25.6	26.2	17.4	35.4	304.6	24.9	25.3	14.7	10.3
	2	305.1	25.6	26.4	17.4	38.2	305	25	25.6	14.7	10.6
	3	305	25.6	25.8	18	36.9	304.7	24.6	25.1	14.7	10.3
	4	305	25.8	23.6	17.4	40.3	304.8	25.1	22.7	13.6	11.4
	5	305	25	25.2	17	37.2	304.7	24.1	24.3	12.6	10.3
	6	305.2	25.7	24.9	18	41.2	304.9	24.8	23.8	14.7	10.3
	7	305.2	25.7	25.1	17.4	37.5	304.9	24.8	24.6	14.1	10.3
	8	305.2	25.7	25.5	17.6	48.7	305	24.9	24.7	14.4	10.9
	9	304.6	25.7	26.5	18	44.7	304.4	25	25.5	14.4	10.3
	10	305.2	25.7	24.3	16.9	48.1	305	24.9	23.5	13.1	10.7
	11	304.7	25.7	24.6	18.5	38.4	304.9	24.9	23.9	15	10.4
	12	305.1	24.4	24.6	15.5	40.6	304.8	23.6	23.8	12.3	10.3
	13	304.6	25.6	25.6	16.6	40.8	304.5	25.2	24.5	13.9	10.7
	14	304.6	25.7	26.2	15.1	48.2	304.5	25.2	25.5	13.9	12
	15	305	25.6	25.5	16.3	38.5	304.6	24.8	24.8	14.4	10.3
	16	305	25.7	25.8	17	45.3	304.7	25	25	14.1	12.8
	17	305.6	25.7	25.9	17.4	38.4	304.5	24.9	25.2	14.1	10.7
	18	305	25.6	25.4	17.3	38.5	304.6	24.8	24.7	15	10.4
	19	304.8	25.8	26.2	17	36.4	304.4	24.9	25.4	14.1	10.3
	20	304.7	25.1	24.6	15.6	40.5	304.6	24.5	24.1	12.7	10.6
	21	304.7	25.7	21.6	17.7	35.7	304.3	24.6	21.2	14.7	10.2
	22	305	25.7	25.3	18.7	38.4	304.5	24.9	24.4	15.2	10.3
	23	304.8	25.5	25.8	17.4	38.9	304.6	24.7	25	14.1	10.7
Ensayo 2	24	304.9	25.9	24.6	19	38.9	304.6	25.3	23.9	14.3	15
	25	304.7	25.9	24.2	20.1	39.1	304.5	25.3	23.9	15.8	15.4
	26	304.6	26.1	25	18.1	39.8	304.5	25.2	23.9	13.8	11.6
	27	304.6	26.1	25.5	17.5	42.7	304.5	25.3	24.3	13.8	15
	28	304.6	25.8	27.1	19	36.5	304.5	25.7	26.1	14.8	12.7
	29	304.7	25.9	27	20.5	36.8	304.7	25.2	23.8	16.9	12.4
	30	305.1	26	22.5	19	38.2	305	25.4	21.1	15.3	12.6
	31	304.9	26.1	23.8	18.6	39.1	304.7	25.3	20.8	14.8	11.8
	32	304.7	26	24.8	17.9	38.8	304.5	25.3	21.8	14.1	12.8
	33	304.6	25.8	27.7	19.1	41.3	304.4	25.2	24.9	13.8	14.2

	34	304.6	25.9	26.2	20.7	40.2	304.5	25.2	23.4	16.6	13
	35	304.6	26.1	28.1	19.6	40.3	304.5	25.4	27.4	15.8	12.4
	36	304.6	25.8	28.7	20.5	42.3	304.5	25.1	27.9	16.6	11
	37	304.7	25.8	26	22.1	39.5	304.4	25	23.4	17.2	12.4
	38	304.5	26	30.8	19.8	40.9	304.4	25.6	27.4	16.1	14
	39	304.5	25.8	26.2	20.7	39.9	304.5	25.4	24.6	17.2	12
	40	304.7	26	29.3	19.4	44.1	304.5	25.4	26.1	16.1	14.7
	41	304.8	26	26.9	19.2	40.8	304.7	25.4	23.8	15.5	12.3
	42	304.5	25.9	26.9	19.2	39.6	304.5	25.4	23.4	15.8	12.1
	43	304.6	26.1	24.9	18.1	37.5	304.4	25.5	21.7	14.5	11.4
	44	304.8	26	26.5	19.2	40	304.8	25.4	23.4	15.9	13.7
	45	304.8	26.1	26.8	18.5	39.5	304.7	25.5	23.7	15.2	13.3
	46	304.6	25.8	27.1	19.7	39	304.7	25.4	23.8	16	13
Ensayo 3	47	305.2	25.7	26.8	21.1	37.5	305	25.3	26	17.5	10.9
	48	305	25.6	26.5	21.8	37.9	304.9	25	25.6	18	11.1
	49	305	25.7	27.2	21.1	40.2	304.9	25.2	26.5	17.5	12.8
	50	304.8	25.7	26.7	17.8	43.2	304.8	25.2	25.7	14.4	10.2
	51	304.8	25.7	27.6	19.8	43.4	304.8	25.3	27	16.7	12
	52	304.9	25.7	27.1	18.3	42.2	305	25.1	26.3	14.8	9.6
	53	305	25.7	27.7	17.8	46.8	305	25.2	26.8	14.4	10.3
	54	304.9	25.7	27.7	18.6	44.3	304.9	25	26.9	14.8	11.4
	55	305	25.7	27.2	17.7	48.9	304.9	25.2	26.2	14.4	11.5
	56	305	25.7	26.2	18.3	45	304.6	25.1	25.2	14.8	11.3
	57	304.8	25.7	27.6	19.7	42.4	304.9	25.3	26.7	16.4	11
	58	304.9	25.7	27.2	22	37.7	304.9	25.2	26.6	18.1	12.5
	59	304.8	25.7	27.3	19.7	40	304.8	25.2	26.7	16.4	10.5
	60	304.6	25.7	27	20.2	39.6	304.6	25.2	26.2	16.4	12.5
	61	305	25.7	27.6	19.7	39.9	305	25.2	26.7	16.1	12.9
	62	304.9	25.7	27	18.9	41.7	304.8	25.2	26.4	15.4	10.3
	63	304.9	25.7	27.2	18.2	38.2	304.8	25.2	26.2	14.6	10
	64	305	25.7	27.4	17.8	39.6	305	25.3	26.6	14.6	10.1
	65	304.8	25.7	26.6	19.3	38.4	304.8	25.2	25.8	15.4	12.3
	66	304.8	25.7	27.5	18.9	37.2	304.1	25.1	26.6	15.1	11.4
	67	304.8	25.7	27.7	18.9	46.8	304.9	25.1	26.5	15.1	11.7
	68	304.8	25.6	27.4	18.9	43	304.9	25.1	26.6	15.4	11
	69	305.1	25.6	27.5	19.8	35.7	305	25.1	26.6	16.1	12.2

Tabla 15. Suma de longitud de grietas e índice de grietas de las muestras en cada ensayo.

	Tabla	Suma de longitud de grietas (mm)	Indice de grietas
Ensayo 1	1	30.0	0.1
	2	27.5	0.1
	3	11.5	0.0
	4	29.0	0.1
	5	0.0	0.0
	6	33.0	0.1
	7	0.0	0.0
	8	41.8	0.1
	9	34.6	0.1
	10	12.0	0.0
	11	43.0	0.1
	12	12.0	0.0
	13	35.5	0.1
	14	46.1	0.2
	15	22.5	0.1
	16	12.0	0.0
	17	0.0	0.0
	18	5.0	0.0
	19	11.5	0.0
	20	15.0	0.0
	21	89.0	0.3
	22	15.0	0.0
	23	17.0	0.1
	24	51.0	0.2
	25	214.5	0.7
	26	60.5	0.2
	27	55.5	0.2
	28	33.0	0.1
	29	179.0	0.6
	30	116.5	0.4
	31	272.0	0.9
	32	79.5	0.3
	33	268.0	0.9
	34	384.0	1.3
	35	92.5	0.3
	36	218.0	0.7
	37	345.5	1.1
	38	28.0	0.1
	39	267.5	0.9

Ensayo 2	40	51.5	0.2
	41	70.0	0.2
	42	0.0	0.0
	43	13.0	0.0
	44	7.0	0.0
	45	19.5	0.1
	46	151.0	0.5
	47	125.0	0.4
Ensayo 3	48	243.0	0.8
	49	157.0	0.5
	50	57.0	0.2
	51	234.0	0.8
	52	93.0	0.3
	53	46.0	0.2
	54	37.0	0.1
	55	53.0	0.2
	56	66.0	0.2
	57	74.0	0.2
	58	132.0	0.4
	59	142.0	0.5
	60	319.0	1.0
	61	44.0	0.1
	62	197.0	0.6
	63	83.0	0.3
	64	13.0	0.0
	65	65.0	0.2
	66	74.0	0.2
	67	64.0	0.2
	68	26.0	0.1
	69	187.0	0.6

Tabla 16. Magnitud de alabeos de las muestras en cada ensayo.

	Tabla	Encorvadura (cm)	Torcedura (cm)	Acanaladura (cm)	Arqueadura (cm)
Ensayo 1	1	0	1.4	0	0
	2	0	2	0.2	0
	3	0	1.1	0.3	0
	4	0	1.6	0	0
	5	0	1.5	0.2	0
	6	0	1.5	0.4	0
	7	0	1	0	0
	8	0	2.9	0.3	0
	9	0	1.5	0	0
	10	0	4	0	0
	11	0	2.2	0	0
	12	0	2.5	0	0
	13	0	1.9	0	0
	14	0	0	0	0
	15	0	1.5	0.2	0
	16	0	1.5	0.2	0
	17	0	1.2	0	0
	18	0	1.4	0	0
	19	0	1.9	0.3	1
	20	0	2.4	0.3	0
	21	0	1.3	0.2	0
	22	0	0.9	0.3	0
	23	0	1.7	0.5	0
Ensayo 2	24	0	0	0	0
	25	0	0	0	0
	26	0	0	0	0
	27	0	0	0	0
	28	0	0	0	0
	29	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
	31	0	0	0	0
	32	0	0	0	0
	33	0	0	0	0
	34	0	0	0	0
	35	0	0	0	0
	36	0	0	0	0
	37	0	0	0	0
	38	0	0	0	0

	39	0	0	0	0
	40	0	0	0	0
	41	0	0	0	0
	42	0	0	0	0
	43	0	0	0	0
	44	0	0	0	0
	45	0	0	0	0
	46	0	0	0	0
Ensayo 3	47	0	0.2	0	0
	48	0	0	0	0
	49	0.5	0	0	0
	50	0	0	0	0
	51	0	0	0	0
	52	0	0.8	0	0
	53	0	0.1	0	0
	54	0	1.2	0	0
	55	1	0	0	0
	56	0	0	0	0
	57	0	0	0	0
	58	0	0	0	0
	59	0	0	0	0
	60	0.3	0	0	0
	61	0	0.9	0	0
	62	0.5	0	0	0
	63	0	2	0	0
	64	0	0	0	0
	65	0	0	0	1
	66	0	0	0	0
	67	0.5	0	0	0
	68	1	0	0	0
	69	0.5	0	0	0

ANEXO 4: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR EL ESTUDIO



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"
UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
"Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"

Carta N° 01-2022-RNAL

Sr. Dr. Rosel Quispe Herrera

Decano (e) de la carrera profesional de ingeniería forestal y medio ambiente –
UNAMAD.

SOLICITO: Autorización de ingreso a la Planta de
tecnología de la madera, uso del laboratorio de
secado de la madera y horno eléctrico IMAD EKO
02.

Yo, Rosa Norma Aguilar Lozano con DNI N° 74026710 Bachiller de la Carrera Profesional Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la facultad de ingeniería de la UNAMAD, con código N°11120057, solicito autorización de ingreso a la Planta de tecnología de la madera, uso del laboratorio de secado de la madera y uso del horno eléctrico IMAD EKO 02 con la finalidad de desarrollar mi proyecto de tesis titulado "EVALUACIÓN DE SECADO CONVENCIONAL EN HORNO IMAD EKO 02 DE MADERA PARA MUEBLES DE *Aspidosperma parvifolium* A. CD., MADRE DE DIOS"

Sin otro en particular, espero su pronta respuesta.

Puerto Maldonado, 12 de enero del 2022

.....
Bach. Rosa Norma Aguilar Lozano

ANEXO 5: CONSENTIMIENTO INFORMADO

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"
Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú

Puerto Maldonado, 14 de enero de 2022

CARTA N° 005-2022-UNAMAD-DFI/EP-IFMA.

Sr.:

Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano

CIUDAD

Asunto : Brindar facilidades para uso de Laboratorios y equipos

Ref. : Memorando N° 013-2022-UNAMAD-R/DFI

Yo, Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano, le saludo cordialmente y a su vez visto el documento de la referencia, remitirle la solicitud de la Bach. Rosa Norma Aguilar Lozano, para poder hacer uso del Laboratorio de Propiedades de la Madera, Laboratorio de Preservado y Secado de la Madera y del Taller de Transformación Mecánica de la Madera (Horno), con el fin de realizar la parte experimental de su Informe de Tesis "Evaluación de secado convencional en horno IMAG EKO 02 de madera para muebles de *Aspidosperma parvifolium* A.CD., Madre de Dios".

Por lo que se solicita brindar las facilidades a la bachiller para que puedan proceder con su trabajo de investigación.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente



Dr. Carlos Emérico Nieto Ramos
Director de Escuela

Autorizado
a Tesisista Investigación
Para realizar investigación
En laboratorios y taller
14/01/2022

Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano

ANEXO 6: CONTRATO CON EL CONCYTEC DE FINANCIAMIENTO



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Tecnológica

Programa Nacional de
Investigación Científica y
Estudios Avanzados

CONTRATO N° 021-2021-PROCIENCIA

"BECAS DE MENTORÍAS MARIA REICHE" CONVOCATORIA E053-2021-01



Conste por el presente documento, que se emite en dos (02) ejemplares igualmente válidos, el Contrato que celebran de una parte el **PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y ESTUDIOS AVANZADOS – PROCIENCIA**, en adelante denominado "**EL CONTRATANTE**", con domicilio en la Calle Chinchón N° 867, Distrito de San Isidro, Provincia y Departamento de Lima; con RUC N° 20554841555¹, debidamente representado por el Director Ejecutivo **JUAN MARTÍN RODRIGUEZ RODRIGUEZ**, identificado con DNI N° 09469986, designado con Resolución de Presidencia N° 064-2021-CONCYTEC-P de fecha 22 de junio de 2021 y facultado para suscribir el presente Contrato, según la Resolución de Presidencia N° 058-2021-CONCYTEC-P de fecha 09 de junio de 2021; en adelante **PROCIENCIA**; y de la otra parte, **ROSA NORMA AGUILAR LOZANO**, identificada con DNI N° 74026710, con domicilio en Upis Augusto Ikeda Gamboa – El Triunfo, Distrito Las Piedras, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre De Dios, correo electrónico maguilar95@gmail.com, a la que en adelante se le denominará **LA MENTOREADA**; en los términos y condiciones siguientes:

DE LA NATURALEZA DE PROCIENCIA



CLÁUSULA PRIMERA.- EL CONCYTEC es un organismo técnico especializado con personería jurídica de derecho público interno y con autonomía administrativa, económica y financiera; constituye un pliego presupuestal y se encuentra adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros; es el ente rector del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (SINACYT) y el encargado de dirigir, fomentar, coordinar, supervisar y evaluar las acciones del Estado en el ámbito de la ciencia, tecnología e innovación tecnológica, conforme a lo dispuesto por Ley N° 28613, el Decreto Supremo N° 058-2011-PCM y el Decreto Supremo N° 067-2012-PCM.

El Artículo 16° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 28303 - Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, aprobado por el Decreto Supremo N° 032-2007-ED y modificado por la Ley N° 30806, establece la creación del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), como una unidad de ejecución presupuestal del CONCYTEC, con patrimonio propio encargado de captar, gestionar, administrar y canalizar recursos de fuente nacional y extranjera, destinados a las actividades del SINACYT en el país.

Mediante Decreto Supremo N° 051-2021-PCM se crea el Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados, sobre la base del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica, al cual **PROCIENCIA** absorbe por fusión en calidad de entidad absorbente. **PROCIENCIA** se encuentra bajo la dependencia de **EL CONCYTEC**, ente rector del SINACYT.

DE LOS ANTECEDENTES

CLÁUSULA SEGUNDA. - Mediante Resolución de Presidencia N° 014-2021-CONCYTEC-P de fecha 5 de marzo de 2021, se conformó el "Comité encargado de proponer mecanismos de promoción del rol de la mujer en el desarrollo de actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica para el año 2021 del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC" – Comité Pro Mujer en CTI 2021.

¹ De conformidad con lo señalado en la Séptima Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 051-2021-PCM, culminado el proceso de fusión, toda referencia al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica – FONDECYT se entiende realizada al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados – PROCIENCIA.



PERU

Presidencia
del Consejo de Ministros

Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Tecnológica

Programa Nacional de
Investigación Científica y
Estudios Avanzados

Asimismo, de acuerdo con lo señalado en las Bases, el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC y el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica – FONDECYT, ad-puertas de celebrar el bicentenario de la Independencia del Perú, como iniciativa del CONCYTEC y British Council, y con el apoyo de Advance HE y la Universidad Científica del Sur, llevaron a cabo el Programa de Formación de Mentores donde se reconoce que la mentoría es un medio eficaz de desarrollo profesional y aprendizaje individual. Que los beneficios son numerosos e incluyen la transferencia natural de conocimientos y habilidades claves que contribuyan al desarrollo profesional y a la cultura del aprendizaje.



En ese sentido, el CONCYTEC presenta el Esquema Financiero denominado Becas de Mentorías "María Reiche" como un esquema piloto que forma parte de la implementación de una política sostenible de mentorías a nivel nacional que promueve el fortalecimiento de habilidades blandas, emocionales y a la formación científica de mujeres en CTI, a la internacionalización de la investigación que desarrollen mediante la vinculación de las mentoreadas con grupos y redes de investigación a nivel nacional e internacional con el apoyo continuo de un investigador capacitado del Registro Nacional de Investigadores de Ciencia y Tecnología (RENACYT), denominado el mentor.

Mediante Decreto Supremo N° 051-2021-PCM publicado en el diario oficial El Peruano el 25 de marzo de 2021, se crea el Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados, sobre la base del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica, al cual PROCIENCIA absorbe por fusión en calidad de entidad absorbente.

De conformidad con lo señalado en la Cuarta Disposición Complementaria Final del citado Decreto Supremo, el proceso de fusión concluye en un plazo no mayor de noventa (90) días calendario, contados a partir de la vigencia de dicha norma. Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en su Séptima Disposición Complementaria Final, culminado el proceso de fusión, toda referencia al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica – FONDECYT se entiende realizada a PROCIENCIA.

A través de la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 035-2021-FONDECYT-DE de fecha 31 de marzo de 2021, se aprobó el Expediente de la Convocatoria del Esquema Financiero E053-2021-01 denominado "Becas de Mentorías María Reiche", el mismo que contiene, entre otros documentos, las Bases, en adelante LAS BASES.

Asimismo, mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 039-2021-FONDECYT-DE de fecha 23 de abril de 2021, se aprobó entre otros documentos la Guía de Seguimiento y Monitoreo, en adelante LA GUÍA y el modelo de Contrato.

Mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 017-2021-PROCIENCIA-DE de fecha 10 de setiembre de 2021, LA MENTOREADA resultó como seleccionada para el financiamiento de la Convocatoria del Esquema Financiero E053-2021-01 denominado "Becas de Mentorías María Reiche", para el desarrollo del proyecto presentado.

DEL OBJETO

CLÁUSULA TERCERA.- PROCIENCIA otorga a favor de LA MENTOREADA un financiamiento en calidad de recursos monetarios para el desarrollo de su propuesta de investigación conducente a la obtención del título profesional en universidades peruanas, culminaria y presentaria, en adelante EL PROGRAMA, el cual tiene como objetivo general el desarrollo de políticas sostenibles de mentoría a nivel nacional que promueva y fortalezca la formación de mujeres en CTI y las investigaciones científicas y tecnológicas a través del desarrollo cuantitativo y cualitativo del capital humano de género femenino, y así obtener los resultados esperados señalados en el numeral 1.3 de LAS BASES.



Presidencia
del Consejo de Ministros

Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Tecnológica

Programa Nacional de
Investigación Científica y
Estudios Avanzados

La investigación se realiza a tiempo completo bajo la mentoría o supervisión de un investigador calificado del Registro Nacional de Investigadores de Ciencia y Tecnología (RENACYT) denominado el Mentor.

DE LA VIGENCIA DEL CONTRATO, PLAZO DEL PROGRAMA Y GESTIÓN DE CAMBIOS

CLÁUSULA CUARTA. - El presente Contrato tiene vigencia a partir del día siguiente de su suscripción hasta la emisión del Reporte al Informe Final de Resultados (RIFR) por parte de el Responsable de la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación² de **PROCIENCIA**, conforme lo dispuesto en el numeral 2.1 de **LA GUÍA**. El plazo de ejecución de **EL PROGRAMA** se rige por lo dispuesto en el numeral 2.2 de **LA GUÍA**.

Procede cambios o modificaciones a solicitud de **LA MENTOREADA**, los cuales se encuentran sujetos a evaluación de la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación, bajo las disposiciones recogidas en el numeral 5 de **LA GUÍA**.

DEL FINANCIAMIENTO A OTORGAR

CLÁUSULA QUINTA. - El importe del financiamiento que otorga **PROCIENCIA** a **LA MENTOREADA** asciende a la suma de S/ 40,000.00 (Cuarenta mil y 00/100 soles), y será utilizado únicamente para financiar los rubros señalados en el numeral 2.3.2 de **LAS BASES**.

DEL CRONOGRAMA DE LOS DESEMBOLSOS

CLÁUSULA SEXTA. - Los desembolsos otorgados por **PROCIENCIA** se efectuarán de acuerdo con lo establecido en el numeral 4 de **LA GUÍA**, una vez que se cumplan las condiciones establecidas en el último párrafo del numeral 4.1 de **LAS BASES**.

DEL ABONO

CLÁUSULA SÉPTIMA. - **PROCIENCIA** realizará los desembolsos mediante abono en una cuenta a nombre de **LA MENTOREADA** en la entidad bancaria que corresponda, siguiendo los procedimientos regulados en las normas de la materia.

DE LAS OBLIGACIONES FRENTE A PROCIENCIA

CLÁUSULA OCTAVA. - Constituyen obligaciones de **LA MENTOREADA** las señaladas expresamente en el numeral 7 de **LA GUÍA**.

Asimismo, son obligaciones de **LA MENTOREADA** aquellas obligaciones, compromisos y responsabilidades establecidas en el presente Contrato, **LAS BASES**, **LA GUÍA** y el Plan Operativo de **EL PROGRAMA** aprobado por **PROCIENCIA**.

DE LA RESOLUCIÓN DEL CONTRATO

CLÁUSULA NOVENA. - **PROCIENCIA** podrá resolver de pleno derecho el presente contrato ante el incumplimiento de cualquiera de las obligaciones, compromisos y responsabilidades establecidas en la Cláusula precedente, **LAS BASES** y **LA GUÍA**, previo informe de la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación, para lo cual se comunicará la resolución del contrato a **LA MENTOREADA** mediante Carta Notarial, conforme con las disposiciones del Artículo 1430° Código Civil.

² De conformidad con lo señalado en la Resolución de Presidencia N° 062-2021-CONCYTEC-P de fecha 21 de junio de 2021, se aprobó el cuadro de equivalencias de las Unidades del Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados – PROCIENCIA, determinándose en su anexo que la Unidad de Seguimiento y Monitoreo de PROCIENCYT equivale a la Unidad de Gestión de Concursos. Asimismo, de acuerdo a lo señalado en el artículo 30 del Manual de Operaciones de PROCIENCIA, aprobado mediante Resolución de Presidencia 068-2021-CONCYTEC-P, la Unidad de Gestión de Concursos está conformada, entre otras, por la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación, la que, conforme con el artículo 34 del citado manual, tiene como función, entre otras, la de supervisar el cumplimiento de los contratos y acuerdos referidos a las transferencias financieras y subvenciones otorgadas por el Programa PROCIENCIA; desde su inicio hasta su culminación, y la de realizar el seguimiento y monitoreo técnico y financiero de los contratos y convenios referidos a las transferencias financieras y subvenciones otorgadas desde su inicio hasta su culminación y proponer la organización de los portafolios de los proyectos de acuerdo a la normativa establecida por el programa PROCIENCIA.



PERU
Presidencia
del Consejo de Ministros

Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Tecnología

Programa Nacional de
Investigación Científica y
Estudios Avanzados

En el supuesto de que **LA MENTOREADA**, como consecuencia de un caso fortuito o fuerza mayor debidamente acreditado, requiera dar por concluido el presente contrato, deberá solicitarlo de forma escrita a **PROCIENCIA** y proceder con la devolución del monto de la subvención no ejecutado. Con la opinión técnica de la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación, respecto de la procedencia de lo solicitado y la determinación del monto a devolver, así como la opinión legal aplicable al caso, **PROCIENCIA** determinará la procedencia de lo solicitado.

De manera excepcional y solo en caso de no existir importe de la subvención por devolver, **PROCIENCIA** y **LA MENTOREADA** podrán resolver el presente contrato de mutuo acuerdo, para lo cual será suficiente que las partes establezcan su decisión en un acta que contendrá las razones de dicho acuerdo, y la indicación expresa de no existir importe de la subvención por devolver, dicha acta deberá estar suscrita por ambas partes.

Asimismo, **PROCIENCIA** podrá resolver el contrato unilateralmente ante los supuestos señalados en los numerales 8.6 al 8.10 de **LA GUÍA**.

DE LAS IMPLICANCIAS DEL INCUMPLIMIENTO Y LA RESOLUCIÓN CONTRACTUAL

CLÁUSULA DÉCIMA. - La resolución del presente contrato por las causas señaladas en el primer párrafo de la cláusula precedente, dará lugar a la devolución total del monto recibido, dicho importe deberá ser determinado por la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación. Además de la resolución contractual por dichos supuestos, **PROCIENCIA** podrá calificar a **LA MENTOREADA** como no apto para futuros financiamientos, de acuerdo con lo establecido en el numeral 8 de **LA GUÍA**.

La devolución a que se hace referencia en el párrafo anterior, incluirá los intereses de ley que se devenguen hasta la fecha en que **LA MENTOREADA** efectúe el reembolso, conforme a lo establecido en el Código Civil, con excepción del supuesto señalado en el segundo párrafo de la cláusula precedente, caso en el cual la devolución del monto de la subvención no ejecutado no incluirá intereses.

Para los supuestos establecidos en los numerales 8.5 al 8.10 de **LA GUÍA**, referidos en el cuarto párrafo de la cláusula precedente, la Sub Unidad de Soporte, Seguimiento y Evaluación, determinará la correspondencia del monto a devolver, la aplicación de los intereses de ley y las consecuencias, considerando la naturaleza y configuración del hecho.

DE LA GARANTÍA

CLÁUSULA DÉCIMO PRIMERA. - Para garantizar el cumplimiento del presente contrato, **LA MENTOREADA** deberá presentar un Pagaré a la vista girado a la orden de **PROCIENCIA** por el 50% del primer desembolso otorgado y según las condiciones establecidas en el sub numeral 2 del numeral 4.1 de **LAS BASES** y el numeral 7.6 de **LA GUÍA**.

CLÁUSULA ESPECIAL

CLÁUSULA DÉCIMO SEGUNDA. - Complementariamente y en cumplimiento de la legislación peruana, los archivos digitales y los programas informáticos que pudieran resultar de **EL PROGRAMA** y sus investigaciones relacionadas y/o derivadas, deberán obligatoriamente ser difundidos de manera completa en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, conforme a las disposiciones establecidas en la normatividad sobre la materia.

En caso de que los resultados de las investigaciones estuvieran protegidos por derechos de propiedad, será obligatorio para **LA MENTOREADA** proporcionar los metadatos (resumen de



datos) correspondientes a fin de incluirlos en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto.

PROCIENCIA queda autorizado a utilizar todos los resultados y documentación de **EL PROGRAMA** y sus investigaciones relacionadas y/o derivadas, en cualquier momento.

DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL

CLÁUSULA DÉCIMO TERCERA - LA MENTOREADA es responsable de adoptar las acciones que sean necesarias para dar cumplimiento a las normas aplicables sobre propiedad intelectual, según corresponda.

DE LA JURISDICCIÓN Y DOMICILIO

CLÁUSULA DÉCIMO CUARTA. - Las partes señalan como sus domicilios los indicados en la introducción de este contrato, en donde se les hará llegar todas las comunicaciones relacionadas a su ejecución y se tendrá por válida y bien realizada la entrega de cualquier correspondencia que exista entre ellas para todos sus efectos jurídicos.

Para que cualquier cambio de domicilio sea válido, este deberá ser comunicado a la otra parte por escrito y contar con la constancia de recepción de la comunicación de la parte a la que va dirigida.

DE LA SOLUCIÓN DE CONTROVERSIAS

CLÁUSULA DÉCIMO QUINTA. - Las partes acuerdan de manera voluntaria que toda desavenencia, litigio o controversia que pudiera derivarse de este contrato, incluidas las de su nulidad o invalidez, se regirán por las reglas de la buena fe y común acuerdo, luego serán resueltas a través de la conciliación extrajudicial. En caso no se pudiera llegar a un acuerdo por este medio, se recurrirá a la vía judicial correspondiente, para lo cual las partes renuncian expresamente al fuero de sus domicilios y se someten a la competencia de los tribunales de la ciudad de Lima.

Las partes declaran que el presente contrato lo conforman los términos y condiciones aquí estipuladas, **LAS BASES** y **LA GUÍA**, documentos que las partes declaran conocer y someterse a sus textos, asimismo, con su suscripción aceptan que el **Plan Operativo** aprobado forma parte integrante del presente contrato.

Asimismo, se establece que, para cualquier referencia sobre la fecha de suscripción del presente contrato, se tomará en cuenta la última fecha de suscripción de las partes en el presente documento.

En señal de conformidad, las partes suscriben el presente contrato, en la ciudad de Lima, de la siguiente manera:



JUAN CARLOS RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
- DNI N° 09469986
- PROCIENCIA

Fecha Firma: 05-10-21

ROSA NORMA AGUILAR LOZANO
DNI N° 74026710
LA MENTOREADA

Fecha Firma: 27/07/2021

ANEXO 7: FOTOGRAFIAS

Figura 15. Toma de datos del peso de cada muestra



Figura 16. Toma de datos del espesor de cada muestra



Figura 17. Toma de datos del contenido de humedad de cada muestra



Figura 18. Apilado completo de un bloque para ingresar al secado



Figura 19. Apilado completo y codificación de cada muestra



SECADO CONVENCIONAL DE MADEIRA

para muebles de *Aspidosperma parvifolium*
A.DC. (quillabordon)

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

SECADO CONVENCIONAL DE MADEIRA

para muebles de *Aspidosperma parvifolium*
A.DC. (quillabordon)

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br